



# Estado del arte de estudios de Evaluación Probabilista de Riesgo en Colombia

Por: Juan Camilo Olaya G.  
Miguel G. Mora C.

17 // 09 // 2016

Subdirección para el Conocimiento del Riesgo

*Colombia menos vulnerable, comunidades más resilientes*

CONTENIDO .....	i
Lista de Figuras .....	ii
Lista de Tablas .....	iv
Abreviaciones y símbolos .....	v
Introducción .....	6
Motivación .....	7
Objetivos y alcance .....	7
Estructura del documento.....	8
Aspectos metodológicos .....	9
Marco Conceptual.....	9
Evaluaciones de Riesgo: concepción y desarrollo.....	19
Términos y Conceptos .....	22
Estado del arte de la EPR en Colombia.....	24
Actividades preliminares .....	24
Evolución estudios de EPR en Colombia .....	32
Resultados – Estadísticas estudios de EPR en Colombia .....	47
Información disponible relativa a EPR en Colombia.....	58
Conclusiones .....	110
.....	112
Referencias .....	112
Anexos .....	118
Anexo 1.....	118
Anexo 2.....	119
Anexo 3.....	125
Anexo 4.....	126

Figura 1 Curvas de riesgo para frecuencia anual de víctimas por fuentes antrópicas frente a las causadas por plantas nucleares, resultados estudio Rasmussen (1975) y víctimas estimadas por sismo para Colombia y México (ERN-AL, 2011), adaptado de Kaplan & Garrick (1981) .....	11
Figura 2 Enfoque PEER del PBEE (adaptado de Porter, 2003) .....	13
Figura 3 Esquema de actividades principales para el análisis del riesgo de la iniciativa CAPRA. ....	18
Figura 4 Modelo de ficha bibliográfica. Ficha No. 22: Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre – El caso Bogotá .....	30
Figura 5 Modelo de ficha bibliográfica. Ficha No. 22: Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre – El caso Bogotá (Continuación) .....	31
Figura 6 Participación porcentual de ciudades con estudios de Microzonificación sísmica en Colombia .....	49
Figura 7 Participación porcentual de amenazas naturales evaluadas en estudios de EPR en Colombia .....	50
Figura 8 Participación porcentual de ciudades con estudios de EPR en Colombia .....	51
Figura 9 Estudios de EPR en Colombia desde 1984 hasta 2016 .....	52
Figura 10 Participación de autores institucionales en la elaboración de estudios de EPR en Colombia	54
Figura 11 Participación amenaza natural evaluada. EPR en Colombia.....	55
Figura 12 Participación porcentual de modelo de riesgo utilizado en estudios de EPR en Colombia ...	56
Figura 13 Participación porcentual de Tipo de Exposición en estudios de EPR en Colombia .....	56
Figura 14 Participación porcentual de Escala de estudios de EPR en Colombia .....	57
Figura 15 Sectorización censal (Fuente: DANE) .....	60
Figura 16 Marco Geoestadístico Nacional (MGN). Ejemplo de información para Antioquia a diferentes escalas. Fuente: DANE – MGN. ....	61
Figura 17 Geopotral IGAC .....	62
Figura 18 Mapa de carreteras INVIAS .....	64
Figura 19 Mapa de la Red Férrea Nacional. Fuente: ANI (2012) (CÁMARA COLOMBIANA DE LA INFRAESTRUCTURA; 2013).....	65
Figura 20 Mapa de aeropuertos de Colombia. Fuente: UAE de Aeronáutica Civil (2016). (AERONÁUTICA CIVIL, 2016) .....	67
Figura 21 Mapa de biomasa residual agrícola para zonas de producción de los cultivos de Arroz en Colombia. Fuente: (UPME; IDEAM; Universidad Industrial de Santander - UIS, 2010) .....	70
Figura 22 Personas por departamentos. Censo general 2005. Fuente: DANE.....	74
Figura 23 Número de industrias por departamento. Censo general 2005. Fuente: DANE.....	74
Figura 24 Número de establecimientos de comercio por departamentos. Censo general 2005. Fuente: DANE .....	75
Figura 25 Número de establecimientos de servicios por departamentos. Censo general 2005. Fuente: DANE .....	75
Figura 26 Ejemplo de un proceso de flujo de caja para un cultivo agrícola. Fuente: (Olaya, 2015. ) ....	80
Figura 27 Mapa de deformaciones cuaternarias con actividad probable para Colombia. Fuente: (INGEOMINAS; 2008).....	91
Figura 28 Mapa de deformaciones cuaternarias con actividad confirmada para Colombia. Fuente: (INGEOMINAS; 2008).....	92

Figura 29 Mapa de proyección de fallas en superficie para Colombia. Fuente: (AIS, 2009).....	93
Figura 30 Mapa aceleración máxima del terreno en cm/s <sup>2</sup> para Colombia. Fuente: (AIS, 2009) .....	94
Figura 31 Mapa Aa para Colombia, con un periodo de retorno de 475 años. Fuente: (AIS, 2009).....	95
Figura 32 Mapa de aceleración pico del suelo para una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años. Fuente: SARA-Wiki.....	96
Figura 33 Modelo tectónico Amenaza Sísmica SGC-UNAL (2010).....	97
Figura 34 Mapa de amenaza sísmica para PGA (Aceleración en roca) para un período de retorno de 475 años (10% de probabilidad de excedencia en 50 años).....	98
Figura 35 Mapa de amenaza de inundación para período de retorno de 2.33 años. (IDEAM, 2014)..	100
Figura 36 Mapa de amenaza de inundación para período de retorno de 100 años. (IDEAM, 2014)...	101
Figura 37 Mapa de amenaza de inundación para período de retorno de 20 años. Municipio La Victoria. (IDEAM, 2013).....	102
Figura 38 Mapa de amenaza de inundación para período de retorno de 2.33 años. Municipio de Tuluá. (IDEAM, 2013).....	103
Figura 39 Zonificación básica de amenaza por movimientos en masa para escala 1:5000. Fuente: (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2016).....	104
Figura 40 Zonificación detallada de amenaza por movimientos en masa para escala 1:2000. Fuente: (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2016).....	105
Figura 41 Portal SIMMA del SGC .....	106
Figura 42 Mapa de la ciudad de Bogotá y alrededores. Fuente: SIMMA.....	107
Figura 43 Mapa de zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa en la ciudad de Bogotá y alrededores. Fuente: SIMMA .....	108
Figura 44 Mapa de zonificación de amenaza por movimientos en masa en la ciudad de Bogotá y alrededores. Fuente: SIMMA .....	108

Tabla 1 Definiciones semánticas descriptivas DCMI .....	25
Tabla 2 Plantillas Dublin Core para trabajos de tesis .....	26
Tabla 3 Plantillas Dublin Core para documentos técnicos, libros y artículos de investigación .....	27
Tabla 4 Estudios de microzonificación sísmica en Colombia .....	47
Tabla 5 Participación porcentual de ciudades con estudios de Microzonificación sísmica en Colombia .....	48
Tabla 6 Participación porcentual de amenazas naturales evaluadas en estudios de EPR en Colombia .....	49
Tabla 7 Participación porcentual de ciudades con estudios de EPR en Colombia .....	51
Tabla 8 Participación de autores institucionales en la elaboración de estudios de EPR en Colombia..	53
Tabla 9 Extensión, población y número de viviendas (censo básico 2005). Fuente: DANE .....	73
Tabla 10 Área construida a 2003 para ciudades y municipios en Colombia). Fuente: IGAC .....	76
Tabla 11 Área construida a 2014 para ciudades y municipios en Colombia). Fuente: IGAC .....	77
Tabla 12 Valores promedio de metro cuadrado de construcción para Barranquilla por estrato socioeconómico para 2014. Fuente: CAMACOL.....	78
Tabla 13 Valores promedio de metro cuadrado de construcción para Medellín por zona para 2014. Fuente: CAMACOL.....	78
Tabla 14 Valores promedio de metro cuadrado de construcción para diferentes centros poblados para 2014. Fuente: CAMACOL.....	78
Tabla 15 Valores promedio de metro cuadrado de construcción para Santa Marta publicados en 2016. Fuente: WWW.METROCUADRADO.COM .....	79
Tabla 16 Valores promedio de metro cuadrado de construcción para Cartagena publicados en 2016. Fuente: WWW.METROCUADRADO.COM .....	79
Tabla 17 Duración de fases fenológicas para cultivos de Arroz. Fuente: UNICÓRDOBA (2015) .....	81
Tabla 18 Duración de fases fenológicas para cultivos de Maíz. Fuente: FENALCE (2015).....	81
Tabla 19 Área sembrada para cultivos agroindustriales. Fuente: CNA (2014) .....	82
Tabla 20 Precio por producto [COP/Ton]. Fuente: Bolsa Mercantil de Colombia – <a href="http://www.bolsamercantil.com.co/precios-indicativos-2/">http://www.bolsamercantil.com.co/precios-indicativos-2/</a> .....	84
Tabla 21 Rendimiento por cultivo [Ton/Ha]. .....	85
Tabla 21 Tipologías estructurales para Suramérica .....	86
Tabla 21 Tipologías estructurales para Suramérica y participación por países .....	87
Tabla 22 Daño económico por diferentes tipos de amenaza en Colombia. Fuente: EMDAT – 2016....	88
Tabla 23 Total afectados por diferentes tipos de amenaza en Colombia. Fuente: EMDAT – 2016 .....	89
Tabla 24 Total muertos por diferentes tipos de amenaza en Colombia. Fuente: EMDAT – 2016.....	89

AAL	Average Annual Loss
AIS	Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica
CEDERI	Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos
CEP	Curva de Excedencia de Pérdida
DCMI	Dublin Core Metadata Initiative
DPAE	Dirección de Prevención y Atención de Emergencias
ER	Evaluación de Riesgo
GAR	Global Assessment Report - UNISDR
GIS	Geographical Information Systems
GRD	Gestión del Riesgo de Desastre
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IDIGER	Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático
IDNRD	International Decade for Natural Disaster Risk Reduction
IPCC	Intergovernmental Panel for Climate Change
IPCC-SREX	Intergovernmental Panel for Climate Change Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaption
MAVDT	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
MGN	Marco Geo estadístico Nacional
Corporación OSSO	Observatorio Sismológico del Sur-Occidente
PML	Probable Maximum Loss (Pérdida Máxima Probable)
PPR	Prima Pura de Riesgo
RD	Riesgo de Desastre
SGC	Servicio Geológico Colombiano
SNGRD	Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres
UNDRO	Office of the United Nations Disaster Relief Co-ordinator
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UNGRD	Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres
UNISDR	Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastre
WCDRR	World Conference on Disaster Risk Reduction

En el marco de la Ley 1523 de 2012, por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD), se determina que la gestión del riesgo es un proceso en el cual se ejecutan una serie de acciones encaminadas al conocimiento y reducción del riesgo para el manejo de desastres, con el objetivo de contribuir al buen desarrollo del país y la comunidad. Así mismo, se determina que el conocimiento del riesgo corresponde a “la identificación de escenarios de riesgo, el análisis y evaluación del riesgo, el monitoreo y seguimiento del riesgo y sus componentes y la comunicación para promover una mayor conciencia del mismo que alimenta los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastre” (SNGRD, 2012)

En consecuencia, el proceso de conocimiento del riesgo se puede dividir en 3 componentes principales; el primero se puede catalogar como análisis y evaluación del riesgo (ER), en el cual se encuentra el proceso de identificación de escenarios de riesgo. El segundo se puede entender como monitoreo y seguimiento y el tercero se puede denominar como comunicación del riesgo para la reducción y manejo de los desastres. El presente documento se centra en el primero de estos componentes del conocimiento del riesgo.

Dentro de las actividades del proyecto titulado “Fortalecimiento de políticas e instrumentos financieros del SNGRD en Colombia 2016-2018”, adelantado por la subdirección de conocimiento del riesgo de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), se presenta como objetivo principal la elaboración del *Perfil Probabilista del Riesgo por daños físicos, económicos y efectos sobre la población, a causa de eventos sísmicos de gran magnitud a partir de un proyecto piloto de escala nacional*. Como parte de las fases iniciales del proyecto, se elabora el presente documento con el objetivo de realizar un acopio, revisión y consolidación de estudios de Evaluaciones Probabilistas del Riesgo (EPR) en Colombia, para la formulación del estado del arte de la EPR en el país.



## Motivación

Como componente primordial del proceso de conocimiento del riesgo, todo análisis y ER en el país debe reconocer, emplear y continuar la línea metodológica y de investigación propuesta por los estudios y desarrollos que se han hecho a lo largo de las últimas décadas a nivel nacional, local y regional con el fin de hacer uso de la información idónea para tal fin, no solo en términos de datos de entrada y de resultados obtenidos en dichos estudios, sino también de las metodologías del estado del arte que han sido desarrolladas y depuradas en los últimos años. Por tal motivo, la elaboración del EPR nacional por amenaza sísmica propuesto en el marco del proyecto de “Fortalecimiento de políticas e instrumentos financieros del SNGRD en Colombia 2016-2018” se basa en el estado del arte de la ER, reconociendo las metodologías y paradigmas propuestos por los esfuerzos de las Naciones Unidas, entre otros, a lo largo de la segunda etapa del S.XX. Adicionalmente, se basa en el estado del arte de la ER y los estudios de amenaza sísmica adelantados en el país desde 1980 en adelante, en las cuales se ha evidenciado una evolución en la conceptualización del riesgo de desastres y la manera de abordarlo de una manera objetiva, cuantitativa y prospectiva, propendiendo por la reducción de la incertidumbre en los resultados.

## Objetivos y alcance

El objetivo principal de este documento es presentar y discutir el estado del arte de los estudios de EPR más importantes en Colombia a nivel nacional, regional y local desde la década de 1980 hasta el presente. Para tal fin se establecen los siguientes objetivos específicos:

- i. Acopio de estudios de EPR en Colombia
- ii. Revisión y consolidación de estudios de EPR en Colombia a nivel nacional, regional y local
- iii. Depuración y organización de base de datos bajo el modelo de metadatos *Dublin Core* con información relevante de estudios de EPR con el fin de generar y actualizar el repositorio digital de documentos del centro de documentación de la UNGRD.
- iv. Descripción y recuento del estado del arte de los estudios de EPR en Colombia
- v. Presentar fuentes básicas de información para la estimación de modelos de exposición, amenaza y vulnerabilidad por medio de entidades adscritas al Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo, principalmente.



## Estructura del documento

El documento parte de la revisión breve del concepto de riesgo y de sus representaciones básicas en los ER y de cómo se llega al planteamiento de la EPR. A partir de allí se revisan los conceptos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo teniendo como referencia el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 y la “Terminología en gestión del riesgo de desastres y fenómenos amenazantes” de la UNGRD (2016).

En el segundo capítulo se presenta el estado del arte de la EPR en Colombia. Para su elaboración se tienen en cuenta tres actividades principales; La primera corresponde a las actividades preliminares en las cuales se describe el proceso de acopio, revisión y consolidación de los principales estudios de EPR desarrollados en el país, así como estudios de riesgo a nivel general que son considerados vitales para el entendimiento de la GRD. La segunda actividad presenta una evolución de los estudios de EPR siguiendo una temática de amenaza sísmica en principio, haciendo énfasis en estudios de microzonificación sísmica, seguida por estudios de EPR multiamenaza. En la tercera actividad se presentan resultados en términos de estadísticas descriptivas para los estudios de EPR recopilados. Por último, se presenta un análisis de la información sobre EPR disponible en el país a nivel de vulnerabilidad, exposición y amenaza.

Un tercer capítulo presenta la información disponible relativa a estudios de EPR en Colombia, en donde se especifican las principales fuentes de datos e información relacionada con amenaza, vulnerabilidad y exposición en el país, asociadas principalmente a las entidades miembro del Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo, a la luz de la Ley 1523 de 2012.

Por último, se presentan las conclusiones generales del documento *Estado del arte de estudios de EPR en Colombia*, seguido por un capítulo en el cual se especifican los anexos al documento en formato de tablas y documentos asociados.

## Aspectos metodológicos

En la literatura relacionada con el análisis del riesgo, se le define como la estimación del potencial o posibilidad de materialización de pérdidas o lesiones que puedan suceder a causa de actividades naturales o antrópicas (actividad humana). Dichas pérdidas, están asociadas a múltiples actores y pueden ser de orden monetario (redes, sistemas de control, edificaciones, obras de infraestructura), o en unidades de exposición (heridos, vidas humanas, hectáreas de cultivo, edificaciones destruidas). El análisis de riesgo se puede entender en términos de frecuencias o probabilidad de ocurrencia de eventos en combinación con las consecuencias causadas por los mismos (Kaplan & Garrick, 1981; Modarres, 2006).

Kaplan & Garrick (1981) definen el análisis del riesgo como un proceso en el cual se contestan tres preguntas:

- I. ¿Qué puede pasar? (¿qué puede salir mal?)
- II. ¿Qué tan posible es que esto ocurra?; y si esto pasa,
- III. ¿Cuáles son las consecuencias?

Las anteriores incógnitas hacen referencia, en su orden, a la identificación de los posibles eventos o la tipificación de las fuentes de amenaza, a la estimación de la frecuencia o probabilidad de ocurrencia; y a la medida de las consecuencias o daños esperados.

El análisis del riesgo es la estimación de las posibles consecuencias por la ocurrencia de uno u otro evento destructivo sobre la población, el ambiente y el capital. Esta estimación puede ser realizada idealmente a partir de la información histórica de la ocurrencia de eventos.

La información histórica que contenga datos concernientes a la totalidad de eventos es inexistente, incluso cuando cierta cantidad de información se encuentre disponible, esta hace precisamente referencia al pasado, impidiendo que el análisis de riesgo sea predictivo sobre las consecuencias futuras. Así, la estimación de consecuencias quedaría reducida a un análisis histórico de eventos como es el caso de la mayoría de modelos de análisis del riesgo de muchas de las coberturas ofrecidas en la industria aseguradora.

En consecuencia, los análisis de riesgo se deben realizar sobre modelos complejos que intentan representar de la mejor manera posible la realidad, dichos modelos en parte se basan en información histórica no disponible o inexistente, especialmente acerca de eventos poco frecuentes y de altas consecuencias, comúnmente llamados eventos catastróficos.

En Kaplan & Garrick (1981) se sugiere que dicha información sea ordenada en un listado evento por evento así:

$$\langle s_i, p_i, x_i \rangle \quad (1)$$

De donde  $s_i$  corresponde a la identificación del tipo de escenario,  $p_i$  la probabilidad de ocurrencia del escenario  $s_i$ , y  $x_i$  las consecuencias dada la ocurrencia el escenario  $s_i$ .

La probabilidad de ocurrencia de un evento representa el grado de verosimilitud de que el evento ocurra. Es un asunto subjetivo y usualmente es calibrado tomando como punto de referencia la frecuencia de ocurrencia estimada a partir de información de eventos históricos (Kaplan & Garrick, 1981; Sugden & Williams, 1978). Por lo anterior, la adquisición de datos e información histórica cobra un valor importante como insumo para el análisis de riesgo.

La representación matemática para el cálculo del riesgo más sencilla y ampliamente difundida en la literatura relativa al análisis probabilista del riesgo es como sigue (Ayyub, 2003; Modarres, 1999, 2006):

$$\text{Riesgo} \left( \frac{\text{consecuencias}}{\text{und. tiempo o espacio}} \right) = \text{frecuencia} \left( \frac{\text{escenario}}{\text{und. tiempo o espacio}} \right) \times \text{magnitud} \left( \frac{\text{consecuencias}}{\text{escenario}} \right) \quad (2)$$

, y su generalización en el caso de múltiples escenarios:

$$R = \sum_i f_i c_i \quad (3)$$

De donde  $f_i$  es la frecuencia del escenario  $i$ , y  $c_i$  son las consecuencias debidas a la ocurrencia del escenario  $i$ .

Las anteriores expresiones son consistentes con la definición de riesgo e información de entrada descrita previamente. La expresión (3) es ampliamente conocida en el análisis y cálculo de riesgo y se usa para estimar el valor esperado de pérdidas por unidad de tiempo para un conjunto de eventos posibles. Dado que la expresión anterior estima el valor esperado, no es apropiada cuando se usa como índice de comparación, pues la estimación de riesgo en ese caso se haría sin tener en cuenta la contribución o importancia relativa de cada evento en el resultado de riesgo total.

Un método útil en la representación del riesgo es esquematizar una curva en la que se presente la magnitud de las consecuencias versus la frecuencia acumulada de ocurrencia (tasa de excedencia). Esta forma de representación es conocida como la curva de Framer (1967). La Figura 1 presenta una comparación entre curvas de riesgo de fatalidad por causa de diferentes amenazas presentada en el estudio de Rasmuseen (1975).

La medida de riesgo puede ser simplificada al valor esperado del daño, o el promedio de la curva de riesgo, ecuación (3), no obstante, un valor no es en gran medida un indicador completo para representar, comunicar y evaluar el riesgo, “*es la curva misma de riesgo la que mejor lo representa*” (Kaplan & Garrick, 1981). Esta representación incorpora el estado de confianza con el que el analista trata la incertidumbre asociada a las variables (manejo de la falta de información) que intervienen en la evaluación.

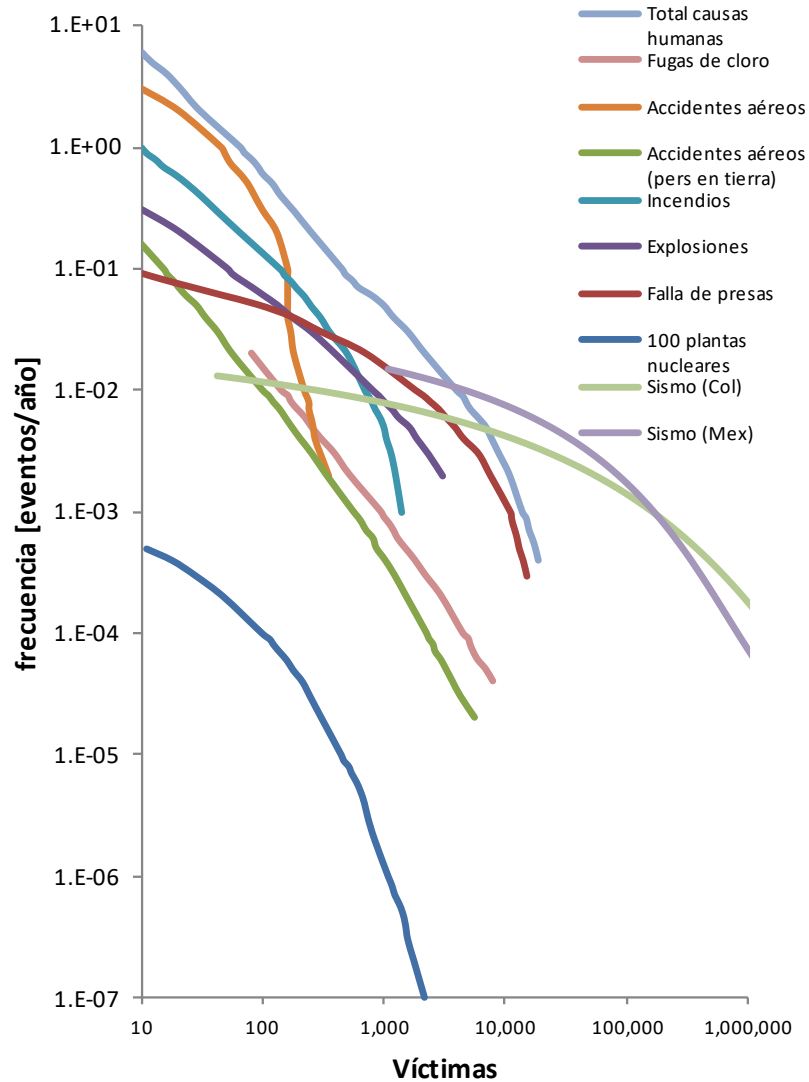


Figura 1 Curvas de riesgo para frecuencia anual de víctimas por fuentes antrópicas frente a las causadas por plantas nucleares, resultados estudio Rasmuseen (1975) y víctimas estimadas por sismo para Colombia y México (ERN-AL, 2011), adaptado de Kaplan & Garrick (1981)

Si bien de (3) sabemos que el término  $f_i$  hace referencia a la frecuencia anual de ocurrencia del evento, el término  $c_i$  cobra vital importancia en la evaluación, pues toma en cuenta el comportamiento del sistema frente al evento en consideración. El término  $c_i$  se interpreta como la posibilidad de materialización de consecuencias (pérdidas) por la ocurrencia de un evento, corresponde así a la estimación del comportamiento del elemento expuesto, que en el análisis probabilista del riesgo se entiende como la probabilidad de falla del elemento o análisis de desempeño.

Por su lado, el análisis de desempeño se refiere a la habilidad o capacidad de realizar una función bajo la demanda impuesta por todos los eventos posibles. Se refiere entonces a la estimación de la razón entre la capacidad del sistema o elemento expuesto y la demanda. Dado que hay incertidumbres tanto en la capacidad como en la demanda, el tratamiento de dicha incertidumbre se sugiere como sigue (Modarres, 2006):

$$\text{Desempeño} = \Pr(\text{Capacidad} > \text{demanda} | \text{todos los eventos}) \quad (4)$$

Definida la medida de las consecuencias (evaluación de desempeño) para todos los eventos y la frecuencia anual de ocurrencia de los eventos, se tiene una evaluación de riesgo para el caso generalizado de la forma presentada por la ecuación (3).

La expresión (4) se desarrolla en el marco del diseño por desempeño el cual pretende, por medio de un análisis de incertidumbre de los múltiples factores que intervienen en un sistema, determinar la probabilidad de falla u ocurrencia de cierto límite de operación. Inicialmente este tipo de análisis surge en la evaluación de seguridad de la industria de energía nuclear y posteriormente se extendió a otras actividades como la industria espacial e ingeniería civil e infraestructura (Lupoi et al., 2008; Modarres, 2006).

La metodología Performance-based Earthquake Engineering - PBEE en el marco de la toma de decisiones para manejo de riesgo se basa en el análisis de frecuencia de excedencia de una variable de decisión en los términos que interesa al tomador del riesgo; p.e. analizando dos alternativas de diseño o rehabilitación, o dos localizaciones geográficas, o la reposición completa del activo para determinar bajo qué condiciones es satisfactoria la construcción o rehabilitación (niveles de amenaza esperados, dimensiones de elementos y cantidades de obra, costos inicial de construcción, costos de reparación por futuros sismos, reducción de pérdidas esperadas) (Porter, 2003).

Por otro lado, el Pacific Earthquake Engineering Research Center – PEER se desarrolla un enfoque en cuatro etapas:

- i) Análisis de amenaza.
- ii) Análisis de comportamiento estructural.
- iii) Estimación de daños.
- iv) Evaluación de pérdidas.

El enfoque metodológico descrito matemáticamente se expresa en la ecuación (5) mientras que conceptualmente en la Figura 2.

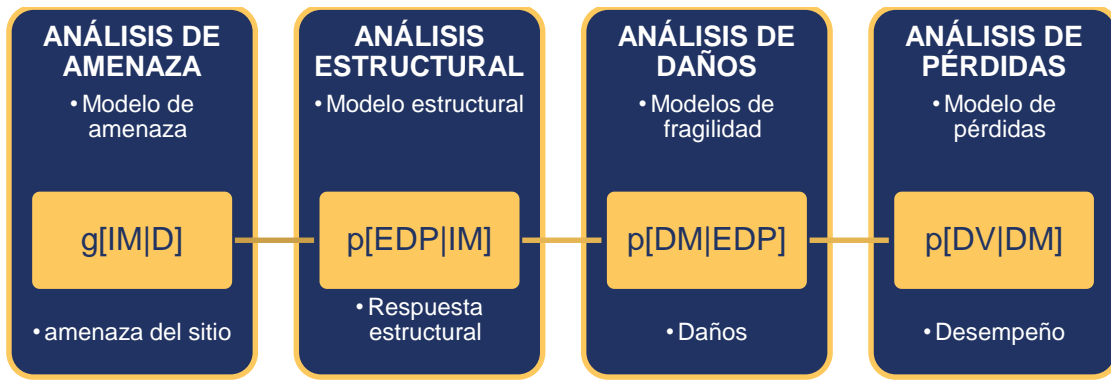


Figura 2 Enfoque PEER del PBEE (adaptado de Porter, 2003)

$$g[DV|D] = \iiint p[DV|DM,D] p[DM|EDP,D] p[EDP|IM,D] g[IM|D] dIM dEDP dDM \quad (5)$$

Las etapas que describen el análisis estructural y de daños frecuentemente se expresan mediante una función denominada como *función de vulnerabilidad* de donde se deriva la siguiente ecuación (Lupoi et al., 2008).

$$\lambda(dv) = \int P(DV > dv | IM) d\lambda(IM) \quad (6)$$

De donde  $DV$  es la variable de decisión  $IM$  es la medida de intensidad del evento sísmico.

De la ecuación (6),  $dv$  corresponde al valor esperado del comportamiento o desempeño de una edificación o elemento expuesto en los términos que interesa al tomador de riesgo (dinero, población afectada, tiempo de interrupción de actividades, etc.) (Porter, 2003).  $P(DV > dv | IM)$ , es la probabilidad de exceder cierto valor  $dv$  dada una intensidad sísmica  $IM$  o *función de vulnerabilidad*, y  $\lambda(IM)$ , como la tasa de excedencia de intensidades  $IM$ , o *curva de amenaza*.

## Metodologías regionales de análisis del riesgo

En las últimas décadas surgieron metodologías/sistemas para la estimación de pérdidas y manejo de riesgo por eventos sísmicos. Todas se han desarrollado de acuerdo con objetivos particulares destacándose entre estos:

- i) la estimación rápida de pérdidas y de evaluaciones en tiempo real para alertas tempranas dirigidas a labores de rescate y manejo de la emergencia realizando cálculos sobre un único escenario (análisis determinista), y
- ii) la estimación de pérdidas potenciales tomando en cuenta la incertidumbre (análisis probabilista) asociada a la información de entrada (incertidumbre aleatoria) y la incertidumbre de implementar una u otra metodología en la evaluación (incertidumbre epistémica), p.e. estimación de la demanda sísmica y comportamiento estructural.

Entre el primer grupo se encuentran sistemas como el “*Prompt Assessment of Global Earthquakes for Response*” - PAGER, “*Earthquake Loss Assessment for Response and Mitigation*” - QLARM (Trendafiloski et al., 2011) y “*Earthquake Loss Estimation Routine*” - ELER (Hancilar et al., 2010), que al igual que las del segundo tipo hacen uso de metodologías científicamente reconocidas para la estimación tanto del nivel de demanda sísmica, como de la estimación del comportamiento estructural de las edificaciones. Como ya se ha mencionado, desde 1997 en la “*Federal Emergency Magnagement Agency*” - FEMA se ha desarrollado el sistema “*Hazards-United States*” - HAZUS de referencia en la comunidad científica para la estimación de pérdidas por sismo, proponiendo metodologías estándar en cada uno de los pasos de la evaluación, en las últimas versiones el sistema se ha ampliado a amenazas hidrometeorológicas (FEMA, 2004). Cada uno de los anteriores sistemas se especializa particularmente en el desarrollo de alguno de los pasos para la estimación de pérdidas.

En el caso del “*USGS National Earthquake Information Center*” - NEIC se enfoca en monitoreo de la ocurrencia de eventos sísmicos, principalmente en la localización del epicentro y propiedades del evento; p.e. magnitud, profundidad, para la estimación de la distribución espacial de intensidades sísmicas en tiempo real, este producto es objeto de difusión a agencias y gobiernos locales para la atención de emergencias. Como parte del proceso y para mejorar la información de difusión, se crea el PAGER (Wald et al., 2008) como el sistema para cuantificar el impacto de eventos sísmicos, ampliando el detalle de la información entregada a una cuantificación de la población afectada, el tipo de edificios ubicados en la región del evento, y una estimación rápida del número de personas afectadas para las intensidades sísmicas por NEIC. Para realizar dichas estimaciones del impacto sobre la población de una forma más detallada, en PAGER se tuvo que desarrollar o implementar metodologías; p.e para estimar el comportamiento de los edificios ante la demanda sísmica y bases de datos de exposición; p.e. la distribución de población y de edificaciones por tipo estructural, enfocadas en primera instancia al territorio de Estados Unidos.

Por su parte QLARM, desarrollado en la “*World Agency of Planetary Monitoring and Earthquake Risk Reduction*” - WAPMERR (Trendafiloski et al., 2009), realiza la estimación de la demanda sísmica de manera similar al NEIC, por medio de leyes de atenuación particulares a la zona de estudio a partir de



la magnitud, profundidad y localización del epicentro del evento, e información disponible de los efectos de sitio. Específicamente QLARM enfoca sus esfuerzos en la implementación de información de la distribución de población por tipo de vulnerabilidad estructural, en una base de datos de cobertura global a un nivel de resolución sub-nacional por asentamiento urbano y rural. La distribución por tipo de vulnerabilidad se desarrolla en base a la “*European Macroseismic Scale*”- EMS-98 (Grünthal, 1998) con la particularidad de desagregar la información respecto del tamaños del asentamiento y de la región en la que se encuentra. Para la base de datos de distribución de tipos de vulnerabilidad incorporada en QLARM, se toman como principales fuentes de información la de censos nacionales de vivienda disponible libremente, el “*World Housing Encyclopedia*” - WHE y la base de datos del su sistema predecesor, QUAKELOSS, desarrollado por “*Extreme Situations Research Centre*” en Moscú (Erdik et al., 2010). El QLARM realiza la estimación del impacto sobre la población en base censos nacionales de población, disponibles libremente, y las tasas de fatalidad del HAZUS para los tipos de vulnerabilidad EMS-98 ajustadas con información observada para la región de análisis si esta existe.

HAZUS se desarrolló como los demás sistemas, para la estimación de pérdidas, para definición de planes y respuesta a emergencias y para la asistencia en la mitigación y reducción de pérdidas futuras a causa de eventos sísmicos (Whitman et al., 1997). Este programa se enfoca en la conformación de bases de datos de infraestructura, edificaciones comunes y edificaciones esenciales dentro del territorio de Estados Unidos. HAZUS desde el inicio de su desarrollo, a diferencia de los sistemas anteriores a este, realiza la estimación cuantitativa del daño en términos de la respuesta espectral y el movimiento máximo del suelo (PGA, PGV) más allá de usar la escala MMI<sup>1</sup>, por lo que enfoca también esfuerzos en el estudio de las leyes de atenuación - GMPEs<sup>2</sup> para el territorio de Estados Unidos.

De parte de los sistemas open source se encuentra el SELENA desarrollado por NORSAR (Molina et al., 2010) que implementa en su totalidad las metodologías desarrolladas dentro de HAZUS pero en lenguaje de MATLAB a diferencia de HAZUS desarrollado como un toolbox de ArcGis /ESRI, desligando así la estimación de riesgo del sistema de información geográfica licenciados. Este sistema se enfoca en la inclusión de una metodología para el tratamiento adecuado de la incertidumbre por medio de la implementación de árboles lógicos para la ponderación de los parámetros de entrada. De las experiencias recopiladas en este sistema, en el KOERILOSS desarrollado por la Universidad Boğaziçi, y otros participantes, surge el sistema ELER (Hancilar et al., 2010) que implementa el estado del arte de múltiples metodologías para la estimación del comportamiento de edificios, utiliza curvas fragilidad para la evaluación de daño físico, y conformando una base de datos tanto de modelos de comportamiento de edificaciones como de curvas de fragilidad para la estimación de daños, la estimación de muertes se realiza a partir de la metodología también implementada en HAZUS. El análisis de riesgo se realiza dependiendo el nivel de resolución de la información de entrada disponible, pero sin incorporar bases de datos de activos expuestos.

---

<sup>1</sup> Modified Mercalli Intensity

<sup>2</sup> Ground Motion Prediction Equations

## Norteamérica

Se ha mencionado anteriormente que para el año 1997 con el apoyo del “*National Institute of Building Sciences*” - NIBS, la FEMA divulgó una metodología para la evaluación de riesgo enfocada en Norteamérica (HAZUS97 luego HAZUS99) que en primera instancia se ocupó por la amenaza sísmica y luego para el año 2004 añadió las amenazas de viento e inundación (HAZUS-MH).

La metodología HAZUS está enfocada en proveer información para la mitigación, planes de atención y políticas para la respuesta y reconstrucción ante cualquier evento sísmico, de viento o inundación; mediante la estimación de las pérdidas potenciales que puedan suceder en edificios e infraestructura. Esta metodología no solo está dirigida a la estimación de pérdidas físicas directas; sino también a las pérdidas económicas por interrupción de actividades, reparación y reconstrucción, y el impacto social; como la necesidad de albergues, población afectada y familias desplazadas.

La evaluación de riesgo sísmico se puede realizar tanto desde la perspectiva probabilista como determinista. Para esta última es posible seleccionar un evento específico desde una base de datos de fuentes sísmicas incorporada al sistema; seleccionar un evento sísmico histórico; o hacer una selección arbitraria de la localización y magnitud del evento. La metodología incluye mapas de amenaza probabilista, para la evaluación de riesgo desde dicha perspectiva, con 3 ordenadas espectrales (PGA, 0.3 y 1.0 segundos) y para 8 periodos de retorno (desde 100 hasta 2500 años). A partir de esta información se construyen espectros de respuesta elásticos ( $S_a$ - $S_d$ ) que serán modificados posteriormente según el tipo de edificación a evaluar.

La amplificación debida a las condiciones de sitio se realiza de acuerdo con el documento 1997 NEHRP Provisions donde se definen varios tipos de suelo (5 tipos, del A al E) con perfiles geológicos característicos y factores de amplificación, este esquema está basado en la velocidad media de onda de corte para los primeros 30 metros del perfil geológico del sitio.

El daño sobre los edificios es evaluado a través de 5 estados de daño (Ninguno, Leve, Moderado, Extensivo y Colapso), estos estados de daño son representados mediante curvas de fragilidad que ejemplifican la probabilidad acumulada de alcanzar o exceder cierto estado de daño a causa de la demanda sísmica sobre la edificación. La demanda sísmica se estima por la evaluación del punto de desempeño con base en la curva de capacidad (pushover) de la edificación y el espectro de respuesta modificado.

Las curvas de fragilidad para los diferentes estados de daño y la curva de capacidad son estimadas para cada uno de los 36 tipos estructurales incluidos en el modelo, estas fueron estimadas a partir de ensayos, información de eventos sísmicos pasados y de la opinión de expertos. En la estimación de la variabilidad se toman en cuenta la incertidumbre en el umbral del estado de daño, la incertidumbre en las propiedades del modelo típico del edificio, y la incertidumbre espacial de la amenaza.

## Europa

Entre el año 2001 y 2004 el proyecto europeo RISK-UE desarrolló una metodología modular de evaluación de riesgo por posibles eventos sísmicos en zonas urbanas; aplicada a 7 ciudades. La evaluación de riesgo tiene en cuenta la estimación de la amenaza sísmica y un inventario de las tipologías de los elementos expuestos. El objeto del proyecto es alertar y proveer de información apropiada a los centros de emergencia y de gobierno para la implementación de planes de emergencia y de mitigación de riesgo.

Los módulos desarrollados en el proyecto RISK-UE son similares a los presentados en la metodología HAZUS, donde en primera instancia a partir de información recopilada de elementos expuestos y clasificación del tipo de ocupación, se agrupan los diferentes tipos estructurales en tipologías con similares características de comportamiento ante eventos sísmicos. Las tipologías identificadas son 23 entre mamposterías reforzadas y no reforzadas, pórticos de concreto, y pórticos de acero, todas en 3 diferentes configuraciones de altura y niveles de diseño (códigos sísmicos de diseño).

En cuanto a la zonificación sísmica la metodología se propone en dos vías, con base en la información disponible para el área urbana de estudio. Se destaca una *zonificación geotécnica* donde a partir de información recopilada de múltiples fuentes (privadas o públicas) se obtienen los resultados de investigaciones geotécnicas o ensayos de laboratorio de sondeos que hayan alcanzado una profundidad suficiente (profundidad de roca,  $V_s > 800\text{m/s}$ ). A partir de esta información se definen unidades geotécnicas (condiciones similares de comportamiento dinámico) y se clasifican los tipos de suelo de acuerdo a las clases del Eurocódigo 8. De no contar con los estudios y datos descritos anteriormente se debería optar por una *zonificación geológica*, en donde a partir de mapas y parámetros geológicos, o mediante algunas medidas de respuesta dinámica y correlaciones, sea posible la aproximación a unidades geotécnicas.

La evaluación de amenaza sísmica se propone de igual manera en dos vías: la primera por la estimación de la severidad del movimiento del terreno, a través de diferentes leyes de atenuación, (evaluación deterministas) por un evento de magnitud específica asociado a una fuente caracterizada y con efectos de amplificación del suelo igualmente conocidos (zonificación geotécnica), o por estimación de intensidades macrosísmicas locales generadas con información de eventos históricos consistentes para la zona de estudio (zonificación geotécnica). La segunda vía de evaluación de amenaza sísmica es por la estimación del movimiento del terreno que pueda ocurrir durante un tiempo de exposición con cierta probabilidad de ser excedido (evaluación probabilista, o amenaza uniforme); p.e. la intensidad esperada de movimiento sísmico para en un tiempo de exposición de 50 años con el 10% de probabilidad de ser excedida, corresponde a la intensidad esperada con un periodo de retorno de 475 años.

Para la evaluación de la amenaza uniforme el proyecto RISK-UE adopta la herramienta de computo CRISIS (Ordaz et al., 2007) que realiza la estimación de amenaza sísmica (concretamente la tasa anual de excedencia de la intensidad seleccionada) sobre un modelo probabilista; tomando en cuenta el proceso de los tiempos de ocurrencia; y la distribución espacial de eventos, a partir de la información histórica (catálogo sísmico) y la caracterización de fuentes sísmicas.

La evaluación de vulnerabilidad se plantea de igual forma en dos vías: la primera por el desarrollo de matrices de probabilidad de daño - DPM, desarrolladas a partir de DPM del EMS-98 (probabilidad de estados de daño) y de funciones de vulnerabilidad semi-empíricas (valor medio de daño para cierta intensidad macrosísmica), por otro lado, la segunda vía tiene el mismo enfoque metodológico adoptado en HAZUS, en donde a partir de modelos de capacidad (punto de comportamiento) y curvas de fragilidad (probabilidad de estados de daño) es cuantificado el grado de daño sobre las diferentes tipologías por la acción del movimiento del terreno.

### América latina

En el año 2006, con el apoyo de organismos multilaterales se puso en marcha una iniciativa de enfoque integral para el análisis probabilista de riesgo por amenazas naturales (Cardona et al., 2008; ERN-AL, 2006). Esta iniciativa, además de múltiples herramientas para el manejo de información y cálculo de riesgo, incluye el desarrollo de una metodología para un análisis probabilista del riesgo que sigue los lineamientos descritos anteriormente.

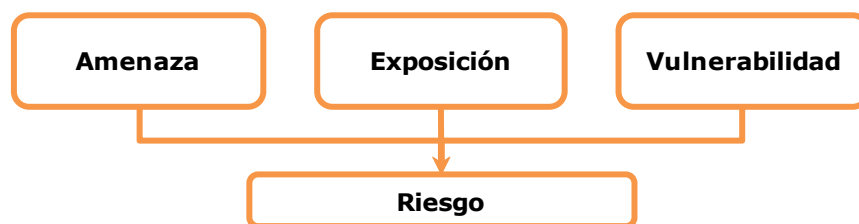


Figura 3 Esquema de actividades principales para el análisis del riesgo de la iniciativa CAPRA.

La metodología incorpora entre otras actividades, el análisis estadístico de eventos históricos de amenazas naturales para la evaluación del conjunto de todos los eventos posibles, el comportamiento de los elementos expuestos ante las amenazas indicadas, y un proceso sistemático orientado al manejo de la incertidumbre en las variables que intervienen en el análisis probabilista del riesgo. La metodología propuesta para el análisis probabilista del riesgo dentro de esta iniciativa tiene como principal resultado la *curva de riesgo* o *curva de excedencia de pérdidas* descrita anteriormente. La curva relaciona diferentes niveles de pérdida económica, y la frecuencia anual de excedencia de dicho valor esperado de pérdidas. Esta frecuencia anual de excedencia se conoce también como *tasa de excedencia de pérdidas*, y se calcula mediante la siguiente ecuación, derivada del teorema de la probabilidad total (Navarro, 2005; M. G. Ordaz, 2000):

$$v(p) = \sum_{i=1}^{\text{Eventos}} Pr(P > p | \text{Evento}_i) F_A(\text{Evento}_i) \quad (7)$$

Donde  $v(p)$  es la tasa de excedencia de la pérdida  $p$ ,  $Pr(P > p | \text{Evento}_i)$  es probabilidad que la pérdida exceda un valor  $p$  dado que ocurrió el evento  $i$ , y  $F_A(\text{Evento}_i)$  es la frecuencia anual de ocurrencia del evento  $i$ .

Como se observa en (7), y como se comentó anteriormente en el cálculo y representación de riesgo, la pérdida que se pueda presentar en un grupo de bienes expuestos por la ocurrencia de un evento, es una cantidad incierta y debe ser tratada como variable aleatoria (Navarro, 2005; M. G. Ordaz, 2000).

$$\Pr(P > p|Evento_i) = \int_I \Pr(P > p|I) f(I|Evento) dI \tag{8}$$

Donde  $\Pr(P > p|I)$  es probabilidad que la pérdida exceda un valor  $p$  dado que la intensidad fue  $I$ , y  $f(I|Evento)$  es la densidad de probabilidad de la intensidad

Para el análisis probabilista del riesgo se ha desarrollado un estándar para el almacenamiento de la información referente a todos los posibles eventos de amenaza de acuerdo con lo expuesto en (1). Esta colección de eventos se considerada en la metodología bajo dos axiomas; es el conjunto que representa la totalidad de eventos posibles (eventos exhaustivos); y la ocurrencia de uno u otro no sucede simultáneamente (eventos mutuamente excluyentes).

## Evaluaciones de Riesgo: concepción y desarrollo

Las ER son muy diversas en cuanto a tipo, metodologías utilizadas, información de entrada y resultados que generan. Desde mediados y finales del S.XX se han propuesto diversas metodologías y aproximaciones de la forma correcta en la que se debe abordar el riesgo desde diferentes perspectivas teniendo en cuenta la disciplina del conocimiento que se esté tratando. Desde la óptica de los desastres naturales, la Oficina de las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastre (UNDRO), en conjunto con UNESCO y un panel de expertos produjeron uno de los primeros aportes a la ER (UNDRO, 1979). Dicho aporte debe su importancia a que recoge los avances y conceptos desarrollados en décadas y años anteriores en diversas disciplinas y las conjuga en definiciones específicas que determinan los conceptos básicos de amenaza, vulnerabilidad, riesgo específico, elementos en riesgo y riesgo total.

A partir de dicho aporte, y desde la óptica de los desastres, es propuesta la siguiente formulación de evaluación del riesgo de una forma general:

$$Rt = E * Rs = E * H * V \tag{9}$$

Donde  $Rt$  corresponde al riesgo total,  $E$  son los elementos sobre los cuales recae el riesgo,  $Rs$  es el riesgo específico, el cual especifica el grado de pérdida esperada debido a la ocurrencia de un evento en particular,  $H$  corresponde a la amenaza y  $V$  es el componente de vulnerabilidad.

A partir de esta primera definición es posible identificar tres factores primordiales dentro de la evaluación del riesgo; amenaza, vulnerabilidad y exposición. La amenaza y vulnerabilidad se combinan de manera directa para el cálculo del riesgo físico o total sobre un elemento expuesto a la amenaza.

Partiendo de los aportes realizados por UNDRO (1979), Cardona (1985/86a) propone:



$$Rie|t = (Ai, Ve)|t$$

(10)

Lo anterior significa que “una vez conocida la amenaza o peligro  $A_i$ , entendida como la probabilidad de que se presente un suceso o una intensidad mayor o igual a  $i$  durante un período de exposición  $t$ , y conocida la vulnerabilidad  $V_e$ , entendida como la predisposición intrínseca de un elemento expuesto a ser afectado o de ser susceptible a sufrir un daño ante la ocurrencia de un suceso con una intensidad  $i$ , el riesgo  $Rie$  se expresa como la probabilidad de que se presente una pérdida sobre el elemento  $e$ , como resultado de la ocurrencia de un suceso con una intensidad mayor o igual a  $i$ . Es decir, el riesgo en general puede entenderse como “la probabilidad de pérdida durante un período de tiempo  $t$  dado”. (Cardona, O.D., 2001)

Es a partir de la evolución del concepto de riesgo propuesta por Cardona (1985/86a), en compañía con otros autores (Fournier d'Albe (1985), Milutinovic y Petrovsky (1985b)) que se empieza a hablar del cálculo de riesgo como un proceso probabilista. Ahora bien, a partir del concepto de riesgo y de sus componentes más importantes es necesario definir una metodología aceptable e idónea para su valoración dependiendo de las características de los elementos expuestos, entre ellos el nivel y ventana de exposición. De manera general, como lo establece el PEER y Taylor et al. (1998), para realizar un análisis de riesgo es necesario seguir como mínimo tres pasos; el primero es la estimación de la amenaza o peligro, el segundo es evaluar la vulnerabilidad y el tercero es llevar a cabo la estimación del riesgo como resultado de relacionar los dos parámetros anteriores.

Así pues, es posible definir por lo menos dos tipos de metodologías para la evaluación del riesgo. Dicha tipificación responde a diversos factores del problema de análisis, dentro de ellas se encuentran; características de los elementos expuestos, disponibilidad de información de amenaza, calidad de información de la amenaza, condiciones de vulnerabilidad de los elementos expuestos y, por último, las necesidades de la evaluación que se esté realizando puesto que la valoración de ciertos tipos de riesgo (p.e. social y ambiental) se hacen complejas en términos de su valoración cuantitativa dado que las metodologías de estimación de costo de bienes y servicios ecosistémicos, entre otros, no están del todo desarrolladas y hacen que la evaluación de riesgo deba realizarse por medio de estimaciones subjetivas o por medio de niveles de riesgo con indicadores.

Teniendo en cuenta lo anterior, tal como lo describe Cardona (2001), los enfoques de evaluación de riesgo se pueden dividir en “objetivos”, los cuales reciben este nombre por el hecho de cuantificar por medio de metodologías probabilistas y procesos matemáticos de convolución el riesgo de pérdida de un elemento o elementos en riesgo en una zona determinada. Por otro lado, existen enfoques de evaluación de riesgo “percibido” o subjetivo, los cuales se caracterizan por la ausencia de metodologías de cálculo probabilista y donde prevalecen estimaciones por medio de indicadores o niveles de riesgo de acuerdo a la asignación de valores determinados a la amenaza y vulnerabilidad para el cálculo de un riesgo resultante. Adicionalmente este tipo de enfoque hace uso de matrices de riesgo para la identificación de elementos en riesgo que deben ser priorizados con el fin de mitigarlo y/o reducirlo.

Bajo el segundo enfoque de evaluación de riesgo (percibido o subjetivo), si bien sus resultados provienen de estimaciones que no cuentan con modelos matemáticos robustos que buscan caracterizar la amenaza y la vulnerabilidad basados en la física, reviste y tiene importancia en el sentido que puede ser utilizado en cualquier caso para elaborar una evaluación de riesgo y tomar decisiones a partir de sus resultados. Pero, desde la perspectiva de la gestión del riesgo de desastres es importante en todos los

casos disponer de una contabilización de las pérdidas futuras por medio de metodologías y enfoques objetivos robustos que den una idea de los daños a los cuales se verá abocada una determinada población ante un evento amenazante. Por ende, si bien es posible tomar decisiones por medio de la interpretación de los resultados de evaluaciones de riesgo de tipo subjetivo, el hecho de no contar con evaluaciones de riesgo objetivo, cuantitativo y prospectivo (probabilistas) limita la capacidad de los tomadores de decisión para llevar a cabo estrategias públicas que permitan la mitigación y reducción del riesgo (Yamín et al, 2013).

Por lo anterior, y debido a que los modelos probabilistas de evaluación de riesgo proporcionan una metodología rigurosa para evaluar las pérdidas potenciales por eventos amenazantes antes de que ocurran, en el marco del proyecto de “Fortalecimiento de políticas e instrumentos financieros del SNGRD en Colombia 2016-2018” se propone la evaluación probabilista de riesgo sísmico a nivel nacional. En atención a ello, en este documento se presentan los principales estudios y documentos que constituyen la base de las evaluaciones probabilistas de riesgo adelantadas en Colombia en las últimas dos décadas.

De manera general, el proceso de evaluación probabilista del riesgo debe estar en capacidad de estimar la frecuencia con la que se presentarán pérdidas o daños que superen un valor dado (ERN-AL C. E., 2010). El procedimiento que se sigue para la evaluación del riesgo probabilista consiste en determinar las pérdidas para un grupo de elementos expuestos para cada uno de los escenarios que describen la amenaza en su totalidad, para posteriormente integrar probabilísticamente los resultados obtenidos usando como factores de peso las frecuencias de ocurrencia de cada escenario. (ERN-AL C. E., 2010)

La metodología de cálculo por la cual se rige la EPR, en el ámbito de los desastres naturales, se presenta en la siguiente ecuación:

$$v(p) = \sum_{i=1}^{eventos} Pr(P > p | Evento i) F_A(Evento i) \quad (11)$$

La anterior expresión relaciona la tasa de excedencia de la pérdida  $v(p)$  con la probabilidad de que la pérdida sea superior a  $p$ , dado que ocurrió el  $i$ -ésimo evento  $Pr(P > p | Evento i)$ , afectada por la frecuencia de ocurrencia del evento. El resultado de esta ecuación se conoce comúnmente como la curva de excedencia de pérdida (CEP), la cual especifica las pérdidas anuales con que ocurrirán eventos en los cuales se exceda un valor especificado de pérdida.

Por su parte, la modelación probabilista de la amenaza, cualquiera que ella sea, consiste en determinar la intensidad de cada uno de los escenarios que la describan de manera colectivamente exhaustiva en cada punto del terreno, así como también la frecuencia anual de ocurrencia de cada uno de dichos escenarios. Los valores estimados de intensidad de la amenaza para cada punto en el terreno se combinan por medio de un proceso de convolución<sup>3</sup> con la vulnerabilidad de cada uno de los elementos expuestos, la cual, dependiendo del tipo de amenaza que se evalúe, debe ser modelada y analizada con el objetivo de caracterizar la respuesta física, social, ambiental, etc. de cada uno de los elementos expuestos frente a la amenaza.

<sup>3</sup> Procedimiento matemático para hallar la distribución de probabilidad de la operación entre dos o más variables aleatorias.



## Términos y Conceptos

Esta sección se ocupa de la definición de un grupo de términos relacionados con el marco conceptual de la reducción del riesgo de desastre (RRD) y, en particular, con la EPR a la luz de diversos autores y entidades que han refinado la terminología en las últimas décadas, en armonía con lo dispuesto en la terminología de la Ley 1523 de 2012.

Las definiciones presentadas recogen los esfuerzos de los diferentes autores y entidades que han desarrollado la terminología específica que es característica de los contextos de la RRD y EPR. Las principales fuentes de las que se extraen estas definiciones son; la terminología de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastre (UNISDR por sus siglas en inglés) sobre RRD (UNISDR, UNISDR terminology on Disaster Risk Reduction, 2009), que es una iniciativa promovida por el marco de Hyogo para el decenio 2005-2015 y que sigue siendo adoptada por el marco de Sendai para el período 2015-2030. Y la Ley 1523 de 2012 de la República de Colombia.

El primer concepto que debe ser señalado es el de *desastre*, como el evento principal sobre el cual las actividades y acciones recaen con el fin de mitigar, reducir y/o controlar los daños producidos como consecuencia de su ocurrencia. A nivel general, y en el ámbito internacional, se entiende como "Una seria interrupción en el funcionamiento de una comunidad o sociedad que ocasiona una gran cantidad de muertes al igual que pérdidas e impactos materiales, económicos y ambientales que exceden la capacidad de la comunidad o la sociedad afectada para hacer frente a la situación mediante el uso de sus propios recursos" (UNISDR, 2009).

Ahora bien, teniendo en cuenta las consecuencias y responsabilidades que ejercen y obligan los desastres sobre la población y el Estado, la Ley 1523 complementa el concepto general de *desastre* con el fin de especificar los diferentes elementos del riesgo y de la materialización de los daños de manera detallada, de la siguiente forma: "Es el resultado que se desencadena de la manifestación de uno o varios eventos naturales o antropogénicos no intencionales que al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en las personas, bienes, la infraestructura, los medios de subsistencia, la prestación de servicios o los recursos ambientales, causa daños o pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales, generando una alteración intensa, grave o extendida en las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad, que exige del Estado y del sistema nacional ejecutar acciones de respuesta a la emergencia, rehabilitación y reconstrucción."

La atención a un desastre, entendida como las actividades llevadas a cabo con el fin de mitigar sus efectos y las pérdidas, da sentido a tres conceptos que se relacionan entre sí. El primero es el riesgo de desastres (RD), que se entiende como "las posibles pérdidas que ocasionaría un desastre en términos de vidas, condiciones de salud, los medios de sustento, los bienes y los servicios, y que podrían ocurrir en una comunidad o sociedad particular en un período específico de tiempo en el futuro" (UNISDR, UNISDR terminology on Disaster Risk Reduction, 2009). La segunda es la reducción del riesgo de desastres (RRD), definida como el "concepto y la práctica de la reducción de riesgos de desastres mediante esfuerzos sistemáticos para analizar y gestionar los factores causales de los desastres, incluso mediante la reducción de la exposición a riesgos, disminución de la vulnerabilidad de las personas y los

bienes, gestión racional de la tierra y el medio ambiente, y la mejora de la preparación para los eventos adversos " (UNISDR, UNISDR terminology on Disaster Risk Reduction, 2009). Y, por último, la gestión del riesgo de desastres (GRD), que se define como "el proceso sistemático de utilizar directrices administrativas, organizaciones, destrezas y capacidades operativas para ejecutar políticas y fortalecer las capacidades de afrontamiento, con el fin de reducir el impacto adverso de las amenazas naturales y la posibilidad de que ocurra un desastre" (UNISDR, 2009).

Las definiciones antes mencionadas están relacionadas y, en cierta medida, se superponen en un sentido en el que un concepto (RRD) está contenido dentro del otro (GRD) para reducir/mitigar/gestionar los impactos del tercero (RD). Estos términos son parte de la Gestión de Riesgos, término más general para abordar los problemas e impactos de específicos del RD. Y, como términos generales, transmiten el sentido y las características de los riesgos naturales en su conjunto.

Con el fin de vincular la terminología general con el marco en el que se basa el presente documento, se establece que uno de los componentes principales de la GRD es la ER, que puede ser entendida como el proceso en el que la amenaza y la vulnerabilidad son tratadas de forma convolutiva para todos los elementos expuestos con el fin de caracterizar y calcular los riesgos pasados, actuales y probables en el futuro. La evaluación del riesgo es un componente vital del proceso de GRD porque proporciona información sobre riesgos probables basados en la determinación de los tres componentes principales del riesgo; amenaza, vulnerabilidad y exposición. El análisis y evaluación del riesgo permiten aumentar la conciencia acerca de cómo las medidas de gestión deberán dirigirse y cuál será el costo-beneficio que se obtiene a partir de la puesta en marcha de dichas medidas.

La ocurrencia de un evento de peligro (sismo, inundación, tsunami, etc.) configura una amenaza, término ampliamente extendido en la terminología de la RRD y que se define como "un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales" (UNISDR, 2009).

Por otro lado, la vulnerabilidad, el segundo componente de la evaluación del riesgo, se entiende como "las características y circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza" (UNISDR, 2009). El cálculo del riesgo es producto de un proceso matemático de convolución de la amenaza y la vulnerabilidad, pero con el fin de materializar el riesgo sobre un área, un elemento o comunidad necesita ser expuesta al peligro. La exposición a largo plazo se define como "personas, bienes, sistemas, u otros elementos presentes en las zonas de riesgo que están por lo tanto sujetos a pérdidas potenciales" (UNISDR, 2009).

En el contexto de la evaluación de riesgo y el proyecto de "Fortalecimiento de políticas e instrumentos financieros del SNGRD en Colombia 2016-2018", los componentes que están directamente relacionados con los términos antes mencionados están identificados de la siguiente manera; la amenaza analizada es el sismo, caracterizado por el estudio de amenaza sísmica de Colombia utilizado para la generación del Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente (NSR 10). La exposición es reconocida como portafolios de edificaciones en centros poblados y sectores rurales a nivel nacional. Por otro lado, la vulnerabilidad es obtenida a partir de análisis estructurales detallados de tipificaciones de infraestructura y centros poblados con la mayor representación a nivel nacional con el fin de generar funciones de daño que representen la respuesta de las construcciones ante un evento sísmico.

En este capítulo se presenta el estado del arte de la EPR en Colombia teniendo en cuenta diferentes tipos de amenazas y elementos expuestos analizados. El capítulo se divide en tres secciones principales:

1. Actividades preliminares: se describe el proceso de acopio, revisión y consolidación de la base de datos de EPR en Colombia.
2. Evolución de estudios de EPR en Colombia: se describe y explica la evolución de los estudios de EPR en Colombia desde sus inicios hasta el presente, considerando diversos autores que han formulado metodologías de análisis de riesgo de las amenazas más importantes que se materializan en el país.
3. Resultados – Estadísticas estudios de EPR en Colombia: se presentan estadísticas descriptivas de los resultados de las actividades de acopio, revisión y consolidación de documentos en términos de; tipo de amenaza, escala evaluada, localización del estudio, tipo de documento/publicación, metodologías utilizadas.

## Actividades preliminares

Como parte de las actividades desarrolladas para adelantar el estado del arte de la EPR en Colombia se inició un proceso de acopio, revisión y consolidación de artículos especializados, documentos técnicos, proyectos de tesis y, en general, documentación que se relacione con la GRD y/o la RRD que se hayan desarrollado para el territorio colombiano o que presenten información relevante para el país a nivel nacional, regional y local.

- **Acopio de información:**

El acopio de los artículos y documentos técnicos se realizó mediante la consulta de dos fuentes principales de información; la primera corresponde a artículos publicados en revistas indexadas en bases de datos científicas relevantes. Entre las bases de datos de revistas científicas a las que se tuvo acceso para la recopilación se destacan Science Direct, SpringerLink y Scielo, de donde se recuperaron artículos de revistas de alto impacto como *Natural Hazards*, *International Journal for Disaster Risk Reduction*, *Journal of earthquake engineering*, *Journal of Hydrology*, entre otras. La segunda fuente de información consultada corresponde a un grupo de portales web enfocados en RRD a nivel mundial y local, entre ellos se destacan: *Preventionweb*, *Corporación OSSO*, *La Red*, *Understanding Risk – UR*, *portal IDEA – Universidad Nacional de Colombia*, *The World Bank* y *Researchgate* (En el ANEXO 2 se presenta una tabla de resumen con la totalidad de los portales web especializados que fueron consultados). Por último, se realizaron búsquedas de documentación en entidades gubernamentales a nivel nacional y regional como, por ejemplo; UNGRD, Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER), así como alcaldías de varios municipios.

A partir de la revisión de cada una de las fuentes mencionadas anteriormente se seleccionaron documentos a partir de dos criterios principales. El primer criterio busca condensar la documentación

existente que tenga relación estrecha con la GRD y la RRD que contenga información relevante de Colombia a nivel nacional, regional y local. Lo anterior con el objetivo de generar un repositorio de documentación digital para la UNGRD que contenga la documentación de GRD y RRD del país para la conformación de una base de datos pública de libre acceso. Por otro lado, el segundo criterio es la estrecha relación con la temática de EPR, es decir, fueron seleccionados los documentos que presentan EPR en Colombia con resultados definidos y que consideren los componentes de amenaza, vulnerabilidad y riesgo desde un punto de vista probabilista. A partir de estos estudios se realiza un recuento breve del estado del arte de las EPR en Colombia.

- **Revisión y consolidación de información:**

La síntesis de la información relacionada con la documentación recopilada, tanto relativa a la GRD y RRD como a los estudios de EPR en Colombia se compila en una base de datos (ANEXO 1) que hace uso de los metadatos según el formato Dublin Core (Dublin Core Metadata Initiative –DCMI).

*Tabla 1 Definiciones semánticas descriptivas DCMI*

CONTENIDO	PROPIEDAD INTELECTUAL	Instanciación
Título	Autor o creador	Fecha
Claves	Editor	Formato
Descripción	Otros colaboradores	Identificador de recurso
Fuente	Derechos	Lengua
Tipo de recurso		
Relación		
Cobertura		

La presentación de la base de datos se realiza mediante la clasificación de la totalidad de artículos y documentos en cuatro clases principales; trabajos de tesis, documentos técnicos, libros, artículos de investigación. Para cada una de las clasificaciones se elaboró la base de datos mediante la extracción de la siguiente información;

**Para trabajos de tesis:**

*Tabla 2 Plantillas Dublin Core para trabajos de tesis*

Nombre campo	Metadato DC	Calificador	Carácter	Observaciones
URL	dc.relation	publisherversion	opcional	Localización web, cuando ya sea pública
Título			obligatorio	Título completo del documento
Autor (es)			obligatorio	Apellidos y nombres del autor(es) de la tesis
Correo electrónico			opcional	Correo personal de los autores
Director(es) de Tesis			obligatorio	Apellidos y nombres del Director(es) de la Tesis.
Fecha de aprobación			obligatorio	Fecha de aprobación de la tesis (MM-DD-AAAA).
Resumen			obligatorio	Resumen de la tesis (1 párrafo).
Abstract			opcional	En inglés; resumen de la tesis (1 párrafo).
Palabra(s) clave			obligatorio	Palabras clave que describen el contenido de la tesis
Keywords			opcional	En inglés; Palabras clave que describen el contenido de la tesis
Patrocinador(es)			opcional	Nombre de la entidad (es) patrocinadora(s), si la tesis obtuvo alguna financiación.
Formato			obligatorio	Formato en que se encuentra el documento a ingresar al repositorio.
Confidencialidad			obligatorio	Nivel de confidencialidad que tendrá el documento. (acceso abierto) publicado en texto completo (Acceso limitado) Se publica una porción del documento (Restringido) Solo publica la referencia
Materias			obligatorio	Campo exclusivo biblioteca.
Título obtenido			obligatorio	Título académico al cual se opta con la tesis
Facultad			obligatorio	Facultad de Universidad donde se obtuvo el título
Publicado por			obligatorio	Nombre completo de la Universidad
Programa			obligatorio	Programa académico
idioma			obligatorio	spa (norma ISO 639-3)
Tipo de documento			opcional	Campo fijo
Tipo de documento en español			opcional	Campo fijo

## Para documentos técnicos, libros y artículos de investigación:

Tabla 3 Plantillas Dublin Core para documentos técnicos, libros y artículos de investigación

Nombre campo	Metadato DC	Calificador	Carácter	Observaciones
Autor(es)	dc.contributor	author	Obligatorio	Apellidos y nombres del autor(es) de la obra
Título	dc.title		Obligatorio	Título completo del documento
Otros títulos	dc.title	alternative	Opcional	Títulos complementarios
Fecha publicación	dc.date	issued	Obligatorio	Fecha de publicación del documento (MM-DD-AAAA).
Ciudad	dc.publisher		Obligatorio	
Citación	dc.identifier	citation	Obligatorio	Ejemplo: Autor-Título del libro (año). Lobo, Rafael. <i>La montaña encantada</i> (2009) Citación en formato APA
Editor	dc.publisher		Obligatorio	Entidad responsable de la publicación
Serie	dc.relation	ispartofseries	Opcional	
ISBN	dc.identifier	isbn	Opcional	International Standard Book Number
DOI	dc.identifier	doi	Opcional	Digital Object Identifier
Tipo de documento	dc.type	libro	Obligatorio	Especifica tipo de informe (guía, técnico), tipo de libro (políticas públicas, técnico) y tipo de artículo (Investigación, conferencia)
Idioma	dc.language	iso	Obligatorio	spa (norma ISO 639-3)
Descriptores	dc.subject		Obligatorio	Palabras clave que describen el contenido de la obra
Resumen	dc.description	abstract	Opcional	Resumen de la obra (1 párrafo).
Cooperación	dc.description	sponsorship	Opcional	Nombre de la entidad (es) cooperadora(s), si la tesis obtuvo alguna financiación.
URL	dc.relation	publisher version	Opcional	Localización web, cuando ya sea pública
Consulta versión impresa			Opcional	
Derecho de autor	dc.rights holder		Obligatorio	
Creative commons	dc.rights		Opcional	Especifica si el documento tiene tipo de licencia CC
Volumen			Opcional	
Formato			Obligatorio	Especifica formato de presentación del documento (Digital, físico)



La base de datos para los documentos relacionados con la GRD y la RRD en Colombia se elaboró de acuerdo a los metadatos base del formato DCMI, pero exclusivamente para los documentos de EPR se adicionó el campo que se explica a continuación:

Documentos Anexos: Se incorpora la ficha bibliográfica completa de cada documento en la cual se registra información de resumen, autor/es, año, publicación, palabras clave, descripción del documento en términos de los componentes de la EPR; amenaza, vulnerabilidad, exposición y resultados de riesgo.

- **Amenaza:**

- **Tipo de amenaza:** sismo, inundación, procesos de remoción en masa, volcanes, ciclones tropicales, etc.
- **Métricas de intensidad:** Se define la métrica que se evaluó en el estudio de amenaza específico de cada EPR, dependiendo del tipo de amenaza. Para sismo la métrica más común es la aceleración del terreno en superficie (PGA, por sus siglas en inglés), mientras que para inundación suele ser la altura de inundación.
- **Escala/resolución:** Se especifica si el estudio y los resultados de amenaza fueron realizados a escala supra nacional, macro, meso, micro o local. Adicionalmente, se especifica la resolución espacial de los resultados y del modelo, si se encuentra disponible la información.
- **Resultados:** Se especifica el formato en el que se presentan los resultados; mapas de amenaza integrada para diferentes períodos de retorno, curvas de amenaza, etc.
- **Metodología:** Se definen los insumos tenidos en cuenta para la generación de resultados de amenaza en términos técnicos y de software. Adicionalmente se especifica la fuente a partir de la cual se obtuvo la base técnica para la elaboración del estudio de amenaza.
- **Períodos de retorno:** Se mencionan los períodos de retorno para los cuales se presentan los resultados del modelo de amenaza.

- **Vulnerabilidad:**

- **Tipo de vulnerabilidad:** Se clasifica el tipo de vulnerabilidad en términos de vulnerabilidad física, para hacer referencia a bienes y servicios materiales, y la vulnerabilidad humana.
- **Metodología:** Se establece el tipo de metodología seguida para la obtención de curvas de vulnerabilidad; analítica, empírica, criterio de expertos. Adicionalmente se mencionan las fuentes de información tenidas en cuenta para la obtención de curvas de vulnerabilidad por vía analítica.
- **Tipología estructural:** Se especifican los tipos estructurales que se describen por medio de las curvas de vulnerabilidad; bahareque, adobe, mampostería, pórticos en concreto, pórticos en acero, etc., según sea el caso para cada EPR.
- **Representación:** Se especifica si la vulnerabilidad es representada por medio de una curva y/o función de vulnerabilidad, definiendo los ejes que la componen.



- **Exposición:**
  - **Tipo de exposición:** Se especifican los tipos de elementos expuestos analizados: edificaciones, infraestructura, líneas vitales, vidas humanas, etc.
  - **Portafolios:** Se especifica el portafolio de los elementos expuestos analizado; educación, institucional, comercial, residencial, gubernamental, industrial, salud, etc.
  - **Localización geográfica:** Lugar geográfico donde se encuentran localizados los elementos expuestos analizados.
  - **Valor de reposición total:** Valor económico en unidades monetarias del total del portafolio analizado.
  - **Área expuesta:** Área total expuesta obtenida por medio de la suma de la superficie construida de los elementos expuestos analizados.
  
- **Resultados de riesgo:**
  - **Modelo utilizado:** Se menciona el modelo utilizado para el cálculo de riesgo. Dentro de ellos se destacan; OpenQuake, CAPRA, PERCAL 6.
  - **Métricas de riesgo:** Métricas utilizadas en el modelo para expresar los resultados de riesgo, dentro de las que se destacan; pérdida máxima probable (PML, por sus siglas en inglés), pérdida anual esperada (PAE), prima pura de riesgo.
  - **PAE:** resultados de pérdida máxima probable para cada caso específico
  - **PML:** períodos de retorno tenidos en cuenta para el cálculo de la curva de PML
  - **Representación del riesgo:** Se especifica la forma en la que se representan los resultados de riesgo en términos de curvas de excedencia de pérdidas, mapas de riesgo total y/o mapas de riesgo relativo.

En la Figura 4 y Figura 5 se presenta un modelo de ficha bibliográfica para el libro “*Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre – El caso Bogotá*” con la información mencionada anteriormente. En el ANEXO 3 se presentan las fichas bibliográficas para la totalidad de EPR en Colombia en formato digital (.PDF).

**Título: Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre**

**Ficha No. 22**

**RESUMEN**

Esta publicación recoge una descripción resumida de la modelación probabilista del riesgo de desastre que se puede generar como consecuencia de las amenazas naturales. Se presentan tanto las bases conceptuales como una serie de aplicaciones con fines de gestión del riesgo en el marco de la planificación socioeconómica y el desarrollo sostenible. Se pone especial énfasis en el caso sísmico y el riesgo que se deriva como resultado de inundaciones y deslizamientos urbanos. Sin entrar en mayores detalles técnicos, se plantean los criterios con los cuales se deben hacer los inventarios de edificaciones y de la infraestructura expuesta a los fenómenos peligrosos, el análisis general de exposición, la evaluación de la vulnerabilidad de los diferentes componentes de infraestructura y la estimación del riesgo en términos de daños físicos, pérdidas económicas y efectos sobre la población. Se exponen también diversos casos de aplicación de la evaluación probabilista del riesgo: alternativas de visualización de parámetros e indicadores de amenaza,



AUTOR / ES	L. Yamín, F. Guesquiere, O. D. Cardona, M. G. Ordaz
AÑO	2013
INSTITUCIÓN / REVISTA / ORGANIZACIÓN / EDITOR	Banco Mundial, Universidad de Los Andes
PALABRAS CLAVE	Ingeniería Sísmica, terremotos, Bogotá, evaluación probabilista de riesgo, inundaciones

Figura 4 Modelo de ficha bibliográfica. Ficha No. 22: Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre – El caso Bogotá

<b>COMPONENTES DE LA EVALUACIÓN</b>	
<b>AMENAZA</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tipo de amenaza: Multiamenaza: Sismo, inundación, movimientos en masa</li> <li>2. Métricas de intensidad: Peak Ground Acceleration (PGA)/ Profundidad inundación / Factor de inseguridad</li> <li>3. Escala/resolución: Local</li> <li>4. Resultados: Mapas de amenaza integrada</li> <li>5. Localización: Bogotá / Quebrada Limas</li> <li>6. Metodología: Estudio de amenaza sísmica nacional (Comité AIS-300, 2009). CRISIS 2007 (Ordaz et al. 2007) / Modelos hidráulicos e</li> <li>7. Períodos de retorno (años): Sismo; 250, 500, 1000, 2500 / Inundación; 10, 50, 100</li> </ol>
<b>VULNERABILIDAD</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tipo de vulnerabilidad: física, humana</li> <li>2. Metodología: ERN - AL (2008)</li> <li>3. Tipología estructural: Mampostería simple / reforzada, muros en concreto reforzado, pórticos en concreto reforzado</li> <li>4. Representación: Función de vulnerabilidad; PGA vs. Valor esperado de la pérdida / Profundidad educación vs. Valor esperado de la pérdida</li> </ol>
<b>EXPOSICIÓN</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tipo exposición: Edificaciones, población</li> <li>2. Portafolios: Residencial, comercial, industrial, salud, educación, institucional, población</li> <li>5. Localización: Bogotá, Colombia</li> <li>4. Valor de reposición total: 138.1 Billones (COP)</li> <li>5. Área expuesta (m<sup>2</sup>): 213,755 * 10<sup>6</sup></li> </ol>
<b>RESULTADOS DE RIESGO</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Modelo utilizado: Comprehensive Approach for Probabilistic Risk Assessment (CAPRA)</li> <li>2. Métricas de riesgo: Pérdida Anual Esperada (PAE), Pérdida Máxima Probable (PML), indicadores de riesgo</li> <li>3. PAE: -</li> <li>4. PML: -</li> <li>5. Representación del riesgo: Curva de Excedencia de Pérdida, Mapas de riesgo</li> </ol>
Elaborado por: Subdirección para el Conocimiento del Riesgo -UNGRD	

Figura 5 Modelo de ficha bibliográfica. Ficha No. 22: Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre – El caso Bogotá (Continuación)

Como resultado del proceso de: acopio, revisión y consolidación de artículos especializados, documentos técnicos, proyectos de tesis y, en general, documentación que se relacione con la GRD y/o la RRD que se hayan desarrollado para el territorio colombiano o que presenten información relevante para el país a nivel nacional, regional y local, se obtiene que de un total de 255 documentos, 140 de ellos fueron seleccionados para ser ingresados al repositorio digital del centro de documentación de la UNGRD. Así mismo, de los 140 documentos, únicamente 41 de ellos cumplen con los requisitos de EPR en Colombia. Por lo anterior, para cada uno de los 41 EPR se elaboraron fichas bibliográficas de descripción de su contenido.

## Evolución estudios de EPR en Colombia

En este capítulo se presenta una evolución de los estudios de EPR en Colombia teniendo en cuenta los aportes y avances que se han hecho en el país desde la década de los 80 hasta el presente. Dentro del análisis se da especial importancia a los 41 estudios de EPR recopilados con base a los criterios explicados en secciones anteriores, pero también se hace mención a los estudios de los cuales no se tiene soporte digital/físico, pero de los que se cuenta con información relevante del procedimiento y los resultados que produjeron y que es importante resaltarlos para enmarcar la evolución y el estado del arte de los estudios de EPR que han sido desarrollados en el país para diferentes tipos de amenaza, vulnerabilidad y exposición, en diferentes escalas de análisis.

Los estudios que se identificaron se clasifican y presentan de acuerdo a su aparición en orden estrictamente cronológico. Los estudios de EPR se desarrollan para diferentes tipos de amenaza (p.e. inundación, avenidas torrenciales, ciclones tropicales, sismo, remoción en masa, etc.), de vulnerabilidad (p.e. analítica, empírica, etc.), y de elementos expuestos (p.e. edificaciones, cultivos agrícolas, infraestructura, líneas vitales, etc.), así como también diferentes escalas de análisis (p.e. supranacional, macro, meso, micro y local). La decisión de presentar los estudios y aportes de manera cronológica y no teniendo en cuenta los tipos de contenidos y de escalas de análisis de los mismos, obedece a que de esta manera es posible establecer un hilo conductor en la evolución de este tipo de estudio en el país desde sus inicios hasta el presente. Y, adicionalmente, porque en la sección subsiguiente se presentan los resultados de los estudios de EPR en Colombia por medio de estadísticas descriptivas para cada uno de los contenidos más relevantes que los componen.

Los estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por eventos naturales en el país han sido impulsados desde sus inicios mayoritariamente por la ingeniería sísmica. Por tanto, antes de presentar la evolución de los estudios de EPR en Colombia a nivel general es necesario realizar un comentario aparte del desarrollo de las normas colombianas de construcción sísmo resistente y de su influencia en los estudios posteriores que se han llevado a cabo en el país a diferentes escalas.

De manera casi simultánea con la aparición del Decreto 1400 de 1984, por el cual se adoptó el *Código Colombiano de Construcciones Sísmo Resistentes* basado en la norma AIS 100, se publicó el primer

*Estudio General de Riesgo Sísmico de Colombia* en el año de 1984. Dicho estudio fue elaborado por la AIS, la cual desde la década de 1970 venía trabajando en conjunto con la Universidad de Los Andes y algunos profesores como Alberto Sarria y Luis Enrique García Reyes, entre otros, en la producción de mapas de zonificación sísmica de Colombia, catálogos nacionales de eventos sísmicos y requisitos sísmicos para edificios. En este trabajo se presentan los mapas de Zonificación Sísmica, Aceleración Pico Efectiva – Aa y de Velocidad Pico Efectiva Av (Expresada en términos de aceleración). (AIS, INGEOMINAS, & Universidad de Los Andes, 1995)

Posteriormente, en el marco de la publicación de las *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente* (Ley 400 de 1997), el Estudio General de Riesgo Sísmico de Colombia de 1984 se actualizó en el año de 1995 por parte de la AIS, en convenio con la Universidad de Los Andes e Ingeominas (Ahora SGC), con el objetivo de generar el *Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia* para la actualización de los mapas de amenaza sísmica que se incluyen en la NSR-98. Es importante resaltar que la NSR-98 en su literal A.2.9 establece que; en reconocimiento de la relevancia de los efectos que tiene la respuesta sísmica de los depósitos de suelo locales y demás características del suelo de cada uno de los sitios en que se ubican las poblaciones más importantes del país, estipula que las capitales de departamento y las ciudades y/o poblaciones con más de 100.000 habitantes localizadas en zonas de amenaza sísmica intermedia y alta *podrán* armonizar las reglamentaciones municipales de ordenamiento y uso de la tierra con un estudio de microzonificación sísmica que cumpla con una serie de actividades y estudios que se detallan en la NSR 98. Lo anterior con el fin de tener en cuenta el efecto que tiene la propagación de la onda sísmica a través de los estratos de suelo subyacentes en las edificaciones de los principales centros poblados del país (Andes, 2006).

En 2009, la AIS publica la segunda actualización del *Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia* que, tal como las anteriores versiones, sirvió como base técnica y de conocimiento científico para la elaboración y publicación del *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente – NSR 10* (Decreto 926 de 2010), por medio del cual se especifica un cambio en relación a los estudios de microzonificación sísmica para capitales de departamento y centros poblados con más de 100.000 habitantes en el sentido en que *deberán* armonizar los instrumentos de planificación para el ordenamiento territorial con un estudio o estudios de microzonificación sísmica. La NSR-10 es el reglamento que se encuentra en vigencia para todo el territorio.

El primer estudio de microzonificación sísmica que se desarrolló en el país fue para la ciudad de Popayán en el año de 1992 por parte de la Comunidad Europea, el Ingeominas y la Universidad de Los Andes. Este estudio de microzonificación fue actualizado entre los años de 2010 y 2012 por parte de la Universidad de Los Andes en convenio con algunos particulares a la luz de lo estipulado en la NSR-10, e incluyendo en el análisis la evaluación de vulnerabilidad física y determinación de escenarios de afectación y daños y análisis de riesgo sísmico para la zona urbana y de expansión del municipio de Popayán.

En el año de 1997 (Cardona & Yamín) realizaron el estudio de microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá, en el cual participaron principalmente la Universidad de Los Andes y el Ingeominas. En dicho estudio se llevó a cabo la estimación de escenarios de pérdidas por sismo como parte de un proyecto



integrado de riesgo para la ciudad de Bogotá utilizando el método DPM<sup>4</sup> y las matrices de daño se ajustaron a partir de las publicadas en el ATC-13 (Consortio-Microzonificación, 2006). Posteriormente, en el año de 2006, la Universidad de Los Andes publicó para la DPAE la actualización del estudio de microzonificación sísmica elaborado en 1997, por medio del informe de *Innovación e Investigación tendientes a la actualización de la información sísmica de la ciudad de Bogotá*. En dicho proyecto se presenta la evaluación de escenarios de daño para la ciudad de Bogotá por métodos probabilistas para edificaciones de diferentes usos, usando análisis de vulnerabilidad física de dichas edificaciones.

En el año de 1999 se publicaron 3 estudios de microzonificación en el país; el primero corresponde al de la ciudad de Medellín, el cual fue ejecutado por la Universidad EAFIT, Integral S.A., el Ingeominas y la Universidad Nacional – sede Medellín. El segundo se publicó en Abril del mismo año para la ciudad de Pereira y los municipios de Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal, bajo la coordinación de la Universidad de Los Andes y varias firmas consultoras locales. El tercero fue elaborado para la ciudad de Armenia, el cual se hizo posterior al evento sísmico registrado el 25 de Enero de 1999 gracias a la solicitud por parte de la OFDA/AID de los Estados Unidos a la AIS y la Universidad de Los Andes para elaborar el estudio de comportamiento del suelo de las zonas centro y sur de la ciudad ante las solicitaciones del sismo, dando paso al *Estudio de Microzonificación Sísmica Indicativa para Orientar la Reconstrucción de Armenia* (Andes, 2006).

En el año de 2001, se realizó el estudio de microzonificación sísmica indicativa para la ciudad de Bucaramanga, con participación directa del Ingeominas en 3 partes principales del proceso; la primera en recopilación de documentación, la segunda en términos indicativos y la tercera en estudios definitivos entre 1997 hasta 2003 (Alvarado C. , 2010). Posteriormente, en el año de 2002, a Universidad de Los Andes adelantó el *Estudio de Microzonificación Sísmica de la ciudad de Manizales*, con estrecha cooperación con la Universidad Nacional – sede Manizales en conjunto con varias firmas consultoras locales (Andes, 2006). Cabe resaltar que a la luz de la entrada en vigencia de la NSR-10, la ciudad de Manizales adelantó la armonización del estudio de microzonificación sísmica con el fin de actualizar los resultados teniendo en cuenta lo estipulado en el nuevo decreto. Este proyecto se adelantó bajo la coordinación de Corpocaldas, en conjunto con la Universidad Nacional – sede Manizales, entre los años de 2013 y 2015.

Entre los años de 2001 y 2002 el Ingeominas adelantó los estudios de microzonificación sísmica indicativa a escala 1:10000 para la ciudad de Villavicencio. Actualmente la ciudad se encuentra en proceso de actualizar dicho estudio con la colaboración de la Universidad de Los Andes teniendo en cuenta lo estipulado en la NSR-10, e incluyendo dentro de los resultados la evaluación probabilista de riesgo sísmico en la ciudad. En el año de 2005 se elaboraron dos estudios de microzonificación sísmica en el país; el primero fue realizado por la Universidad de Los Andes para las ciudades de Palmira, Tuluá y Buga, dentro del cual se consideran estudios probabilistas de riesgo sísmico para los diferentes portafolios de elementos expuestos. El segundo estudio fue elaborado por parte del Ingeominas para la ciudad de Santiago de Cali a escala 1:10000.

---

<sup>4</sup> DPM: Uno de los primeros métodos disponibles para la evaluación de riesgos. Corresponde al método de matrices de probabilidad de daño. (Whitman R. , 1973)

En 2006 fueron elaborados los *Estudios de Amenaza, Respuesta Dinámica y Microzonificación Sísmica para la ciudad de Ibagué* por parte de la Universidad de Los Andes, en los cuales se realizaron aportes innovadores a nivel técnico y científico que se tuvieron en cuenta como base fundamental para la realización del estudio de *Innovación e investigación tendientes a la Actualización de la Información Sísmica de la ciudad de Bogotá*, elaborados por la misma Universidad.

Por último, en el mismo año, el Consorcio Microzonificación, integrado por Universidades de Antioquia, firmas consultoras locales y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, adelantaron el estudio de *Microzonificación Sísmica Detallada de Los Municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado*. En dicho estudio se presenta la metodología IE-RISS, la cual es consistente con la teoría de probabilidad y tiene en cuenta los aspectos positivos de metodologías de análisis de riesgo como PERCAL 6 (Jaramillo, 1996).

A partir de este punto se presenta la evolución de los estudios de EPR Colombia de manera cronológica para todas las amenazas.

Jaramillo (1996) estableció la metodología PERCAL, la cual fue desarrollada para la estimación de pérdidas económicas por eventos sísmicos para la ciudad de Medellín. En este caso, las solicitaciones sísmicas para el caso de edificaciones y estructuras de concreto se analizan por medio de los desplazamientos espectrales generados en el último piso de la edificación. Por otro lado, para estructuras de mampostería las solicitaciones están representadas por medio del espectro de respuesta de aceleración. Bajo esta metodología, los parámetros que se tienen en cuenta para la modelación mecánica de las edificaciones son; tipo de cubierta, uso, número de pisos, edad y estrato socioeconómico. Una vez definido lo anterior se hace un cálculo probabilista para estimar la probabilidad de exceder o alcanzar un estado límite determinado. Dentro de las ventajas con que cuenta la metodología se encuentra que posee un esquema netamente probabilístico de estimación de pérdidas, considerando de manera apropiada y simple las incertidumbres asociadas. Adicionalmente requiere relativamente poca información y capacidad de cómputo, puesto que ha sido específicamente diseñada para evaluaciones a nivel urbano. Dentro de sus desventajas se encuentra que no se tiene en cuenta la incertidumbre asociada con la demanda sísmica (Consortio-Microzonificación, 2006).

En el año de 2001, (Chavarría & Gómez Pizano) realizaron una adaptación de la metodología GNDT<sup>5</sup> de segundo nivel para un estudio local en la ciudad de Cali con el fin de estimar daños puntuales. Posteriormente en el mismo año, (Cardona, O.D.) en su tesis doctoral presentó un enfoque de estimación de riesgo sísmico a escala urbana con aplicación en la ciudad de Bogotá por medio de una metodología holística, esto es, considerando aspectos sociológicos, económicos, psicológicos y de ingeniería usando la teoría dinámica de sistemas complejos. Según (Consortio-Microzonificación, 2006), la metodología posee el mérito de presentar la concepción del riesgo desde una perspectiva general y global, considerando todos los aspectos influyentes en el proceso, lo cual permite una evaluación multidisciplinaria del mismo. Pero, por otro lado, también establece que el enfoque no cuenta con el nivel de detalle deseado para la identificación de tipologías estructurales en riesgo, con el fin de tener insumos

---

<sup>5</sup> GNDT: Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti. Método italiano de evaluación sísmica de edificaciones aplicado principalmente en ciudades europeas. Se basa en la asignación cualitativa de puntajes que permiten establecer un índice de vulnerabilidad a los edificios.



para la ejecución de programas de reforzamiento estructural. Adicionalmente se menciona que la definición de las curvas de fragilidad estructural para cada tipología es restrictiva desde el punto de vista económico, dado que se calculan a partir de métodos de computación paralelizada.

El Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos de la Universidad de Los Andes realizó en 2001 la *Evaluación de pérdidas por sismo para fines de seguros en edificaciones de Bogotá*. En este estudio, realizado para Fasecolda, se analizaron las carteras de terremoto de diferentes compañías de seguro en la ciudad de Bogotá con el fin de calcular los valores de PML de cada una de ellas. Por medio del sistema de cómputo RS-COL se estudiaron cerca de 270,000 edificaciones de un total de 17 compañías aseguradoras (Cardona & Yamín, 2006).

Por último, en el año 2001, (Cardona, Yamín, Arámbula, & Molina) publicaron el estudio *Retención y transferencia del riesgo sísmico en Colombia*. En dicho estudio se presenta una descripción resumida de un modelo avanzado para la estimación del riesgo sísmico de manera más confiable por métodos probabilistas y las pérdidas por terremoto. Adicionalmente se presenta un resumen de resultados de dos análisis realizados con muestras de inmuebles públicos para las ciudades de Manizales y Bogotá. En estudios de caso se presenta la posibilidad de explorar estrategias eficientes de retención y transferencia de pérdidas desde un punto de vista financiero, constituyendo así uno de los primeros estudios en el país en tocar el tema de transferencia financiera del riesgo de desastre por eventos naturales.

En el año de 2003 se presentan dos estudios a nivel regional en el país con una alta relevancia para los elementos expuestos de líneas vitales. El primero corresponde a la *Evaluación del riesgo de desastres naturales en corredores viales regionales*, desarrollado por el CEDERI para el Instituto Nacional de Vías (INVIAS). El objetivo de este estudio fue el de evaluar los riesgos naturales sobre la infraestructura vial del país. La metodología seguida en el estudio se basó en caracterizar diferentes segmentos de vías por medio de indicadores que permiten identificar puntos críticos en los cuales se han presentado eventos amenazantes, con el objetivo de emitir conceptos técnicos para definir intervenciones correctivas y preventivas sobre la infraestructura con base en una estimación de costos y pérdidas por eventos históricos. El segundo estudio es titulado *Pérdida Máxima Probable en el gasoducto de occidente*, elaborado por la firma consultora Ingeniería Técnica y Científica (ITEC) con el objetivo de calcular el valor de PML del sistema de distribución de gas de la empresa Transgas de Occidente por la ocurrencia de procesos de remoción en masa detonados por lluvias intensas y terremotos. En el año de 2011 y 2012, la misma firma consultora presenta una actualización del estudio debido a la ocurrencia del fenómeno de la Niña 2010-2011 que afectó el área de influencia del gasoducto en el eje cafetero. En dicha actualización se presentó de manera adicional un esquema de costos de mantenimiento a futuro de la red teniendo en cuenta la influencia de fenómenos hidrológicos.

En el año de 2005 se presentan estudios de EPR en el país de diversa índole y escala. El primer estudio al que se hace referencia es de orden nacional, denominado *Indicadores de Riesgo de Desastre y de Gestión de Riesgos* elaborado por el Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional – sede Manizales para el BID. La metodología que se plantea se basa en la aplicación de un sistema de cuatro indicadores que permiten medir el impacto potencial de las amenazas naturales, la vulnerabilidad existente y su capacidad de gestión ante los desastres potenciales. Los indicadores calculados son; índice de Déficit por Desastre (IDD), índice de Desastres Locales (IDL), índice de Vulnerabilidad Prevalente (IVP) y el índice de Gestión de Riesgos (IGR). Para el cálculo de los 4 índices es preciso

contar con información de amenaza sísmica nacional, evaluación de riesgo probabilista por sismo y una recopilación de información general sobre eventos previos ocurridos a nivel nacional (Cardona & Yamín, 2006).

La firma consultora ERN-Colombia adelantó el estudio de *Definición de la responsabilidad del estado, su exposición ante desastres naturales y diseño de mecanismos para la cobertura de los riesgos residuales del estado*, para la Agencia Colombiana de Cooperación Internacional (ACCI), el DNP y el Banco Mundial. El estudio plantea como objetivo el establecimiento de responsabilidades del Estado en las etapas de atención, rehabilitación y reconstrucción posterior a la ocurrencia de desastres naturales con el fin de cuantificar el riesgo total del Estado y definir su incidencia en las finanzas públicas para la construcción de una estrategia de transferencia de este.

En el mismo sentido, pero a una escala local, el CEDERI elaboró el estudio de *Estrategia para transferencia, retención, mitigación del riesgo sísmico en edificaciones indispensables y de atención a la comunidad de Bogotá*, para la ACCI, el DNP y el Banco Mundial. El objetivo principal del proyecto fue el de la estimación de pérdidas máximas probables directas sobre los contenidos y por lucro cesante, la PAE y la prima pura de riesgo para las edificaciones indispensables de la ciudad de Bogotá. Lo anterior teniendo en cuenta la evaluación de la amenaza sísmica de Bogotá a nivel de superficie del terreno considerando la respuesta dinámica local, dada por el estudio de microzonificación de 1997. Adicional a esto, con los resultados obtenidos se definió una estrategia óptima de retención y transferencia del riesgo para el Distrito, analizando el beneficio-costado de las obras de intervención de las edificaciones evaluadas.

Posteriormente el mismo centro de estudios elaboró para la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá (DPAE) el estudio de *Escenarios de riesgo y pérdidas por terremoto para Bogotá D. C.* Este modelo aborda la amenaza sísmica por medio de un SIG considerando diversos escenarios sísmicos. Por otro lado, el modelo de exposición fue construido a partir de información catastral de la ciudad con cerca de un millón de predios. Adicionalmente se presenta el estudio de riesgo sísmico holístico teniendo en cuenta el índice de riesgo sísmico urbano desde una perspectiva integral considerando factores sociales y de resiliencia de las localidades de la ciudad (Cardona & Yamín, 2006).

En la ciudad de Manizales, el consorcio ERN-Manizales elaboró el estudio *Diseño de esquemas de transferencia de riesgo para la protección financiera de edificaciones públicas y privadas en Manizales en el caso de desastres por eventos naturales* para la ACCI, el DNP y el Banco Mundial. En dicho estudio se realiza la evaluación general de la amenaza sísmica en superficie para la ciudad de Manizales teniendo en cuenta la respuesta dinámica local. Adicionalmente en el modelo de exposición se incluye la información catastral actualizada de la ciudad al año 2005. Los resultados obtenidos se presentan en términos de PML por pérdidas directas y lucro cesante, la prima pura de riesgo y la PAE. Por último, se presenta la estrategia óptima de retención y transferencia del riesgo a nivel financiero para las edificaciones públicas y privadas de la ciudad (Cardona & Yamín, Información sobre el riesgo de desastre a través del estudio de casos piloto. , 2006).

En el mismo año, (Montaña-Acevedo) presenta la tesis *Escenarios de daño en Bogotá para un evento sísmico bajo un modelo probabilístico*. Bajo este estudio se presenta una evaluación de daños por eventos sísmicos específicos, los cuales son determinados y caracterizados por medio de una función de recurrencia sísmica. Dentro de las métricas de intensidad para caracterizar el evento sísmico se usa la Aceleración Pico del Terreno (PGA) y la ocurrencia de los eventos se determina por medio de una

función de probabilidad establecida por Sánchez-Silva (2004). Las tipologías estructurales que se evalúan bajo esta metodología son las establecidas por la metodología HAZUS-99; mampostería, pórticos de concreto, bodegas, informal liviana/pesada, entre otras. Los resultados principales obtenidos se presentan por medio de probabilidades de falla para cada tipología estructural y, adicionalmente, se modelan los costos asociados a estas probabilidades de falla bajo una función objetivo de optimización.

El último estudio de EPR a escala local que se presentó en el año de 2005 es elaborado por (Saldaña, Monsalve, Agudelo, Upegui, & Jaramillo), titulado *Metodología para la Evaluación del Riesgo Sísmico de pequeñas y medianas ciudades. Estudio de caso: zona centro de la ciudad de Armenia – Colombia*. La metodología usa como variables las características generales de la edificación para establecer una vulnerabilidad indicativa. Entre ellas se encuentran; año de construcción, altura, tipo de cubierta, sistema constructivo, entre otros. Ésta metodología se presenta como una actualización y ampliación de la metodología PERCAL 6 (Jaramillo, 1996), con el fin de establecer un mayor grado de detalle en la obtención de las pérdidas de cada edificación. Se presenta un caso de estudio para la ciudad de Armenia, con un modelo de exposición que cuenta con 2525 predios. La metodología para la evaluación de la amenaza sísmica fue obtenida a partir del modelo Línea – Fuente (Der-Kiureghian, 1975) para una métrica de intensidad sísmica de PGA. Las funciones de fragilidad se determinan por medio de una metodología analítica propuesta por (Saldaña, Monsalve, Agudelo, Upegui, & Jaramillo, 2005) teniendo en cuenta espectros de capacidad para cada tipología estructural. Los resultados de riesgo se presentan por medio de índices de pérdidas usando el modelo PERCAL 6 actualizado.

En el año de 2006 se publicaron diversos estudios de EPR de diversa índole, alcance y escala espacial. Uno de los primeros estudios fue publicado por el Consorcio ERN-Colombia (2006) para la Secretaría de Hacienda de Bogotá, la DPAE, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo y el Banco Mundial. El estudio se tituló *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*. Dentro de los aspectos que se tuvieron en cuenta para la evaluación se encuentra el modelo de exposición elaborado para edificaciones públicas y privadas de la ciudad a partir de información secundaria y catastral. Por otro lado, se plantea el uso de la amenaza sísmica evaluada en estudios anteriores con el fin de estimar el PML, prima pura de riesgo y la PAE tanto para edificaciones y líneas vitales. A partir de los resultados de riesgo obtenidos se estimó el impacto económico para la ciudad, en su tasa de crecimiento, el déficit fiscal generado por la ocurrencia de un evento sísmico específico, así como el gasto compensatorio y la posible reasignación del gasto público de inversión con fines de reconstrucción. Finalmente, se define la estrategia óptima de retención y transferencia del riesgo en términos económicos para los portafolios expuestos evaluados y la posibilidad de cubrirlos con subsidio cruzado para la población de estratos socioeconómicos bajos mediante la promoción de un seguro voluntario colectivo (Cardona & Yamín, 2006).

El CEDERI, en 2006, elaboró dos estudios para el Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y el Banco Mundial. El primero de ellos se tituló *Determinación del impacto socio-económico de las acciones de prevención y reducción del riesgo asociado a fenómenos de remoción en masa e inundaciones, aplicación en la ciudad de Bogotá*. En él se propone un modelo general para la evaluación de impactos socioeconómicos generados por desastres asociados a fenómenos de remoción en masa e inundaciones. Dentro de sus resultados y productos se incluye un SIG para la gestión de información de emergencias y obras de mitigación. El segundo estudio desarrollado por el CEDERI se tituló

*Metodología para la evaluación, zonificación y reducción de riesgos por inundaciones y avenidas torrenciales y su articulación a los planes de ordenamiento territorial, con aplicación a un caso piloto en la ciudad de Bogotá.* En él se propone un modelo para la evaluación de amenaza por inundación, así como la consideración de posibles obras de mitigación y su posible beneficio económico y social. Adicionalmente, se plantea la vinculación de dichas metodologías con los POT y se realiza un ejemplo en la ciudad de Bogotá para la Quebrada Limas.

Más adelante, (Guesquiere, Yamín, & Mahul, 2006) realizaron un estudio de EPR con un caso de estudio en la ciudad de Bogotá para los portafolios de estaciones de bomberos, hospitales, escuelas y edificaciones administrativas. Se propone un análisis probabilista de beneficio-costos basado en un modelo de riesgo catastrófico. Produce métricas de riesgo tales como la curva de excedencia de pérdidas. El valor total de reposición para el modelo de exposición de la ciudad de Bogotá fue de US \$1383 millones. Las métricas de riesgo estimadas en el estudio fueron la PAE y PML.

Por último, para el año 2006, (Cardona, y otros) en el marco del Programa de Reducción de la Vulnerabilidad Fiscal en Colombia, apoyado por el Banco Mundial, y del Plan de Acción del BID para mejorar la Gestión del Riesgo en las Américas, desarrolló un modelo específico de riesgo para evaluar las pérdidas probables y las primas puras para diferentes portafolios de elementos expuestos, edificio por edificio, teniendo en cuenta la microzonificación sísmica de las ciudades. En este estudio, la amenaza sísmica fue evaluada para la métrica de intensidad PGA, bajo las metodologías planteadas por Esteva (1970) y Ordaz (2000) en las ciudades de Bogotá y Manizales. El componente de vulnerabilidad fue evaluado de forma analítica para elementos físicos y humanos por medio de la metodología planteada por Miranda (1999) y Ordaz (2000). Las funciones de vulnerabilidad se plantearon en términos de PGA/Deriva máxima de entrepiso vs. Valor esperado de la pérdida para las tipologías estructurales de adobe, bahareque, mampostería, bodegas, madera e iglesia. El modelo de riesgo utilizado se plantea en Ordaz et al. (1998), Ordaz (2000) y Arámbula et al. (2001), obteniendo métricas de riesgo de PAE y PML en las dos ciudades, a partir de la curva de excedencia de pérdidas o curva de riesgo.

En el año 2008 se publicó un estudio de EPR relacionado con el publicado en 2006 por (Cardona, Ordaz, Yamín, Marulanda, & Barbat), bajo el título *Earthquake loss assessment for integrated disaster risk management*. En él se evaluó la amenaza sísmica para la métrica de intensidad PGA, bajo las metodologías planteadas por Esteva (1970) y Ordaz (2000) en la ciudad de Bogotá. El componente de vulnerabilidad fue evaluado de forma analítica para elementos físicos y humanos por medio de la metodología planteada por Miranda (1999) y Ordaz (2000). Las funciones de vulnerabilidad se plantearon en términos de PGA/Deriva máxima de entrepiso vs. Valor esperado de la pérdida para las tipologías estructurales de adobe, bahareque, mampostería, bodegas, madera e iglesia. El modelo de riesgo utilizado se plantea en Ordaz et al. (1998), Ordaz (2000) y Arámbula et al. (2001), obteniendo métricas de riesgo de PAE y PML en Bogotá, a partir de la curva de excedencia de pérdidas o curva de riesgo.

En el año de 2009 fue publicado por parte de La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR, por sus siglas en inglés) el *Informe de Evaluación Global sobre la Reducción del Riesgo de Desastres – 2009* (UNISDR, 2009). El informe es el primero de una serie bianual que se realiza por parte de la UNISDR en conjunto y estrecha colaboración con centros de



investigación, universidades, firmas consultoras y entidades como el Banco Mundial. En él se busca identificar el riesgo de desastres, buscar sus causas y demuestra que dichas causas se pueden abordar y plantea las fórmulas para hacerlo. Para Colombia específicamente se presentan diversas estadísticas e información relacionada con eventos de ciclones tropicales, deslizamiento, inundaciones, tsunamis y sismos a lo largo de la historia en términos de eventos presentados, sus causas y sus consecuencias monetarias y de pérdida de vidas.

En 2010 el consorcio (ERN-AL) produjo el estudio *Seismic Risk Assessment of schools in the Andean Region in South America and Central America*. El objetivo de este estudio se centra en la evaluación probabilista del riesgo por terremoto para las edificaciones del portafolio de educación en los países del área andina en Suramérica. La evaluación de la amenaza se realiza por medio del programa CRISIS 2007 (Ordaz et al, 2007) para una escala supranacional y una métrica de intensidad PGA. El componente de vulnerabilidad se calculó por medio del módulo de vulnerabilidad de la plataforma Comprehensive Approach for Probabilistic Risk Assessment (CAPRA) para las tipologías estructurales de adobe, madera, mampostería confinada/ reforzada/ no reforzada y pórticos de concreto. La evaluación probabilista de riesgo se realizó utilizando la plataforma CAPRA para las métricas de riesgo PAE y PML. El PML se calculó para los períodos de retorno de 50, 100, 250, 500 y 1000 años. Mientras que la PAE se calculó en 1.6‰.

En el año 2011 (Rodríguez) realizó el estudio titulado *Análisis y evaluación del riesgo sísmico en líneas vitales: caso de estudio Bogotá D.C.* En este proyecto de tesis se planteó un marco metodológico para el estudio del riesgo sísmico en líneas vitales de cualquier tipología; redes de acueducto, alcantarillado, eléctricas, de gas e hidrocarburos, de telecomunicaciones, tanques, puentes y vías. Se desarrolla un software de cálculo de riesgo sísmico para líneas vitales y se aplica a un caso de estudio en la ciudad de Bogotá, especialmente sobre las redes de acueducto y alcantarillado. El componente de amenaza sísmica utilizado corresponde al resultado del Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia (AIS, INGEOMINAS, & Universidad de Los Andes, Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia, 1995) para escenarios con períodos de retorno de 50, 100, 200, 475 y 1000 años con información de aceleración, velocidad y desplazamiento pico del terreno (PGA, PGV y PGD). Para la valoración global del riesgo teniendo en cuenta factores físicos, culturales, sociales y económicos se mejoró la propuesta de (Cardona, O.D., 2001). La métrica de riesgo calculada es la tasa de reparaciones por kilómetro de línea vital analizada.

En el mismo año, la firma (ERN-AL) elaboró el estudio *Probabilistic modelling of natural risks at the global level: The hybrid loss exceedance curve*, para la UNISDR en el marco del desarrollo de la segunda versión del informe bianual de Evaluación Global del Riesgo (GAR, por sus siglas en inglés) de las Naciones Unidas titulado *2011 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction – Revealing Risk, Redefining Development* (UNISDR, 2011). En este estudio se destaca la modelación multiamenaza en términos de ciclones tropicales, sismo e inundación utilizando técnicas y plataformas de cálculo diversas como CAPRA, CRISIS 2007 y un modelo de inundación titulado “Ponding Model”. El componente de vulnerabilidad se elaboró por medio de funciones de fragilidad analíticas siguiendo la metodología propuesta por HAZUS-MH MR3 (2003) y Yamín et al (2002) para pórticos de madera, madera industrial, pórticos de acero, bodegas, pórticos de concreto y adobe. El portafolio de exposición evaluado son edificaciones de infraestructura, residencial, comercio, industria, educación pública / privada, salud pública / privada y población. Específicamente para Colombia, el valor de reposición total del modelo de

exposición corresponde a US\$ 632,634 millones para infraestructura y de US\$ 526,631 millones para edificaciones. Los resultados del estudio se presentan por medio de la PAE y el PML para periodos de retorno de 100, 250, 500, 1000 y 1500 años. El valor de PAE para sismo en Colombia es de 3.7‰.

Hacia mediados de 2011, la UNISDR presentó el *2011 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction – Revealing Risk, Redefining Development* (UNISDR, 2011). Por medio de este documento se pretende proporcionar un recurso actualizado para comprender y analizar el riesgo global de desastres. Analiza las tendencias y los patrones en el riesgo de desastres a nivel global, regional y nacional. Los resultados específicos que se presentan para Colombia son los descritos en el párrafo inmediatamente anterior.

Posteriormente, (Velásquez, Cardona, Yamín, Mora, & Barbat, 2011. ) publicaron el estudio de *Curva de excedencia de pérdidas híbrida para la representación del riesgo* en el marco del 4to Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica (4CNIS) de Granada en 2011. El estudio pretende describir una metodología de análisis de riesgo que utiliza, por un lado, estimaciones empíricas de recurrencia con base en la información de una base de datos de desastres locales, con la cual se puede estimar la recurrencia de pérdidas a causa de eventos menores, y por otro, evaluaciones analíticas probabilistas con el fin de estimar la recurrencia de pérdidas para eventos mayores o catastróficos para los cuales no se tiene información histórica. Se presentan dos casos de estudio para Colombia y México por medio de la técnica de curva híbrida de cálculo de la curva de excedencia de pérdidas. Ésta metodología es usada para el informe de *2011 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction – Revealing Risk, Redefining Development* (UNISDR, 2011).

En el año de 2013 se publicaron una serie de estudios, tesis, artículos de investigación y documentos de EPR en Colombia. El primero de ellos es la tesis doctoral *Análisis y gestión del riesgo sísmico de edificios y sistemas esenciales* (Valcarcel, 2013). En este trabajo se adoptan y presentan metodologías para evaluar la seguridad y riesgo sísmico, así como la factibilidad de las actividades de reducción de pérdidas, con el fin de priorizar el análisis detallado y orientar programas de reducción de la vulnerabilidad sísmica de edificios y sistemas esenciales. El componente de amenaza se calculó para Latinoamérica por medio del software CRISIS 2007 con apoyo de ERN-AL (2009), AIS (1995), Estevez y Schubert (1993), entre otros, para la métrica de intensidad PGA. Las tipologías estructurales tenidas en cuenta en el módulo de vulnerabilidad fueron adobe, mampostería reforzada / no reforzada, madera y pórticos en concreto. Para el modelo de exposición se tuvieron en cuenta específicamente las edificaciones de centros educativos en América Latina. El modelo de cálculo de riesgo utilizado es el definido en la plataforma CAPRA, con resultados de PAE de 8.4‰ para el estado actual y de 1.3‰ para el estado reforzado.

Más adelante, (CIMNE, ITEC-SAS, INGENIAR LTDA, & EAI SAS, 2013) publicaron el estudio *Modelación probabilista de riesgos naturales en el nivel global: El modelo global del riesgo* para la UNISDR en el marco del desarrollo de la tercera versión del informe bianual de Evaluación Global del Riesgo (GAR, por sus siglas en inglés) de las Naciones Unidas titulado *2013 – Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction – From shared risk to shared value: The business case for Disaster Risk Reduction* (UNISDR, 2013). El objetivo del informe es el de publicar las bases técnicas y teóricas y resultados del modelo global del riesgo para ciclones tropicales, sismo e inundaciones. En este mismo sentido, (Cardona, y otros, 2013) publicaron el estudio *Global Risk Assessment: A fully probabilistic*



*seismic and tropical cyclone wind assessment* como estudio de soporte (Background paper) del GAR-2013. En él se presentan las bases científicas y teóricas de la evaluación de la amenaza por ciclones tropicales y sismo para la evaluación probabilista del riesgo a nivel global. El componente de vulnerabilidad se tiene en cuenta por medio de funciones analíticas propuestas en HAZUS-MH MR3 (2013) y HAZUS MH 2.1.

A nivel local, (Yamín, Guesquiere, Cardona, & Ordaz, 2013. ) publicaron el libro *Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre. El caso de Bogotá, Colombia* para el Banco Mundial con colaboración de la Universidad de Los Andes. En él se presenta una descripción resumida de la modelación probabilista del riesgo de desastre que se puede generar como consecuencia de las amenazas naturales. Se presentan las bases conceptuales y una serie de aplicaciones con fines de gestión del riesgo en el marco de la planificación socioeconómica y el desarrollo sostenible, haciendo especial énfasis en el caso sísmico y el riesgo que se deriva como resultado de inundaciones y deslizamientos urbanos. La modelación de amenaza se realiza para PGA, en el caso sísmico, profundidad de inundación, en el caso de inundaciones y de factor de seguridad para deslizamientos urbanos. Los resultados se presentan en términos de mapas de amenaza integrada. El componente de vulnerabilidad se tiene en cuenta en términos físicos y humanos usando la metodología ERN-AL (2008) para mampostería simple, reforzada, muros de concreto reforzado y pórticos en concreto reforzado. En términos del modelo de exposición se define la población y las edificaciones como los principales objetivos, desagregando los últimos en los portafolios residencial, comercial, industrial, salud, educación e institucional. El valor total de reposición para la ciudad de Bogotá es calculado en COP 138.1 billones. La metodología utilizada para el cálculo probabilista del riesgo es la definida en la plataforma CAPRA.

Para la ciudad de Medellín, (Salgado, Zuloaga, Bernal, Mora, & Cardona, 2013. ) presentaron el estudio *Fully probabilistic seismic risk assessment considering local site effects for the portfolio of buildings in Medellin, Colombia*. En él se presenta, bajo la metodología de cálculo de riesgo probabilista propuesta en Ordaz et al (1998) y Ordaz (2000), los resultados de riesgo en términos de PAE y PML para edificaciones de tipo residencial, comercial, institucional e industrial de la ciudad de Medellín, con un valor de reposición total de US\$ 146,608 millones. La PAE es de 4.1‰ y los valores de PML se calculan para los períodos de retorno de 100, 250, 500 y 1000 años.

Por último, en el año 2013 (Valcarcel, y otros) publicó una metodología que plantea la estimación de la relación costo/beneficio de edificaciones a escala gruesa, permitiendo la comparación de resultados obtenidos entre diferentes regiones. Dicha metodología comprende; i) la generación de un set de eventos sísmicos aleatorios y la evaluación de las aceleraciones espectrales en la localización de las edificaciones, ii) la estimación del área construida de las edificaciones, su valor económico, así como la clasificación en tipologías estructurales, iii) el desarrollo de funciones de vulnerabilidad para cada tipología y, iv) la estimación de la pérdida anual esperada de las edificaciones evaluadas en las condiciones actuales, así como también para las condiciones reforzadas. Se presentan resultados de riesgo para diferentes países en América Latina y El Caribe.

En el año de 2014, (Salgado, Zuloaga, Bernal, & Cardona, 2014), publicaron el estudio *Comparison of the seismic risk results in two cities with the same earthquake resistant design coefficient*. El estudio tuvo como objetivo principal la comparación de los resultados de riesgo sísmico, desde el punto de vista físico de entre Bogotá y Medellín, permitiendo identificar la influencia de las fuentes sismogénicas, los efectos

de sitio y la vulnerabilidad física en los resultados. El componente de amenaza sísmica fue evaluado teniendo en cuenta el reglamento colombiano NSR-10 y el software CRISIS 204 (Ordaz et al, 2014) para PGA, con resultados de espectros de amenaza uniforme y participación de fuentes sismogénicas. Los resultados de riesgo obtenidos se evalúan en términos de PAE (2.516 y 4.124‰ para Bogotá y Medellín, respectivamente) y de PML para períodos de retorno de 100, 250, 500 y 1000 años.

En el mismo año, en el marco de la cuarta versión bianual del informe de la UNISDR 2015 – *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction – Making Development Sustainable: The Future of Disaster Risk Management*, (CIMNE & INGENIAR, 2014) publicaron el documento *Selection of local case studies with fully probabilistic hazard and risk assessments* como apoyo técnico del GAR 2015 para la UNISDR. En este documento se resaltan diversos estudios de EPR a nivel mundial con sus características y componentes principales. En el caso específico de Colombia se resaltan los casos de estudio de las ciudades de Bogotá, Manizales y Medellín, los cuales se realizaron en los estudios y proyectos antes descritos a lo largo de la década de 2000 a 2010 por diversos autores. Dentro de los resultados de riesgo se destacan los valores de PAE de 4.1, 2.51 y 2.408‰ para las ciudades de Medellín, Bogotá y Manizales, respectivamente para terremoto en edificaciones de uso comercial, residencial, institucional e industrial.

Posteriormente, (Marulanda, Cardona, Mora, & Barbat, 2014) publicaron el estudio *Design and implementation of a voluntary collective earthquake insurance policy to cover low-income homeowners in a developing country*. El estudio fue elaborado para la ciudad de Manizales con el objetivo de introducir, basado en un modelo de riesgo probabilista, el diseño e implementación de un instrumento de transferencia del riesgo para cubrir las pérdidas físicas de edificaciones privadas en la ciudad. El instrumento voluntario colectivo provee protección financiera tanto a los contribuyentes del seguro cruzado como a los beneficiarios del mismo.

Para la misma ciudad, y en comparación con los resultados obtenidos para Bogotá, (Salgado, Zuloaga, Bernal, Vargas, & Cardona, 2014.) estudiaron las implicaciones que tiene la falla “Caldas Tear”, propuesta como una nueva concepción tectónica del país, en los resultados de amenaza sísmica y, por tanto, de riesgo sísmico en las ciudades de Manizales y Bogotá. Bajo esta nueva concepción tectónica, los valores de PAE para la ciudad de Manizales cambian de 2.408 a 6.36‰, mientras que para la ciudad de Bogotá se mantiene igual.

A una escala nacional, (Velásquez, Carreño, Cardona, & Barbat, 2014) propone una metodología de análisis retrospectivo a escala nacional teniendo en cuenta la información histórica de eventos naturales que hayan generado desastres naturales. Entre las bases de datos que se tienen en cuenta para el estudio se destaca DesInventar, la cual provee información sobre eventos con consecuencias leves, pero que acumulados en una ventana de tiempo de análisis considerable constituyen una pérdida económica que no es despreciable para los países. Los resultados que se presentan se dan en términos de la curva de excedencia de pérdidas o curva de riesgo, obtenida a partir de la metodología de la curva híbrida de riesgo.

A principios del año 2015, en el marco de la cuarta versión bianual del informe de la UNISDR 2015 – *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction – Making Development Sustainable: The Future of Disaster Risk Management*, (CIMNE & INGENIAR, 2015. ) publicaron el documento *Update on the probabilistic modelling of natural risks at the global level: Global risk model* como apoyo técnico del GAR

2015 para la UNISDR. En este “background paper” se presentó la actualización de la evaluación de la amenaza sísmica global y los correspondientes resultados de riesgo probabilista por terremoto para el GAR-2015.

En el mismo año, (Mora) presentó la tesis doctoral *Análisis beneficio-costo probabilista de medidas de mitigación del riesgo por sismo* para la Universidad Politécnica de Cataluña. En este estudio se presenta y desarrolla una metodología cuantitativa para la evaluación probabilista de los beneficios y de los costos del reforzamiento sísmico de estructuras y de las alternativas de implementación de medidas de mitigación de riesgo sísmico en edificaciones. Este enfoque toma en cuenta las incertidumbres asociadas a la estimación de dichos beneficios, evaluado como la reducción de pérdidas económicas mediante el refuerzo sísmico estructural y los costos asociados con su implementación, considerados de una forma probabilista apropiada. La metodología fue aplicada para la ciudad de Manizales en edificaciones de uso institucional, comercial, residencial, educación, salud e industrial con un valor de reposición total de COP \$144,151 millones. Los resultados obtenidos se presentan en términos de PML para 225, 475, 1000, 1500 y 2500 años, así como para PAE con un valor de resultado de 10.05% en edificaciones públicas.

En la misma ciudad, (Londoño, 2015) en su tesis doctoral *Modelización de problemas ambientales en entornos urbanos – Deslizamientos de tierra en ciudades andinas* propone una metodología de modelación de procesos de remoción en masa utilizando redes neuronales para entornos urbanos y teniendo en cuenta la precipitación como factor detonante de eventos de deslizamiento, entre otros. Lo anterior se aplica en un caso de estudio para la ciudad de Manizales.

Más adelante, (Olaya, 2015. ) adelantó el estudio *Flood vulnerability assessment for agricultural cultivated plants – Methodology and testing in La Mojana región (Colombia)*. La motivación del estudio se basa en la falta de análisis y metodologías existentes para la evaluación de la vulnerabilidad de manera analítica para elementos expuestos diferentes a las edificaciones y la infraestructura con respecto a la amenaza por inundación. En este contexto se plantea proponer una metodología completamente analítica para el análisis de la vulnerabilidad fisiológica y biomecánica de los cultivos agrícolas cuando se ven sometidos a eventos de inundación lenta y rápida, respectivamente. Dentro de los parámetros que se tienen en cuenta para el análisis se encuentran las características geométricas, físicas y biomecánicas de las plantas agrícolas, así como de los sistemas atmosféricos, de suelo y acuáticos que interactúan con ellos. Los resultados principales del estudio se dividen en dos partes, la primera corresponde a las funciones de vulnerabilidad de plantas agrícolas (maíz, arroz, pastos, patilla y yuca) considerando la metodología fisiológica y biomecánica. Y, por otro, lado se plantean los resultados de un caso de estudio para una región de la Depresión Momposina en términos de PAE y PML. Cabe resaltar que la metodología presentada en este estudio fue utilizada para el cálculo de riesgo por inundación en cultivos agrícolas en la región de La Mojana en un proyecto publicado en el año de 2016 y financiado por el Fondo Adaptación en conjunto con firmas consultoras locales e internacionales.

Para la ciudad de Bogotá, (Yamín L. , 2015) en su tesis doctoral propone una metodología para evaluar las pérdidas económicas físicas en función de la intensidad de la amenaza sísmica e integrando los costos de reparación de los componentes de las edificaciones que presentan daños puntuales como consecuencia de la ocurrencia de un evento sísmico. El componente de amenaza sísmica se evalúa por medio de señales sísmicas seleccionadas (Peer, 2006) y la incertidumbre mediante condiciones

estratigráficas de suelos dominantes con una metodología propuesta por (Yamín L. , 2015). El componente de vulnerabilidad se evalúa por medio del software IT-FUNVUL-V2 para pórticos de concreto de 2, 5 y 10 pisos únicamente.

Hacia mediados del año 2015, en el marco de Sendai (Japón) para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, evento presentado y organizado por la UNISDR como un instrumento sucesor del Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015, se presentó la cuarta versión bianual del informe de la UNISDR 2015 – *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction – Making Development Sustainable: The Future of Disaster Risk Management*. En esta ocasión, el objetivo primordial de la publicación fue el de reforzar la gobernanza del riesgo de desastres para evitar la generación y acumulación del riesgo. En dicho informe se consolida la EPR para eventos sísmicos a nivel global y se amplía el análisis para eventos de inundación y de ciclones tropicales incluyendo la totalidad de países.

Finalizando el 2015 fueron publicados dos estudios que consideran la amenaza sísmica como elemento detonante de pérdidas físicas y humanas. El primero de ellos se titula *Prioritizing interventions to reduce seismic vulnerability in school facilities in Colombia*. En él se propone una metodología para la obtención de la relación de beneficio-costos a una escala subnacional por medio de la evaluación de la PAE del área construida de edificios públicos dedicados al sector de educación. De acuerdo a los resultados en términos de la relación beneficio-costos, 47.3% del total de las edificaciones de educación en Colombia deberían ser reforzadas estructuralmente, donde el costo de dicho reforzamiento corresponde al 25% del total de la inversión inicial.

El segundo estudio es titulado *Probabilistic estimation of annual lost economic production due to premature deaths because of earthquakes*. En dicho estudio se plantea el análisis probabilista de riesgo para estimar el costo anual que tiene para la sociedad las muertes prematuras ocasionadas por eventos sísmicos. La metodología utilizada propone el uso de métricas de riesgo probabilista como la PAE en combinación con indicadores demográficos y macroeconómicos tales como; distribución de edad, expectativa de vida, y el ingreso per cápita. Se plantea un estudio de caso para la ciudad de Medellín en términos de muertes anuales esperadas obtenida a partir de la curva de excedencia de pérdidas utilizando el modelo de cálculo de riesgo propuesto por Ordaz (2000).

En el año de 2016 se resaltan cuatro contribuciones a la EPR en Colombia, cada una de ellas elaborada para un fenómeno amenazante distinto y con escalas de trabajo diversas. El Servicio Geológico Colombiano planteó la *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa* a principios de año con el objetivo de brindar un instrumento técnico y científico a los municipios del país para poder evaluar el riesgo con un enfoque probabilista a la luz de lo que exige la ley de gestión del riesgo de desastres (Ley 1523 de 2012), según la cual todos los municipios del país deben realizar estudios de riesgos naturales como parte esencial de las políticas encaminadas a la planificación del desarrollo seguro y a la gestión ambiental territorial sostenible. En el marco de las funciones específicas del SGC en términos de investigación, seguimiento y monitoreo de las amenazas geológicas, se produce esta guía para describir los lineamientos metodológicos para realización de estudios de remoción en masa a escala detallada o local (1:5000 y 1:2500) incluyendo los componentes de amenaza, vulnerabilidad, exposición y riesgo.

El segundo estudio que se debe resaltar es el *Plan Integral de Ordenamiento Ambiental y Desarrollo Territorial de La Mojana*, financiado y elaborado por el Fondo Adaptación entre 2011 y 2016. Dicho



proyecto comprendió los procesos de recopilación y diagnóstico, modelación de la amenaza por inundación a cargo del centro de modelación hidrodinámico del IDEAM en conjunto y cooperación con DELTARES<sup>6</sup>, evaluación del riesgo y análisis costo beneficio, evaluación geotécnica de las estructuras hidráulicas, información cartográfica por municipio y plan de acción. Dentro del componente de evaluación del riesgo y análisis costo beneficio se tuvieron en cuenta los portafolios de edificaciones de diversos usos en los 11 municipios que componen la región de La Mojana y el portafolio de cultivos agrícolas. El análisis de vulnerabilidad para edificaciones por eventos de inundación tuvo en cuenta las funciones de vulnerabilidad propuestas por HAZUS y las utilizadas en la publicación GAR-2015, mientras que para los cultivos agrícolas se utilizó una metodología analítica y novedosa propuesta por (Olaya, 2015. ).

El tercer estudio es planteado por la fundación Global Earthquake Model (GEM) desde el año 2013 viene adelantando el proyecto *South America Risk Assessment (SARA)* con el objetivo de evaluar el riesgo probabilista por terremoto para Suramérica, con resultados específicos para las ciudades de Quito, Lima, Medellín, Iquique, Osorno y Rancagua. Dentro del proyecto se prevé realizar la evaluación de la amenaza sísmica para Suramérica teniendo en cuenta el estado de las fallas activas, los procesos de subducción, catálogo sísmico, GMPE'S, entre otros parámetros. Adicionalmente, dentro de los modelos de exposición a escala supranacional se prevé recopilar información base por parte de instituciones nacionales. Dicho estudio planea ser publicado a finales del año 2016.

Por último, en el marco del proyecto de "*Fortalecimiento de políticas e instrumentos financieros del SNGRD en Colombia 2016-2018*" adelantado por la subdirección de conocimiento del riesgo de la UNGRD se presenta como objetivo principal la elaboración del estudio probabilista del riesgo nacional por amenaza sísmica. En el presente estudio se plantea el uso de la amenaza sísmica modelada por parte del GEM para el proyecto SARA, el cual se encuentra actualizado a 2016. El componente de vulnerabilidad es evaluado de forma analítica utilizando las metodologías del estado del arte para la producción de funciones de fragilidad de edificaciones de diversas tipologías estructurales que son características del territorio colombiano. Por otro lado, el modelo de exposición se desarrolla teniendo en cuenta información oficial por parte del DANE, en estrecha cooperación con la UNGRD como entidades adscritas al Sistema Nacional de Gestión del Riesgo (SNGRD), y por medio de información secundaria recopilada a partir de la revisión del estado del arte de los estudios de EPR en Colombia y a nivel global. Por último, para el cálculo probabilista del riesgo se hace uso de la plataforma de cálculo del GEM – Open Quake, la cual permite calcular las PAE y los PML de los distintos portafolios evaluados y presentar los resultados de manera desagregada para cada uno de ellos según sea el interés de cada entidad y/o gobierno local. Los resultados de este estudio serán publicados a finales del año 2016.

---

<sup>6</sup> DELTARES: Instituto independiente para la investigación aplicada en temas hídricos. Países Bajos.

## Resultados – Estadísticas estudios de EPR en Colombia

Los estudios de microzonificación sísmica en Colombia se han presentado para un total de 12 ciudades en el país, dentro de ellas se destacan; Bogotá, Medellín, Cali y Manizales. Del total de 19 estudios de microzonificación que se han realizado desde 1992, únicamente 11 (58%) de ellos han realizado EPR considerando los resultados de la modelación de la amenaza sísmica con base en los efectos de sitio estipulados en la microzonificación. Dentro de las ciudades que han adelantado estudios de EPR sísmico teniendo en cuenta resultados de microzonificación se encuentran; Popayán en la actualización de su estudio en el año de 2012, Bogotá en el año de 1997 y en la actualización de 2006, Medellín en el año de 1999, Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal en el mismo año, Manizales en 2002 y en su actualización en 2015, Villavicencio en la actualización de su estudio en 2016, Palmira, Tuluá y Buga en 2005, Ibagué en 2006 y el Valle de Aburrá en 2006.

*Tabla 4 Estudios de microzonificación sísmica en Colombia*

Id.	Título	Autor	Año	EPR
1	Estudio general de riesgo sísmico de Colombia	AIS, INGEOMINAS, Universidad de Los Andes	1984	NO
2	Estudio general de amenaza sísmica de Colombia	AIS, INGEOMINAS, Universidad de Los Andes	1996	NO
3	Estudio general de amenaza sísmica de Colombia	AIS	2009	NO
4	Microzonificación sísmica Popayán	Comunidad Europea, INGEOMINAS, Universidad de Los Andes	1992	NO
5	Actualización Micro - Popayán	Universidad de Los Andes	2012	SI
6	Microzonificación sísmica Bogotá	INGEOMINAS, Universidad de Los Andes	1997	SI
7	Actualización Micro - Bogotá	Universidad de Los Andes, DPAE	2006	SI
8	Microzonificación sísmica Medellín	EAFIT, Integral S.A, INGEOMINAS, Universidad Nacional de Colombia	1999	SI
9	Microzonificación sísmica Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal	Universidad de Los Andes	1999	SI
10	Microzonificación sísmica Armenia	AIS, Universidad de Los Andes	1999	NO
11	Microzonificación sísmica Bucaramanga	INGEOMINAS	2001	NO
12	Microzonificación sísmica Manizales	Universidad de Los Andes, Universidad Nacional de Colombia	2002	SI
13	Actualización Micro - Manizales	CORPOCALDAS, Universidad Nacional de Colombia	2015	SI



Id.	Título	Autor	Año	EPR
14	Microzonificación sísmica Villavicencio	INGEOMINAS	2002	NO
15	Actualización Micro - Villavicencio	Universidad de Los Andes	2016	SI
16	Microzonificación sísmica Palmira, Tuluá y Buga	Universidad de Los Andes	2005	SI
17	Microzonificación sísmica Cali	INGEOMINAS	2005	NO
18	Microzonificación sísmica Ibagué	Universidad de Los Andes	2006	SI
19	Microzonificación sísmica Valle de Aburrá	Consortio Microzonificación	2006	SI

La Tabla 5 presenta la participación porcentual de las ciudades con estudios de microzonificación sísmica en Colombia. Las únicas ciudades que cuentan con 2 estudios de microzonificación sísmica, es decir, con actualización del primer estudio, son; Popayán, Bogotá, Manizales y Villavicencio. Cabe resaltar que tal como se mencionó en la sección anterior, para Colombia se han realizado tres Estudios Generales de Amenaza Sísmica, elaborados por la AIS, que coinciden con la publicación de las Normas Colombianas de Construcción Sismo Resistente de 1984, 1998 y 2010.

*Tabla 5 Participación porcentual de ciudades con estudios de Microzonificación sísmica en Colombia*

Localización	Participación [%]
Medellín	1  5.26
Pereira	1  5.26
Armenia	1  5.26
Bucaramanga	1  5.26
Palmira	1  5.26
Cali	1  5.26
Ibagué	1  5.26
Valle de Aburrá	1  5.26
Popayán	2  10.53
Bogotá	2  10.53
Manizales	2  10.53
Villavicencio	2  10.53
Colombia	3  15.79
TOTAL	19 100

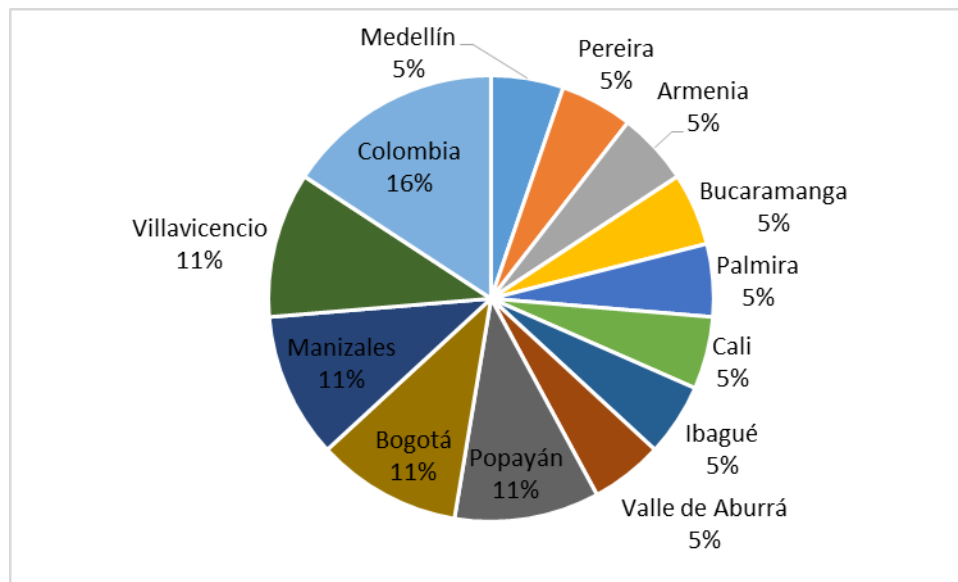


Figura 6 Participación porcentual de ciudades con estudios de Microzonificación sísmica en Colombia

Dentro de los estudios de riesgo que se han elaborado en Colombia a nivel general, incluyendo los estudios de microzonificación sísmica, se encuentran diversas amenazas naturales; Avenidas torrenciales, lluvia intensa, tsunami, ciclones tropicales, inundación, remoción en masa y sismos. Del total de estudios de amenaza y riesgo elaborados en Colombia, un total de 61 de ellos (58.65 %) han sido realizados para la amenaza sísmica, seguido por remoción en masa e inundación con 15.38% y 9.62%, respectivamente.

Tabla 6 Participación porcentual de amenazas naturales evaluadas en estudios de EPR en Colombia

Amenaza	Participación [%]
Avenidas Torrenciales	1   0.96
Lluvia Intensa	5   4.81
Tsunami	5   4.81
Ciclones Tropicales	6   5.77
Inundación	10   9.62
Remoción en masa	16   15.38
Sismo	61   58.65
<b>TOTAL</b>	<b>104   100</b>

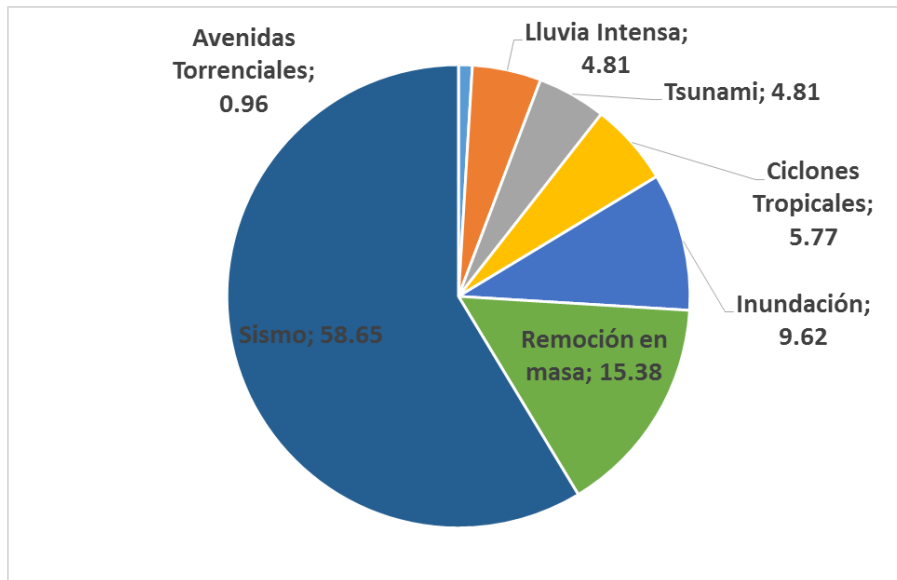


Figura 7 Participación porcentual de amenazas naturales evaluadas en estudios de EPR en Colombia

La gran participación de la amenaza sísmica, por inundación y de movimientos en masa en referencia a los estudios de riesgo realizados en el país obedece a que en Colombia corresponden a las amenazas más recurrentes y que han presentado mayores pérdidas humanas y económicas desde que se tiene registro debido a las condiciones geotectónicas, de relieve y meteorológicas del país. Por lo tanto, a lo largo de la última etapa del siglo XX y principios del siglo XXI el país, a la par con el desarrollo del estado del arte de la EPR y la GRD ha venido realizando avances para la modelación del riesgo de desastre por sismos, remoción en masa e inundaciones, con el fin de gestionar y reducir dicho riesgo.

En contraposición, los fenómenos de avenida torrencial, tsunamis y ciclones tropicales no presentan un renglón importante en cuanto a los Estudios de Riesgo en Colombia debido a que la frecuencia de ocurrencia de cada uno de estos fenómenos es baja, así como la magnitud con que se presentan. Al tener estas características, los fenómenos antes mencionados históricamente han presentado pérdidas humanas y económicas bajas para el país.

La Tabla 7 presenta la participación porcentual de las ciudades con estudios de EPR en Colombia. En ella se evidencia que la ciudad que cuenta con la mayor cantidad de estudios a nivel local es Bogotá con un total de 21 (27.27%), seguida por Manizales, con 20 (25.9%) y Medellín, con 6 (7.8%). La cantidad de estudios realizados para estas ciudades obedece a que; en primer lugar, para Bogotá, la Universidad de Los Andes ha realizado una serie de evaluaciones de riesgo sísmico, por inundación y movimientos en masa debido a que son fenómenos que afectan de manera importante a la ciudad capital del país. Por otro lado, para la ciudad de Manizales, se cuenta con el apoyo de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales en cabeza del Instituto de Estudios Ambientales (IDEA), la cual estudia fenómenos sísmicos, procesos de remoción en masa, volcanes, lluvia intensa e inundaciones y avenidas torrenciales. Por último, para la ciudad de Medellín, se encuentra la EAFIT y la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, en conjunto con firmas consultoras que han realizado múltiples estudios para la ciudad en los últimos años, principalmente en temas sísmicos.

Tabla 7 Participación porcentual de ciudades con estudios de EPR en Colombia

Localización	Participación [%]	
Bucaramanga	1	1.299
Buga	1	1.299
Cali	1	1.299
Dosquebradas	1	1.299
Ibagué	1	1.299
Palmira	1	1.299
Pereira	1	1.299
Santa Rosa de Cabal	1	1.299
Tuluá	1	1.299
Valle Aburrá	1	1.299
Armenia	2	2.597
La Mojana	2	2.597
Popayán	2	2.597
Villavicencio	2	2.597
Medellín	6	7.792
Manizales	12	15.584
Bogotá	20	25.974
Colombia	21	27.273
<b>TOTAL</b>	<b>77</b>	<b>100</b>

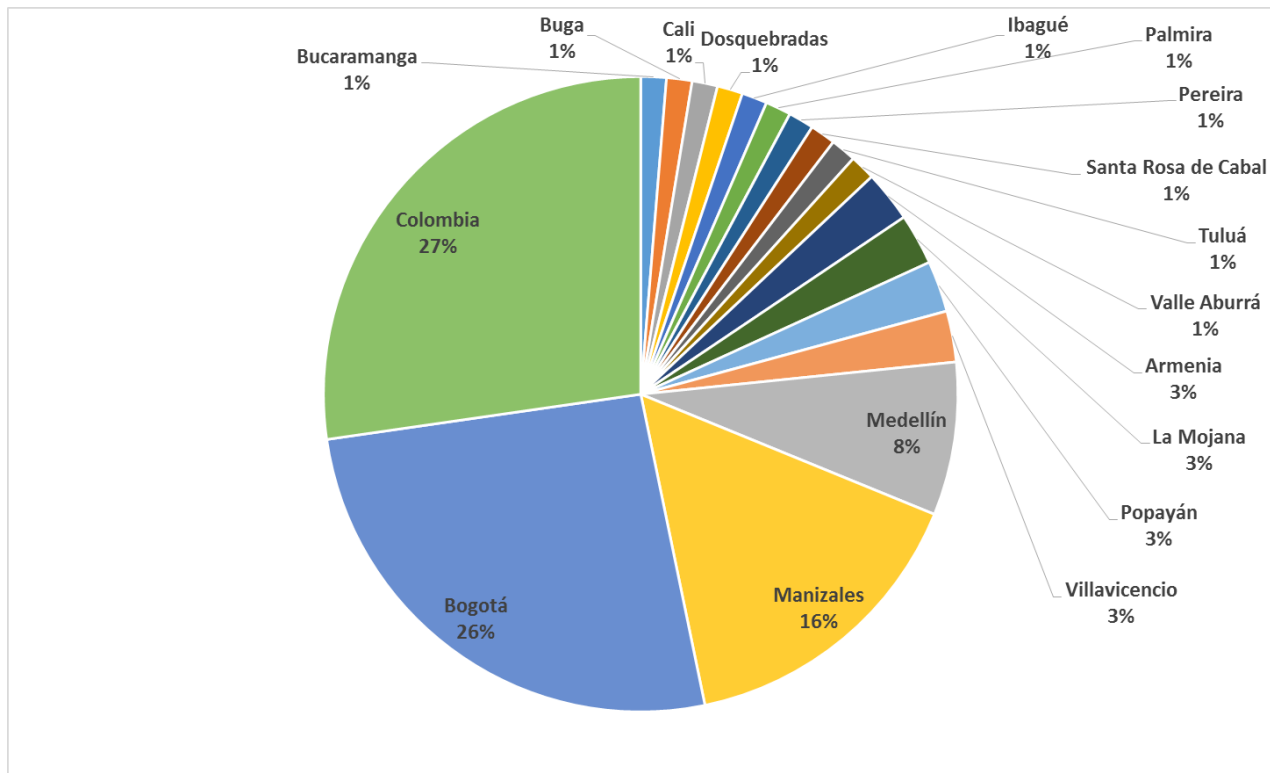


Figura 8 Participación porcentual de ciudades con estudios de EPR en Colombia

Los estudios de riesgo en Colombia, y de sus componentes de amenaza, vulnerabilidad y exposición, se han ido realizando desde la década de 1980 hasta el presente. El primer hito se marca en 1984 con el Estudio General de Riesgo Sísmico de Colombia en el marco de la publicación y entrada en vigencia del Decreto 1400 de 1984, por el cual se adoptó el *Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes* basado en la norma AIS 100. Desde aquel año hasta el presente se han elaborado más de 50 estudios de riesgo en el país de diversa índole y a diferentes escalas de análisis. En el año de 1992 se publicó el Estudio de Microzonificación sísmica para la ciudad de Popayán que significó el inicio de los estudios de microzonificación sísmica en Colombia. Entre 1996 y 2016 se realizó la mayor cantidad de estudios de riesgo en Colombia, con 2005, 2006 y 2015 como años destacados por la cantidad de publicaciones con 9, 8 y 9, respectivamente.



Figura 9 Estudios de EPR en Colombia desde 1984 hasta 2016

Por otro lado, dentro de los diversos autores que han contribuido a lo largo de 30 años en la elaboración de estudios de riesgo en el país para la GRD se destacan 3 grupos de actores; El primero y más importante corresponde a la comunidad científica y académica en cabeza de las universidades, el segundo corresponde a entidades del orden institucional nacional y local y, el tercero, corresponde a firmas consultoras y personas involucradas en la GRD.

Dentro del primer grupo se hace especial mención a la Universidad de Los Andes y el Centro de Estudios Sobre Desastres y Riesgos (CEDERI). Éste centro de estudios desarrolló entre 1996 y 2006 un total de 20 EPR y estudios de microzonificación sísmica en el país, enfocándose especialmente en la ciudad de Bogotá. La Universidad Nacional de Colombia, en sus sedes de Manizales y Medellín, también se destaca como un actor activo en la GRD aportando 5 estudios de riesgo para la ciudad de Manizales y de Medellín. Por otro lado, dentro de las instituciones del orden nacional y local se destacan el INGEOMINAS (Ahora SGC) con un total de 8 estudios, principalmente en temas de riesgo sísmico, vulcanológico y de remoción en masa. También se destacan entidades como el MAVDT, DPAE, ACCI y el DNP con 3 estudios de riesgo cada una.

Tabla 8 Participación de autores institucionales en la elaboración de estudios de EPR en Colombia

Autor	Participación [%]
COMUNIDAD EUROPEA	1 1.163
EAFIT	1 1.163
CORPOCALDAS	1 1.163
CONSORCIO MICROZONIFICACIÓN	1 1.163
FASECOLDA	1 1.163
INVÍAS	1 1.163
ERN-MANIZALES	1 1.163
Secretaría de Hacienda de Bogotá	1 1.163
BID	1 1.163
Fondo Adaptación	1 1.163
UNGRD	1 1.163
SGC	1 1.163
GEM	1 1.163
DPAE	2 2.326
INTEGRAL S.A	2 2.326
ERN - COLOMBIA	2 2.326
ERN-AL	2 2.326
CIMNE	2 2.326
INGENIAR LTDA	2 2.326
ITEC SAS	3 3.488
ACCI	3 3.488
DNP	3 3.488
MAVDT	3 3.488
AIS	4 4.651
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	5 5.814
UNISDR	6 6.977
INGEOMINAS	7 8.140
BANCO MUNDIAL	7 8.140
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES	20 23.256
<b>TOTAL</b>	<b>86 100</b>



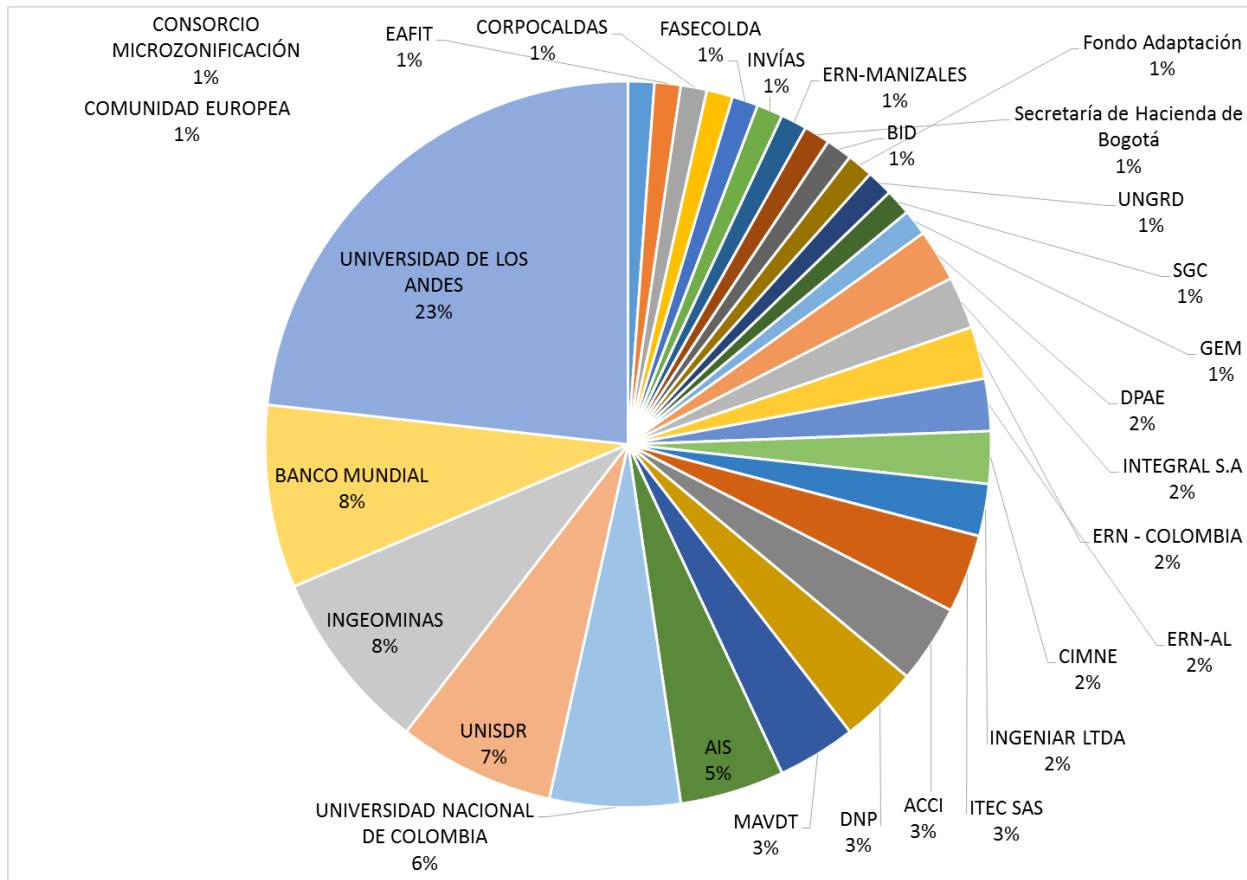


Figura 10 Participación de autores institucionales en la elaboración de estudios de EPR en Colombia

De acuerdo a lo presentado en la Figura 10, la Universidad de Los Andes, en cabeza del CEDERI, representa el autor más importante de estudios de riesgo por amenazas naturales en Colombia. Dentro de sus estudios principales se destacan las microzonificaciones sísmicas de la ciudad de Bogotá, Ibagué, Tuluá, Buga y Palmira. Así como también se destacan sus aportes en estudios de transferencia de riesgo de desastre basado en resultados de EPR para varias ciudades de Colombia.

Teniendo en cuenta únicamente los 41 EPR en Colombia que se han recopilado en el marco del proyecto “Fortalecimiento de políticas e instrumentos financieros del SNGRD en Colombia 2016-2018” se han analizado 4 componentes principales. El primero de ellos corresponde a los tipos de amenaza que se han analizado en la totalidad de 41 estudios de EPR en Colombia. La Figura 11 establece que 9 tipos de amenaza se han analizado utilizando métodos probabilistas en el país. Como se ha mencionado antes para estudios de riesgo a nivel general, el sismo es la amenaza natural más importante y evaluada, con un 50% de participación en la totalidad de estudios.

Amenaza	Participación [%]	
Volcanes	1	1.32
Hidrometeorológicas	1	1.32
Sequía	1	1.32
Tsunami	3	3.95
Remoción en masa	4	5.26
Ciclones Tropicales	8	10.53
Multiamenaza	10	13.16
Inundación	10	13.16
Sismo	38	50.00
<b>TOTAL</b>	<b>76</b>	<b>100</b>

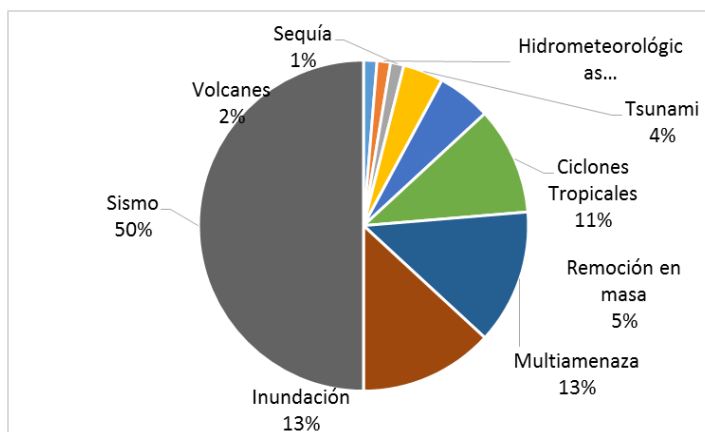


Figura 11 Participación amenaza natural evaluada. EPR en Colombia

El segundo componente analizado corresponde al modelo de riesgo probabilista utilizado para el cálculo del riesgo de desastre por amenazas naturales. El modelo mayormente utilizado es el denominado Comprehensive Approach for Probabilistic Risk Assessment (CAPRA), modelo basado en los planteamientos de Ordaz et al. (1998) & Ordaz (2000) para la evaluación de riesgo probabilista, y financiado por el CEPREDENAC, Banco Mundial y Banco Interamericano de Desarrollo para su publicación en el año de 2010. Adicional a este modelo también cabe destacar el modelo PERCAL 6.0 y el modelo IE-RISS, desarrollados para la EPR en zonas urbanas para la región antioqueña y los cuales han sido utilizados teniendo en cuenta resultados de estudios de microzonificación sísmica.

Modelo Riesgo Utilizado	Participación [%]	
NIBS (1997, 1999 & 2002), Cardona (2001)	1	2.439
Montaña (2005)	1	2.439
IE-RISS	1	2.439
SGC (2015)	1	2.439
PERCAL 6.0	1	2.439
Velásquez (2014)	1	2.439
RN-COL	2	4.878
Ordaz et al. (1998), Ordaz (2000)	7	17.073
CAPRA	26	63.415
<b>TOTAL</b>	<b>41</b>	<b>100</b>

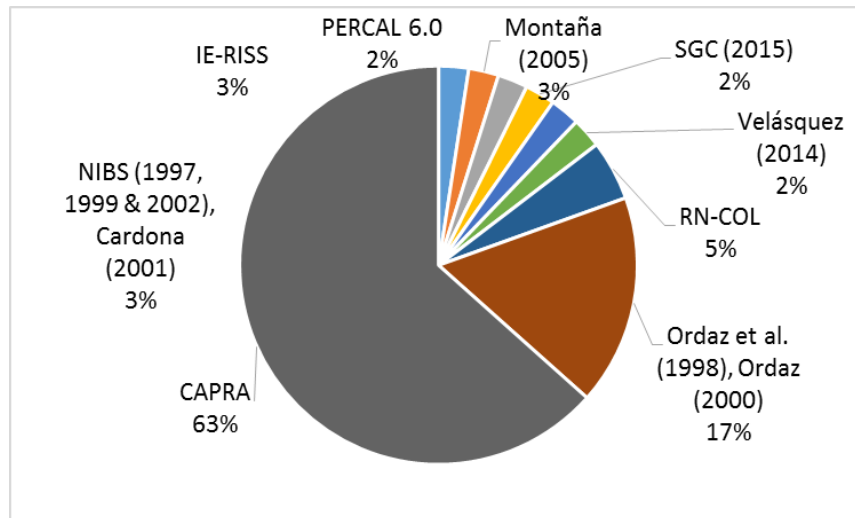


Figura 12 Participación porcentual de modelo de riesgo utilizado en estudios de EPR en Colombia

El tercer componente que se analiza es la participación porcentual del Tipo de Exposición que se ha tenido en cuenta para los 41 estudios de EPR recopilados. Se han evaluado elementos expuestos de líneas vitales (acueductos, vías, gasoductos, alcantarillados, etc.), cultivos agrícolas, población y edificaciones. Con una participación del 56%, las edificaciones son el elemento expuesto que ha sido más evaluado, en conjunto con la población. Dentro de los portafolios más comunes evaluados para las edificaciones se encuentran los usos; residencial, industrial, comercial, educación, salud e institucional o administrativo.

Las edificaciones y población han sido mayoritariamente evaluadas para el sismo debido a que es el tipo de amenaza que genera las mayores pérdidas de vidas y económicas en este tipo de exposición. En contraposición, para los cultivos agrícolas, la amenaza natural que se evalúa principalmente es la inundación, dado que por sus características de energía hidrodinámica genera pérdidas económicas en los cultivos agrícolas.

Tipo Exposición	Participación [%]
Líneas vitales	1   2.44
Cultivos Agrícolas	1   2.44
Población	1   2.44
Edificaciones, población	15   36.59
Edificaciones	23   56.10
TOTAL	41   100

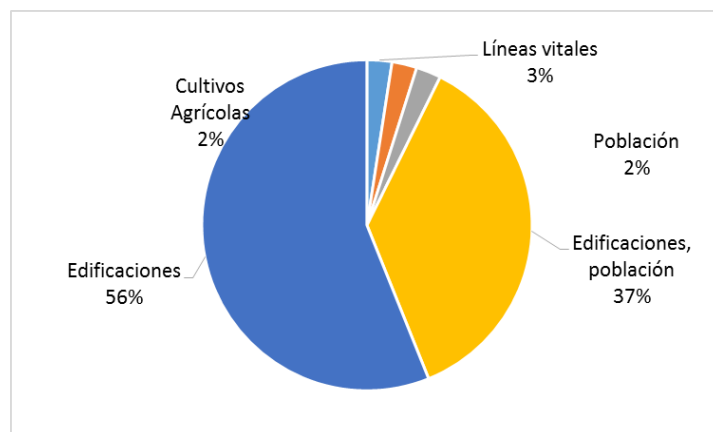


Figura 13 Participación porcentual de Tipo de Exposición en estudios de EPR en Colombia

Escala/Resolución	Participación [%]
Subnacional	1 2.44
Supranacional	4 9.76
Global	7 17.07
Nacional	8 19.51
Local	21 51.22
TOTAL	41 100

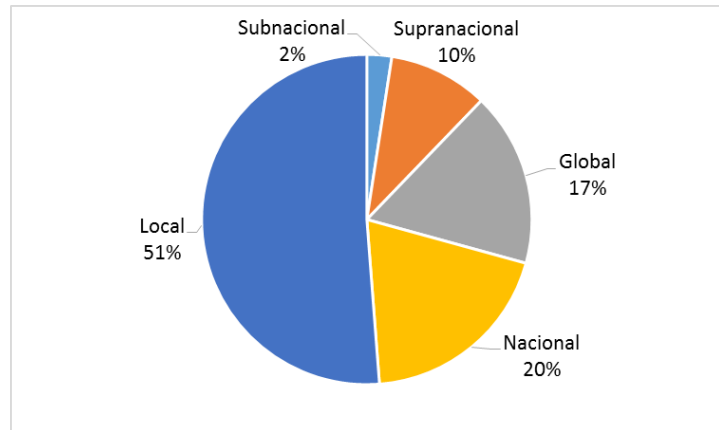


Figura 14 Participación porcentual de Escala de estudios de EPR en Colombia

La evaluación probabilista de riesgo es factible de realizar para diferentes escalas. Dentro de los 41 estudios recopilados se encontró que las evaluaciones a escala local -en ciudades, principalmente- tiene la mayor participación con un 51%, seguida por la escala nacional y global con 19% y 17%, respectivamente.

En esta sección se identifica la información relativa a estudios de EPR en términos de sus componentes principales; exposición, vulnerabilidad, amenaza y riesgo que se encuentra disponible en el país a través de instituciones, institutos de investigación y entidades oficiales en formatos accesibles para su utilización, manipulación, depuración y/o uso con fines de ER. Para cada uno de los temas específicos se menciona y expone la información existente en términos de las entidades generadoras y/o poseedoras, la cobertura geográfica en términos de escala y resolución y los formatos de presentación, difusión y disponibilidad.

## 1. EXPOSICIÓN

Dentro de los EPR, el componente de exposición busca dar respuesta a tres interrogantes principales:

- ¿Qué se puede dañar o es susceptible de sufrir impactos negativos?
- ¿Dónde se localizan estos elementos?
- ¿Cuál es el valor económico de estos elementos?

Las preguntas planteadas hacen referencia al elemento o conjunto de elementos sobre los cuales recae el riesgo físico. Para ello es necesario conocer qué tipo de elementos expuestos se están evaluando en términos de sus características físicas y su comportamiento y respuesta frente a la ocurrencia de una amenaza determinada, lo cual permite no sólo identificar cada uno de los componentes/bienes/servicios/actores sobre los cuales se evalúa el riesgo, sino que permite además la caracterización de cada uno de ellos en el modelo de exposición por medio de una curva de vulnerabilidad específica que relaciona la magnitud de la intensidad de la amenaza evaluada y la respuesta y comportamiento del elemento expuesto frente a la acción de la misma por medio de la Relación Media de Daño (RMD). Adicionalmente se desea conocer dónde se localizan los elementos expuestos con exactitud ya que de su ubicación geográfica dependerá si se encuentra más o menos expuesto a un evento amenazante. Por último, es necesario conocer a cuánto asciende el valor económico y/o ecosistémico del elemento expuesto evaluado, según sea el interés de análisis y considerando las características generales de la exposición. La respuesta a las tres preguntas planteadas con respecto a un conjunto de elementos expuestos específicos constituye un modelo de exposición para estudios de EPR.

A continuación, se especifica la información disponible a nivel nacional para la construcción de modelos de exposición para estudios de EPR.

### 1.1. ELEMENTOS EXPUESTOS Y SU LOCALIZACIÓN

El conjunto de elementos expuestos es un componente fundamental dentro del proceso de la ER debido a que comprenden todo el universo de objetos sobre los cuales se computan las posibles pérdidas generadas por un evento amenazante. Es decir, corresponden a la fuente de las pérdidas potenciales porque se encuentran expuestas y son susceptibles de sufrir algún tipo de daño. En términos

matemáticos, los elementos expuestos individualmente proveen la máxima pérdida absoluta que puede ocurrir en una localización geográfica determinada. En consecuencia, corresponden a los elementos sobre los cuales se integra la amenaza y la vulnerabilidad y representan la pérdida total para un escenario particular (CIMNE, ITEC-SAS, INGENIAR LTDA, & EAI SAS, 2013).

El proceso de definición de cuáles son los elementos expuestos sobre los cuales se estiman las características principales de localización y valor económico expuesto obedece a la necesidad de conocimiento del riesgo sobre un conjunto de bienes y servicios específicos que se ven amenazados en un área determinada. Este conjunto de bienes y servicios puede ser de diversa índole;

- Edificaciones para diferentes usos; residencial, comercial, de servicios, institucional, industrial, etc.
- Infraestructura puntual; torres de energía, plantas producción energética, puentes, represas, etc.
- Infraestructura lineal; gasoductos, viaductos, vías, líneas de transmisión energética, etc.
- Agricultura; cultivos agrícolas.
- Edificaciones de interés social; salud, educación.

A continuación, se especifica la información disponible a nivel general para cada uno de los tipos de bienes y servicios que componen los elementos expuestos sobre los cuales se puede obtener resultados de riesgo probabilista.

#### **1.1.1. Edificaciones de uso residencial, comercial, institucional, de servicios e industria**

La información de localización geográfica de edificaciones a nivel nacional se puede obtener a través de dos instituciones de orden nacional, miembro del Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo definido en el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. La primera corresponde al Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), el cual ha llevado a cabo dos censos poblacionales a nivel nacional en los años de 1993 y 2005, con una actualización y/o ampliación de la información de este último en el año de 2012.

La información estadística puede ser obtenida en formato georreferenciado y en tablas de resumen estadístico; el primero es a nivel de cartografía detallada para diferentes escalas y entidades geográficas (departamentos, municipios, centro poblado, sector rural y sección rural y, por último, sector urbano, el cual se puede dividir en sección urbana y manzana censal – Ver Figura 15). La información puede ser obtenida en línea desde el Geoportal (<https://geoportal.dane.gov.co/v2/>) creado por el DANE.



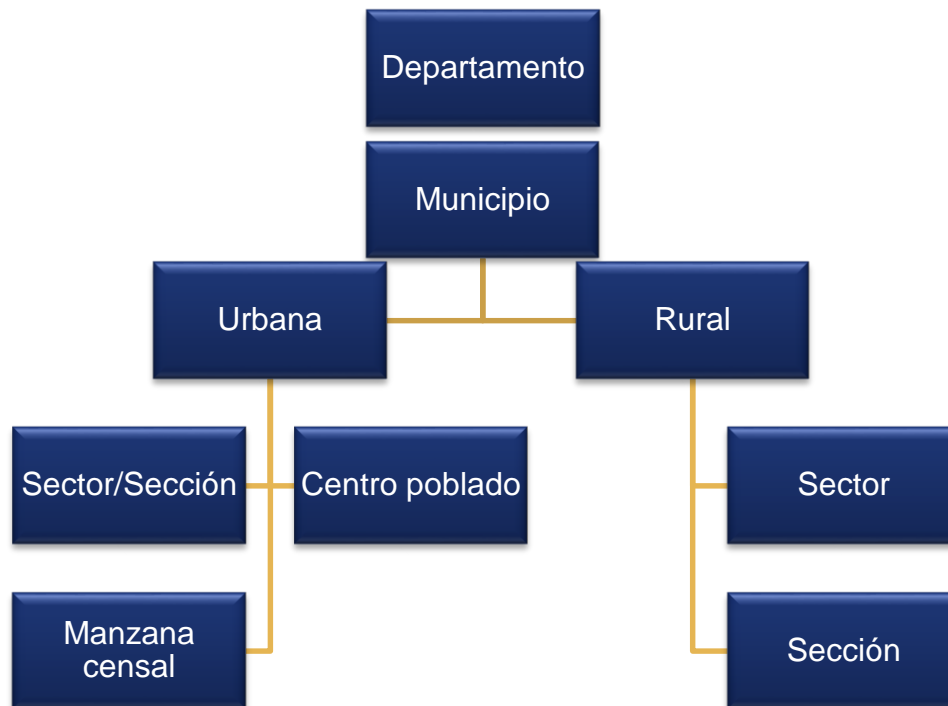


Figura 15 Sectorización censal (Fuente: DANE)

La Figura 16 presenta un ejemplo de la información contenida en el Marco Geoestadístico Nacional (MGN) para el departamento de Antioquia a diferentes escalas. Dentro de la información contenida en el MGN se destaca; información de vías, urbana, símbolos para definición de lugares institucionales y civiles, información rural y división administrativa. Cabe resaltar que bajo esta fuente de información, para el caso urbano, a escala 1:1000 el mayor nivel de detalle que se obtiene es de manzana censal, localizada en la Figura 16, en la imagen inferior derecha.

La información georreferenciada para cada escala de trabajo y entidad geográfica puede ser obtenida de manera gratuita en formato *ESRI shapefile (.shp)*, y cada uno de los archivos se encuentra caracterizado por medio de atributos descriptivos que contienen información de:

- Tipo de shape: polígono, polilínea o punto
- ObjectID
- Nombre de cada elemento de la base de datos según entidad geográfica: Nombre de departamentos, municipios, centros poblados, etc
- Códigos de identificación: se caracteriza cada elemento de la base de datos según la entidad geográfica que represente, asignándole un código de identificación que depende del departamento, municipio y centro poblado al que pertenece
- Dimensiones geométricas: Se tiene información de área y perímetro de cada elemento de la base de datos

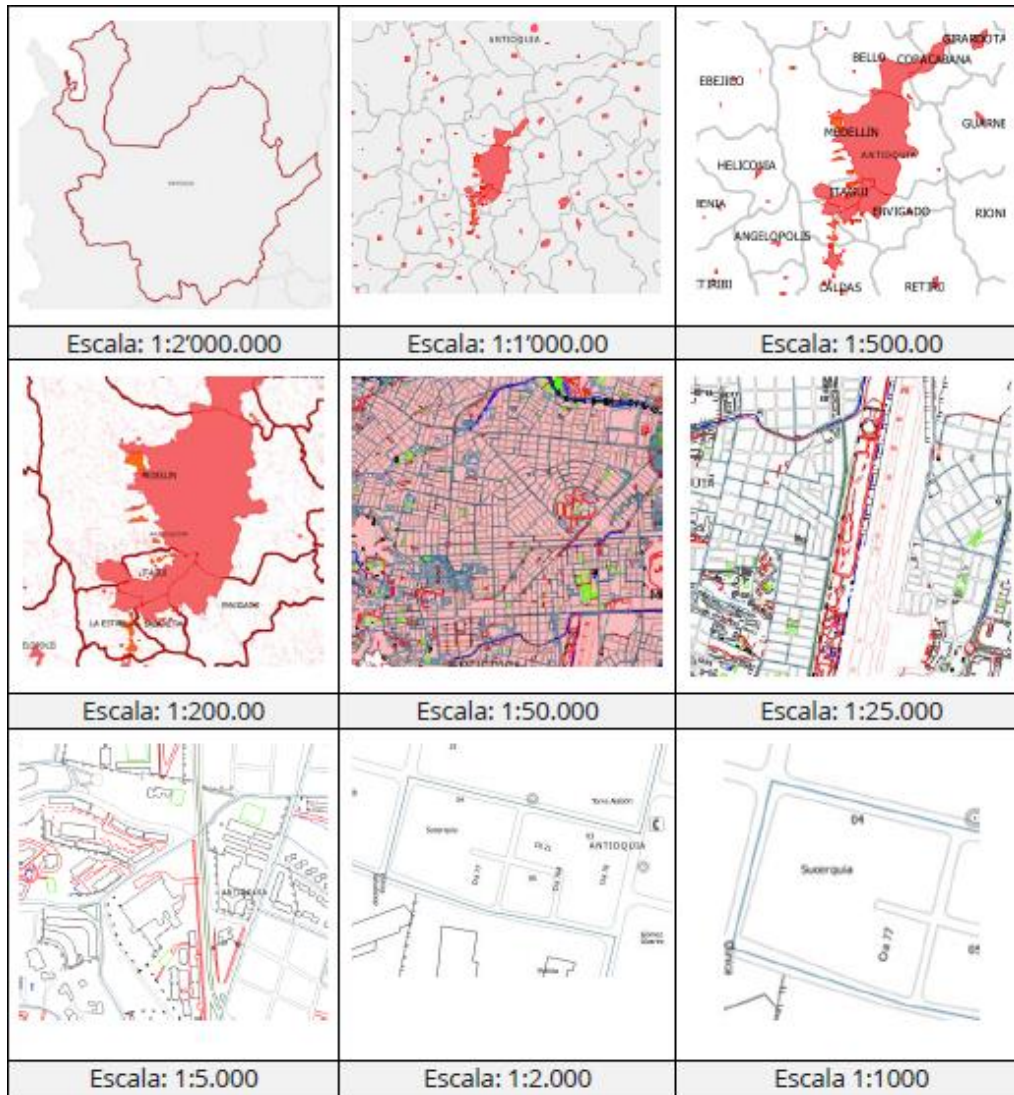


Figura 16 Marco Geoestadístico Nacional (MGN). Ejemplo de información para Antioquia a diferentes escalas. Fuente: DANE – MGN.

La segunda institución del orden nacional que contiene información de localización geográfica de predios para diversos usos de suelo es el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). La información catastral es factible obtenerla de manera directa en el IGAC por medio de convenios interinstitucionales o a través del Geoportal (<http://www.igac.gov.co/geoportal>). En el portal geográfico se encuentran, entre otros, mapas de cartografía básica de Colombia, mapa de cartografía básica con relieve, visores de patrones Corine Land Cover y consultas de ortofotos, aerofotografías, etc.

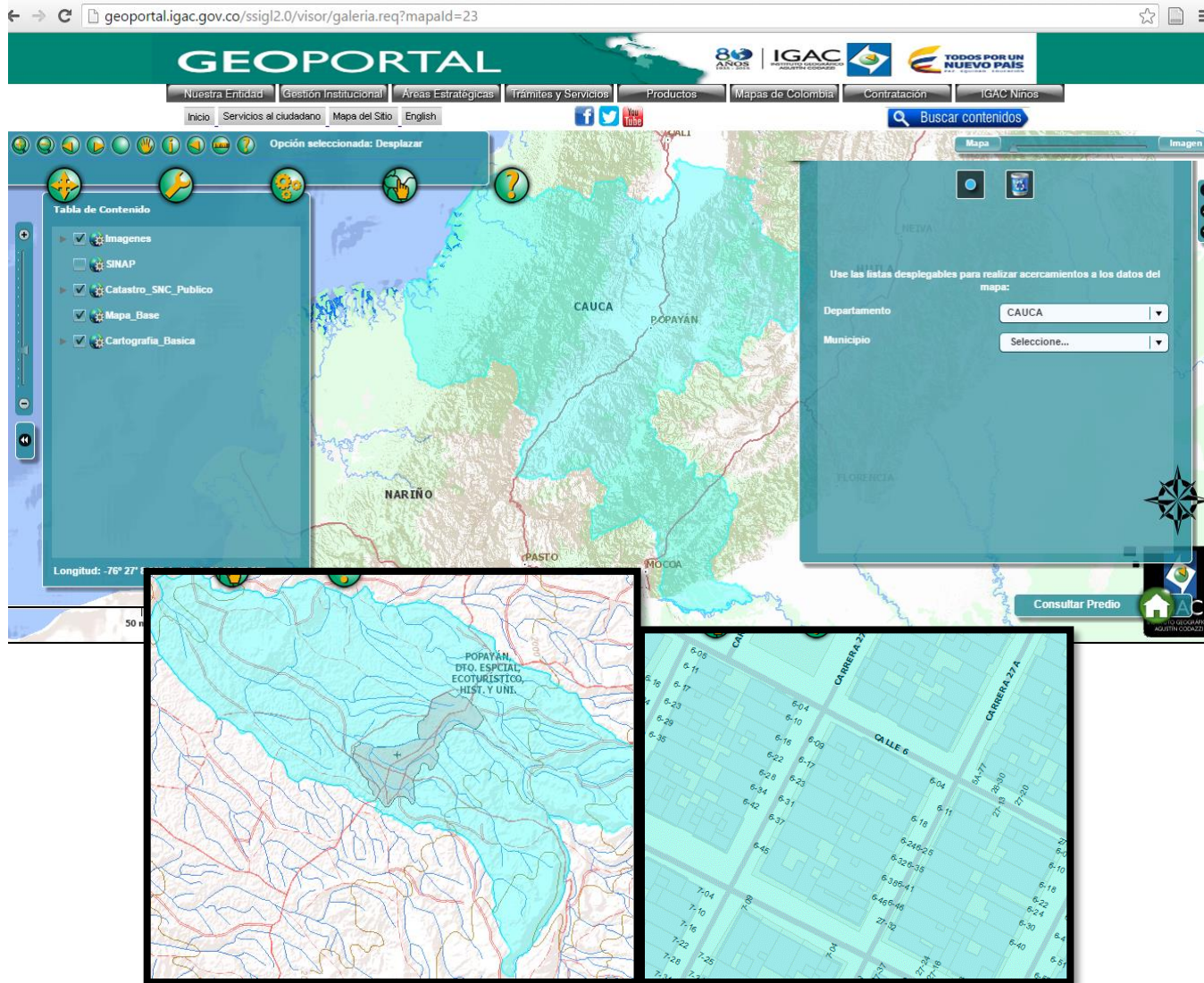


Figura 17 Geopotral IGAC

En términos de localización geográfica predio a predio, el IGAC ofrece información básica de catastro en escalas que varían entre 1:1000 y 1:100.000. Para las escalas de detalle (Ver Figura 17) es posible navegar desde el visor principal, especificando la información de departamento y municipio de interés. En el caso de la Figura 17 se presenta un ejemplo para el departamento de Cauca, en el municipio de Popayán. Dentro de la información geográfica que se obtiene se encuentra:

- Nomenclatura domiciliaria
- Nomenclatura vial
- Construcción
- Terreno de predio urbano
- Manzana



- Terreno de predio rural
- Sector urbano

Cada uno de estos niveles de información se encuentra identificado por medio de una codificación específica que varía dependiendo del departamento, municipio y centro poblado en la que se encuentre georreferenciado.

Dentro de la caracterización de los elementos de la base de datos que se puede obtener a partir de la información de catastro del IGAC, se encuentran:

- Uso de suelo actual
- Número de pisos de cada predio
- Material de construcción y tipo de fachada
- Dimensiones geométricas

En comparación con la información obtenida en el DANE, por medio del MGN, la información de catastro obtenida en el IGAC ofrece un mayor nivel de detalle a escalas 1:1000 ya que permite identificar y definir el límite o lindero “real” de cada uno de los predios y edificaciones que se encuentran en una zona de interés.

La información que se obtiene por parte del DANE y el IGAC se encuentra en formatos digitales de uso común –ESRI shapefile (.shp)-, de la cual se puede extraer información de tipo geométrico como el área, perímetro y coordenadas para un determinado lindero, manzana, zona homogénea, centro poblado, municipio y departamento.

### 1.1.2. Infraestructura

La infraestructura en Colombia se clasifica en diferentes tipos; vial, ferroviaria, portuaria, aérea, de energía (redes eléctricas, energías renovables, hidrocarburos), hidráulica, edificaciones y construcción y de telecomunicaciones (Clavijo, Alzate, & Mantilla, 2015).

A continuación, se especifican las fuentes de información útiles para cada tipo de infraestructura en términos de localización geográfica de cada elemento expuesto.

## INFRAESTRUCTURA VIAL

La infraestructura vial en Colombia es regulada en materia económica, proyectada, planeada y objeto de formulación y adopción de políticas por parte del Ministerio de transporte, el cual cuenta con un Viceministerio de Transporte y un Viceministerio de Infraestructura con funciones específicas para tales fines. La infraestructura vial en Colombia se divide en dos componentes; el primero corresponde a las vías no concesionadas de la Red Vial Nacional de carreteras primaria y terciaria, férrea, fluvial y de la infraestructura marítima. Este componente es ejecutado y administrado por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), entidad adscrita al Ministerio de Transporte. El segundo componente es el de las vías concesionadas de la Red Vial Nacional de carreteras primaria y terciaria, férrea, fluvial y de la

infraestructura marítima. Este último es ejecutado y administrado por la Asociación Nacional de Infraestructura (ANI), entidad adscrita al Ministerio de Transporte.

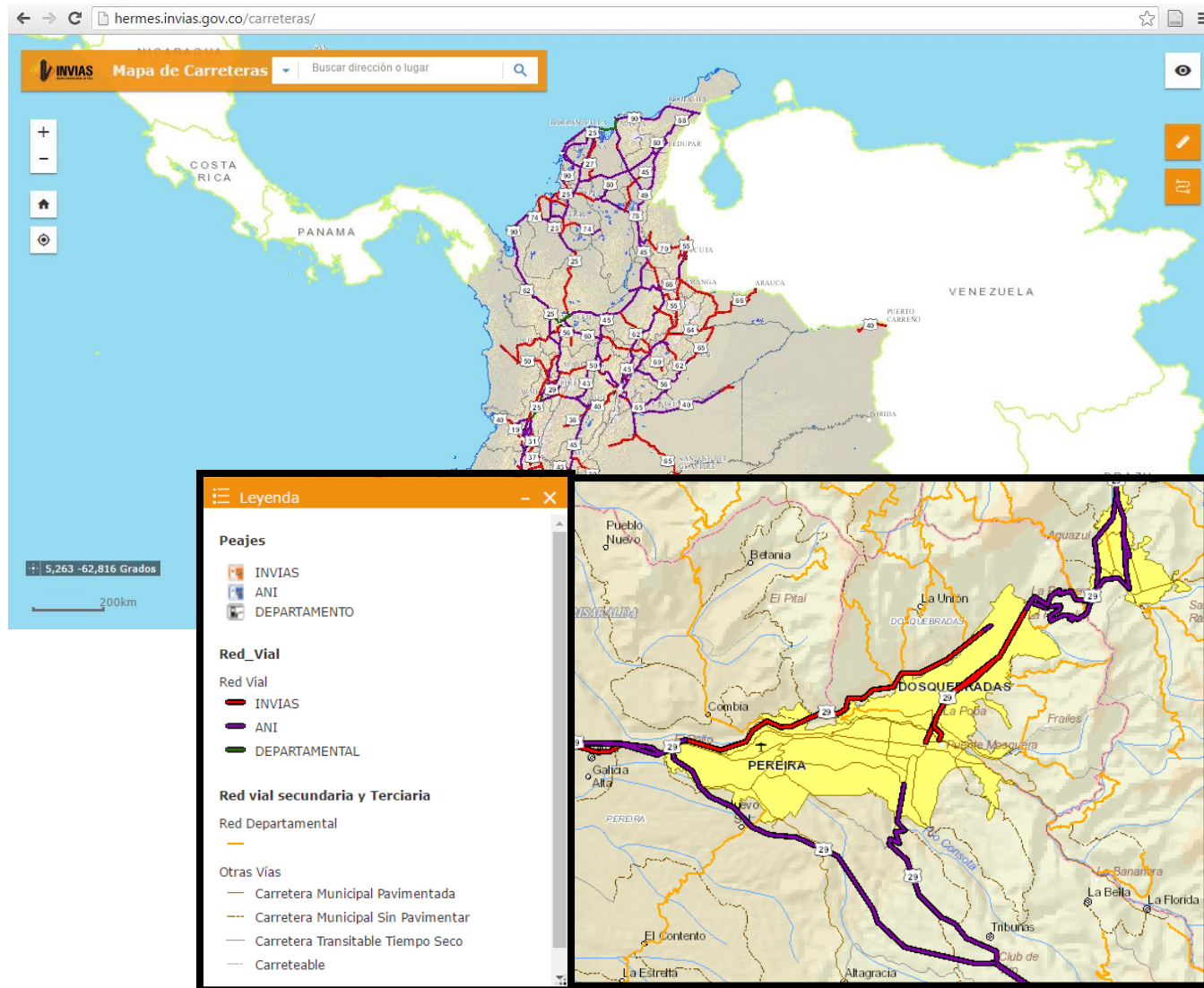


Figura 18 Mapa de carreteras INVIAS

La Figura 18 presenta el mapa de carreteras disponible en el portal del INVIAS (<http://hermes.invias.gov.co/carreteras/>). En él se pueden visualizar las carreteras de orden primario y secundario del país que se encuentran bajo administración, ejecución y/o supervisión del INVIAS y la ANI. Dentro de la información consignada se encuentran los peajes y la red vial primaria del INVIAS, ANI y de orden departamental. Adicionalmente se encuentra la red vial secundaria y terciaria, carreteras municipales pavimentadas, no pavimentadas, carreteras transitables en tiempo seco y carreteables.

La obtención de la información del mapa de carreteras se puede realizar únicamente a través del INVIAS, puesto que no es descargable de manera gratuita del portal.

## INFRAESTRUCTURA FERROVIARIA

Al igual que la infraestructura vial, la infraestructura ferroviaria del país se encuentra administrada, regulada y supervisada por el Ministerio de Transporte, a través del INVIAS y la ANI. La localización geográfica de la Red Férrea Nacional se aprecia en la Figura 19.

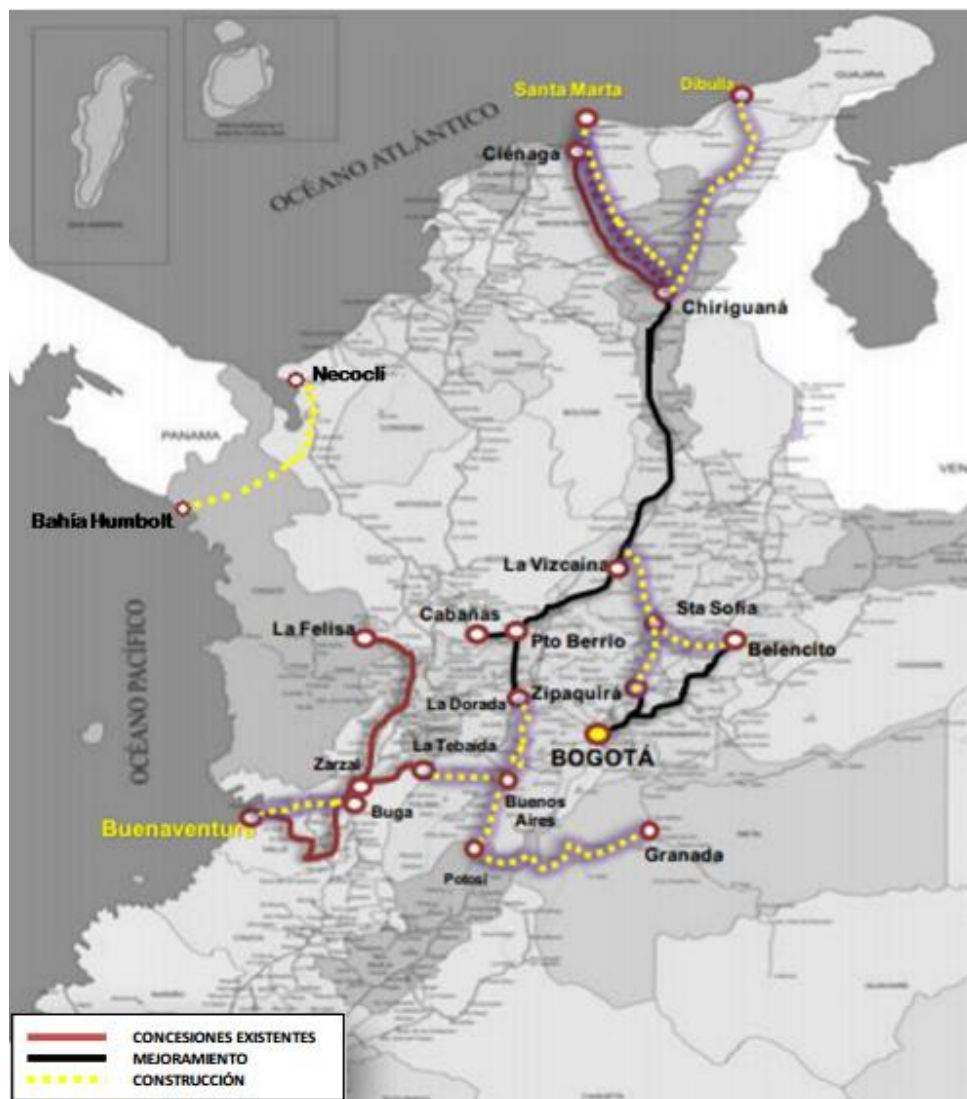


Figura 19 Mapa de la Red Férrea Nacional. Fuente: ANI (2012) (CÁMARA COLOMBIANA DE LA INFRAESTRUCTURA; 2013)



En esta figura se presenta la localización de la red clasificada en tramos operados por concesionarios privados o asociaciones público-privadas (APP), tramos en mejoramiento y tramos en construcción actualizado a 2012.

La información de localización de los principales corredores férreos en formato digital puede ser obtenida a través del INVIAS y la ANI, puesto que no se encuentra disponible para visualizar y/o descargar desde sus portales de internet.

## INFRAESTRUCTURA PORTUARIA

La infraestructura de puertos marítimos del país se encuentra localizada en la costa del mar Caribe, principalmente en Puerto Bolívar, Santa Marta, Barranquilla, Cartagena y Tarena. Y en la costa del océano Pacífico, principalmente en Tribuga, Málaga, Buenaventura y Tumaco. Las entidades encargadas de la operación, administración, ejecución y/o supervisión de los principales puertos marítimos son el INVIAS y la Dirección General Marítima (DIMAR).

La información de localización de los principales puertos marítimos en formato digital puede ser obtenida a través del INVIAS y la DIMAR, puesto que no se encuentra disponible para visualizar y/o descargar desde sus portales de internet.

## INFRAESTRUCTURA AÉREA

La infraestructura aérea del país se encuentra adscrita dentro de las funciones de regulación y operación del Ministerio de Transporte, por lo tanto, entidades como la ANI tienen la función de administrar, supervisar y ejecutar proyectos relacionados con el sistema de transporte aéreo y sus unidades aeroportuarias. Adicionalmente, la Aeronáutica Civil UAD (Aerocivil) tiene la función específica de coordinar con el Ministerio de Transporte la definición de políticas y planes generales de aeronáutica civil y transporte aéreo, dentro del plan global de transporte, propendiendo por el desarrollo aeronáutico y aeroportuario del país. En Colombia, actualmente se operan 70 aeropuertos, de los cuales 54 son operados por parte de la Aeronáutica Civil y 16 se encuentran a cargo de concesiones aeroportuarias. (Ver Figura 20).

En la Figura 20, se presenta la localización geográfica los aeropuertos de Colombia existentes en 2016. Se observan 16 aeropuertos en concesión, y 54 aeropuertos operados por la Aerocivil, divididos en aeropuertos de capital de departamento, y en aeropuertos de ciudad intermedia. Adicionalmente se presentan los aeropuertos no pertenecientes a la Aerocivil.



Figura 20 Mapa de aeropuertos de Colombia. Fuente: UAE de Aeronáutica Civil (2016). (AERONÁUTICA CIVIL, 2016)

Tanto la ANI como la Aerocivil poseen información de la localización e información básica del sistema aeroportuario de Colombia y estos datos pueden ser obtenidos por medio de estas dos entidades, puesto que no se encuentra disponible para visualizar y/o descargar desde sus portales de internet.

## INFRAESTRUCTURA ENERGÉTICA

El sector energético del país se encuentra conformado por diferentes entidades del sector público y empresas público/privadas que cumplen funciones y actividades de exploración, explotación y/o producción de energía para su distribución a nivel local, regional y nacional. Dentro de las entidades más importantes que conforman, regulan, ejecutan, administran y operan el sector energético se encuentran:

- Ministerio de Minas y Energía (MME)
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)
- Comisión de regulación de Energía y Gas (CREG)
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD)
- Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales (ASIC)
- Liquidador y Administrador de Cuentas (LAC)
- Centro Nacional de Despacho (CND)
- Consejo Nacional de Operación (CNO)
- Agencia Nacional de Hidrocarburos

La información de localización de los componentes de los bienes de la infraestructura energética del país, ya sea de tipo hidráulico, petrolero, carbonífero, térmico, de gas y eléctrico puede ser obtenida a través de las entidades, instituciones y/o empresas del sector público/privado que administran y operan la infraestructura, puesto que no se encuentra disponible para visualizar y/o descargar desde sus portales de internet.

## INFRAESTRUCTURA DE TELECOMUNICACIONES

La infraestructura de telecomunicaciones del país se encuentra compuesta por entidades públicas, instituciones y empresas del sector privado que planifican, administran, operan, ejecutan y supervisan el sector de tecnologías de información y telecomunicaciones del país. Dentro de las entidades más importantes que conforman la infraestructura de telecomunicaciones se encuentran:

- Ministerio de Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones (MinTIC)
- Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC)
- Agencia Nacional del Espectro (ANE)
- Empresas Industriales y Comerciales del Estado
  - Sociedad Radio Televisión de Colombia (RTVC)
- Empresas de servicios públicos

La información de localización de los componentes de los bienes de la infraestructura de telecomunicaciones del país, ya sea de tipo redes de telefonía, antenas de telecomunicaciones, redes de fibra óptica a nivel urbano, etc. puede ser obtenida a través de las entidades, instituciones y/o empresas del sector público/privado que administran y operan la infraestructura, puesto que no se encuentra disponible para visualizar y/o descargar desde sus portales de internet.

### 1.1.3. Agricultura

El sector agrícola del país se encuentra administrado y regulado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (Minagricultura), el cual, dentro de sus funciones está la formulación de políticas para el desarrollo del sector agropecuario, pesquero y de desarrollo rural. Adicionalmente orienta y dirige la formulación de los planes, programas y proyectos que requiere el desarrollo del sector agropecuario, pesquero y de desarrollo rural, y en general de las áreas rurales del país. Adicionalmente, dentro del organigrama del Minagricultura se encuentran diversas entidades adscritas, vinculadas y de cooperación de participación mixta. Estas entidades son:

Entidades adscritas:

- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)
- Instituto Colombiano de Desarrollo (INCODER)
- Unidad Administrativa Especial de Gestión de Restitución de Tierras Despojadas
- Unidad Administrativa Especial Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP)
- Unidad de Planificación de Tierras Rurales, Adecuación de Tierras y Usos Agropecuarios (UPRA)

Entidades vinculadas:

- Banco Agrario de Colombia S.A (Banagrario)
- Bolsa Mercantil de Colombia
- Almacenes Generales de Depósito (ALMAGRARIO S.A)
- Corporaciones de abastos
- Fondos ganaderos
- Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (FINAGRO)
- Caja de Compensación Familiar Campesina (COMCAJA)
- Fondos Parafiscales

Cooperaciones de participación mixta:

- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA)
- Corporación Colombiana Internacional (CCI)

En términos de la localización de los principales cultivos y campos de aprovechamiento agrícola en el país, el DANE en el año 2014, mediante el 3er Censo Nacional Agropecuario (CNA) publicado en su totalidad en el mes de Marzo de 2016, proporciona información estadística, georreferenciada o de ubicación satelital y actualizada del sector agropecuario del país.

De forma complementaria, la Figura 21 presenta el mapa de ubicación de cultivos de arroz a nivel municipal en Colombia obtenidos a partir del Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia (UPME; IDEAM; Universidad Industrial de Santander - UIS, 2010), en el cual también se encuentran mapas de localización de cultivos de maíz, banano y café, entre otros. En ellos se especifica la zona en la cual se presentan zonas de producción de cultivos y hectáreas cosechadas por año para cada cultivo, entre otras variables de interés.

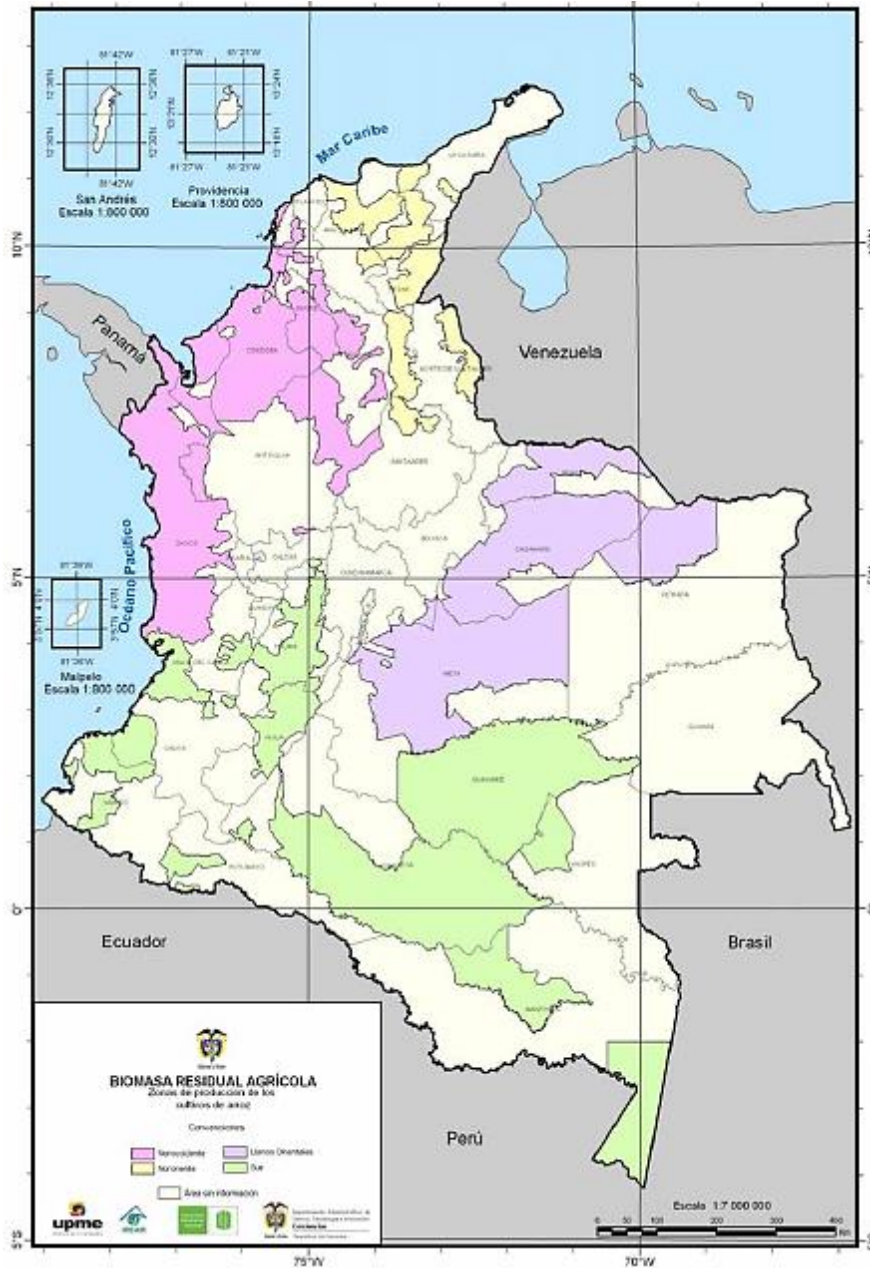


Figura 21 Mapa de biomasa residual agrícola para zonas de producción de los cultivos de Arroz en Colombia. Fuente: (UPME; IDEAM; Universidad Industrial de Santander - UIS, 2010)



La información del CNA (2014) se encuentra disponible en 12 entregas parciales clasificadas en anexos departamentales y municipales. En dichas entregas se presenta la información consolidada a partir del muestreo compuesto por la totalidad del área rural del país, considerando los registros catastrales del IGAC, conformados por cerca de 4 millones de registros prediales, cubriendo cerca de 113 millones de hectáreas equivalentes al 99% del área rural continental e insular del país, distribuidos en 1101 municipios, 20 corregimientos departamentales y el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (DANE, 2016)

Bajo estos elementos considerados en el estudio se cuantificó y determinó el área, la producción agropecuaria y la localización geográfica de las viviendas rurales y su caracterización física básica, entre otras variables de interés. Dentro de los grupos de cultivos agrícolas más importantes estudiados e identificados se encuentran; Café, banano de exportación, palma de aceite, caña de azúcar, flores, plantaciones forestales, arroz y maíz (sorgo y otros).

La información de localización geográfica de los cultivos agrícolas y las unidades de producción agrícola (UPA) a nivel departamental y municipal puede ser obtenida a través del DANE, puesto que actualmente no se encuentra disponible para visualizar y/o descargar desde su portal de internet. Únicamente es posible obtener información tabular del censo para cada departamento y municipio por medio de las 12 entregas de resultados publicadas entre 2015 y 2016.

## 1.2. ELEMENTOS EXPUESTOS Y SU VALORACIÓN

Tal como se describió en la sección 1 del presente capítulo, una vez se ha definido sobre qué elementos o conjunto de elementos expuestos se van a calcular las pérdidas generadas por una determinada amenaza y, la localización geográfica específica de cada uno de los elementos expuestos, lo que resta por cuantificar para construir el modelo de exposición es el valor económico de dichos elementos. Dicho valor económico puede ser analizado considerando diversos factores (p. ej. Costos estructurales, costos no estructurales, costo de los contenidos de las edificaciones, costo de reforzamiento de edificaciones) y condiciones sociales (p. ej. Costo de reposición total de las edificaciones, costo de reasentamiento de la edificación con las mismas condiciones de habitabilidad, entre otros.) según sea el objetivo de la evaluación.

Dentro de la información más importante que se requiere para la caracterización de un modelo de exposición a escala nacional y nivel de resolución departamental y/o municipal para cuantificar el valor económico expuesto de un elemento expuesto se encuentra:

- Indicador de metros cuadrados por habitante para diferentes niveles de complejidad y niveles socioeconómicos.
- Indicador de población para diferentes niveles de complejidad y niveles socioeconómicos.
- Indicador de pesos por metro cuadrado para diferentes niveles de complejidad y niveles socioeconómicos.

El concepto de “nivel de complejidad” se encuentra asociado a las categorías en las cuales se subdivide una entidad geográfica del territorio. Es decir, si por ejemplo se analiza información de los metros cuadrados por habitante para un departamento, se debe especificar este indicador no solo a nivel



departamental, sino que debe ser desagregado y reportado para el nivel de complejidad rural, de centro poblado medio y de capital de departamento. Lo anterior obedece a que el indicador de metros cuadrados construidos a nivel rural varía en proporción con la misma información para la capital del departamento y esta variación debe quedar consignada y ser tenida en cuenta en el modelo de exposición.

Por otro lado, el concepto de “nivel socioeconómico” obedece a las categorías o estratos socioeconómicos en los que se subdivide una determinada población. Los indicadores varían en proporción a este concepto y repercuten directamente en el valor de metro cuadrado de construcción, lo cual será utilizado de manera directa para cuantificar el valor económico de los elementos expuestos del modelo considerando un área media de construcción.

A continuación, se presenta la información disponible en instituciones y entidades del orden nacional con la cual es factible calcular y/o deducir el valor económico de los elementos expuestos de interés para efectuar un estudio de EPR.

### **1.2.1. Población y edificaciones de usos residencial, comercial e institucional**

El DANE ha llevado a cabo dos censos poblacionales a nivel nacional en los años de 1993 y 2005, con una actualización y/o ampliación de la información de este último en el año de 2012. Dentro de la información básica que se recopiló en estos dos períodos se destacan datos de la estructura poblacional según edad, sexo, condición laboral, tamaño de hogares, salud y nivel de educación. Adicionalmente se cuenta con información de índices de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), índice de Condiciones de Vida y relaciones entre ingresos y egresos.

La información estadística puede ser obtenida en dos componentes; el primero es a nivel de cartografía detallada para diferentes escalas y entidades geográficas (departamentos, municipios, centro poblado, sector rural y sección rural y, por último, sector urbano, el cual se puede dividir en sección urbana y manzana censal – Ver Figura 15). La información puede ser obtenida en línea desde el Geoportal (<https://geoportal.dane.gov.co/v2/>) creado por el DANE (Ver sección 1.1.1)

El segundo componente de información estadística corresponde a los datos alfanuméricos de REDATAM del censo básico del 2005 y del censo ampliado. Dicha información se encuentra disponible en formato de tablas, mapas y gráficos para una serie de variables que se listan en el ANEXO 4.

Las tablas y figuras que se presentan a continuación contienen información sobre la exposición del hábitat construido a nivel departamental, nacional y local.

Tabla 9 Extensión, población y número de viviendas (censo básico 2005). Fuente: DANE

Departamento	Extensión (Km <sup>2</sup> )	Población	Viviendas
<b>Total Nacional</b>	1.142.189	46.045.109	9.646.334
<b>Departamentos</b>			
ARCH. SAN ANDRES Y PROVIDENCIA	50	83.403	20.793
LA GUAJIRA	20.670	526.148	82.222
MAGDALENA	23.204	1.406.126	258.977
ATLANTICO	3.327	2.370.753	435.511
CESAR	22.375	1.053.123	197.884
BOLIVAR	26.652	2.231.163	414.176
SUCRE	10.706	870.219	161.541
CÓRDOBA	25.045	1.396.764	269.825
NORTE DE SANTANDER	21.930	1.494.219	287.484
ANTIOQUIA	63.072	5.761.175	1.235.261
CHOCÓ	47.960	416.318	100.444
SANTANDER	30.596	2.086.649	436.656
ARAUCA	23.805	281.435	60.499
BOYACA	23.076	1.413.064	291.320
VICHADA	100.010	96.138	23.664
CASANARE	44.482	325.389	64.279
CUNDINAMARCA	22.365	2.340.894	474.872
CALDAS	7.415	1.172.510	270.980
RISARALDA	3.541	1.025.539	226.544
TOLIMA	23.981	1.316.053	283.207
VALLE	21.307	4.532.378	1.008.549
META	85.481	772.853	160.672
SANTA FE DE BOGOTÁ, D.C.	1.635	7.185.889	1.601.378
QUINDIO	1.935	612.719	117.169
GUAINÍA	71.564	43.194	9.243
HUILA	18.710	996.617	229.523
CAUCA	30.644	1.367.496	294.833
CAQUETA	90.073	465.078	100.855
GUAVIARE	55.451	133.411	27.991
NARIÑO	31.648	1.775.973	359.987
VAUPÉS	53.541	33.142	6.361
PUTUMAYO	25.892	378.790	76.755
AMAZONAS	110.043	80.487	17.803



Figura 22 Personas por departamentos. Censo general 2005. Fuente: DANE



Figura 23 Número de industrias por departamento. Censo general 2005. Fuente: DANE



Figura 24 Número de establecimientos de comercio por departamentos. Censo general 2005. Fuente: DANE



Figura 25 Número de establecimientos de servicios por departamentos. Censo general 2005. Fuente: DANE

Por su parte, el IGAC contiene la información de áreas construidas para ciudades y municipios del país en m<sup>2</sup> (ver Tabla 10 para 2003 y Tabla 11 para 2014)

*Tabla 10 Área construida a 2003 para ciudades y municipios en Colombia). Fuente: IGAC*

Municipio	Área construida (m <sup>2</sup> )
BARRANQUILLA	26.059.090
CARTAGENA	15.219.454
TUNJA	3.948.302
MANIZALES	10.016.631
FLORENCIA	2.479.617
POPAYAN	5.425.384
VALLEDUPAR	6.374.835
MONTERIA	5.453.346
AGUA DE DIOS	468.271
QUIBDO	1.763.613
NEIVA	6.131.382
RIOHACHA	2.145.195
SANTA MARTA	7.330.447
VILLAVICENCIO	7.663.756
PASTO	7.147.463
CUCUTA	12.975.716
ARMENIA	6.987.795
PEREIRA	11.502.342
BUCARAMANGA	13.378.151
SINCELEJO	3.563.857
IBAGUE	11.509.588
ARAUCA	1.264.438
YOPAL	1.657.357
MOCOA	349.017
SAN ANDRES	1.658.877
LETICIA	517.992
PUERTO INIRIDA	186.076
SAN JOSE DEL GUAVIARE	513.817
MITU	145.892
PUERTO CARRENO	296.093
CALI	51.027.211
MEDELLIN	60.939.481
BOGOTA	195.003.989

Por medio de la información consignada en las tablas 10 y 11, es posible cuantificar e identificar la cantidad de metros cuadrados construidos por cada habitante en cada una de las ciudades y/o municipios del país de acuerdo con información confiable reportada por entidades como el DANE e IGAC.



Tabla 11 Área construida a 2014 para ciudades y municipios en Colombia). Fuente: IGAC

20 ciudades y municipios con mayor área construida en 2014				
Posición	Ciudad	Metros cuadrados	Habitantes 2014	M2/Hab
1	Bogotá	269,840,831	7,776,845	34.70
2	Medellin	86,382,308	2,441,123	35.39
3	Cali	67,926,471	2,344,734	28.97
4	Barranquilla	34,520,227	1,212,943	28.46
5	Cartagena	22,161,687	990,179	22.38
6	Cúcuta	20,159,225	643,666	31.32
7	Bucaramanga	18,086,537	527,451	34.29
8	Ibagué	16,952,355	548,209	30.92
9	Pereira	15,961,103	467,185	34.16
10	Villavicencio	15,668,312	473,766	33.07
11	Manizales	13,400,541	394,627	33.96
12	Santa Marta	13,165,061	476,385	27.64
13	Pasto	13,140,097	434,486	30.24
14	Soacha (Cundinamarca)	12,594,435	500,097	25.18
15	Palmira (Valle del Cauca)	12,146,188	302,727	40.12
16	Bello (Antioquia)	11,673,198	447,185	26.10
17	Neiva	11,065,182	340,046	32.54
18	Valledupar	10,248,067	443,210	23.12
19	Montería	9,987,041	434,950	22.96
20	Armenia	9,969,936	295,143	33.78

Por otro lado, la información de precio por metro cuadrado dependiendo del nivel de complejidad y del nivel socioeconómico es factible obtenerla por medio de datos publicados en portales de difusión del mercado inmobiliario del país, por ejemplo:

- [www.metrocuadrado.com](http://www.metrocuadrado.com)
- [www.fincaraiz.com](http://www.fincaraiz.com)
- [www.lamudi.com.co](http://www.lamudi.com.co)
- [www.century21colombia.com](http://www.century21colombia.com)

Adicionalmente se puede tener en cuenta información publicada por unidades del sector inmobiliario y por entidades de orden oficial, como la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL), la cual publica valores y estadísticas actualizadas de diferentes tipos de información relacionadas con el sector de la construcción, entre ellas, valores promedio del costo por metro cuadrado de construcción para algunas ciudades y municipios del país.

A continuación, se presentan ejemplos de dicha información recopilada en las fuentes antes mencionadas.



Tabla 12 Valores promedio de metro cuadrado de construcción para Barranquilla por estrato socioeconómico para 2014.  
Fuente: CAMACOL

ESTRATO	m <sup>2</sup> DESDE	m <sup>2</sup> HASTA	Valor promedio m <sup>2</sup>
2	\$ 900,000.00	\$ 1,700,000.00	\$ 1,300,000.00
3	\$ 1,700,000.00	\$ 2,400,000.00	\$ 2,050,000.00
4	\$ 2,400,000.00	\$ 3,200,000.00	\$ 2,800,000.00
5	\$ 3,200,000.00	\$ 3,600,000.00	\$ 3,400,000.00
6	\$ 3,600,000.00	\$ 5,000,000.00	\$ 4,300,000.00

Tabla 13 Valores promedio de metro cuadrado de construcción para Medellín por zona para 2014. Fuente: CAMACOL

Zona	Valor estimado m <sup>2</sup>
El poblado	\$ 3,868,000.00
Laureles estadio	\$ 3,102,000.00
Las palmas	\$ 3,065,000.00
Belén	\$ 2,100,000.00
La America	\$ 2,000,000.00
San Javier	\$ 1,900,000.00
Robledo	\$ 1,900,000.00
La Candelaria	\$ 1,200,000.00
San Antnio del Prado	\$ 1,166,000.00
Buenos Aires	\$ 1,125,000.00
San Cristobal	\$ 979,000.00

Tabla 14 Valores promedio de metro cuadrado de construcción para diferentes centros poblados para 2014. Fuente: CAMACOL

Ciudad	Valor estimado m <sup>2</sup>
FLORIDABLANCA	\$ 3,000,000.00
BUCARAMANGA	\$ 2,900,000.00
GIRON	\$ 1,900,000.00
PIEDRECUESTA	\$ 1,700,000.00
Palo grande (Manizales)	\$ 2,735,000.00
La fuente (Manizales)	\$ 1,281,000.00
Universidad (Pereira)	\$ 2,585,000.00
Otun (Pereira)	\$ 1,034,000.00

Tabla 15 Valores promedio de metro cuadrado de construcción para Santa Marta publicados en 2016. Fuente: [WWW.METROCUADRADO.COM](http://WWW.METROCUADRADO.COM)

ESTRATO	m <sup>2</sup> DESDE	m <sup>2</sup> HASTA	Valor promedio m <sup>2</sup>
2	\$ 500,000.00	\$ 1,300,000.00	\$ 900,000.00
3	\$ 1,300,000.00	\$ 2,400,000.00	\$ 1,850,000.00
4	\$ 2,400,000.00	\$ 2,800,000.00	\$ 2,600,000.00
5	\$ 2,800,000.00	\$ 5,200,000.00	\$ 4,000,000.00
6	\$ 2,800,000.00	\$ 6,400,000.00	\$ 4,600,000.00

Tabla 16 Valores promedio de metro cuadrado de construcción para Cartagena publicados en 2016. Fuente: [WWW.METROCUADRADO.COM](http://WWW.METROCUADRADO.COM)

ESTRATO	m <sup>2</sup> DESDE	m <sup>2</sup> HASTA	Valor promedio m <sup>2</sup>
3	\$ 3,000,000.00	\$ 3,500,000.00	\$ 3,250,000.00
4	\$ 4,000,000.00	\$ 4,500,000.00	\$ 4,250,000.00
5	\$ 4,500,000.00	\$ 5,500,000.00	\$ 5,000,000.00
6	\$ 5,000,000.00	\$ 12,000,000.00	\$ 8,500,000.00

A partir de la información consignada en las fuentes de información primaria y secundaria presentadas anteriormente es posible cuantificar los indicadores socioeconómicos para alimentar el modelo de exposición y obtener el valor económico de los elementos expuestos sobre los cuales se calcula la pérdida económica siguiendo un enfoque probabilista.

### 1.2.2. Infraestructura

A nivel de infraestructura, la capacidad de cuantificar los valores de reposición depende de las características de los diferentes tipos de infraestructura evaluada. De manera general, la infraestructura puede ser representada de dos maneras, sin considerar el tipo de infraestructura que se esté analizando. La primera corresponde a infraestructura de tipo lineal, en ella se enmarca la infraestructura de tipo vial, ferroviaria, de energía en sus modos de gasoductos y oleoductos y líneas de transmisión eléctrica y de telecomunicaciones en sus modos de líneas de transmisión de comunicaciones. La segunda manera de representar la infraestructura corresponde al tipo puntual, en ella se enmarca la infraestructura de tipo aéreo, portuario marítimo, de energía en sus modos de plantas de producción térmica, hidroeléctrica, nuclear, de comunicaciones en sus tipos de antenas de telecomunicación y, por último, la infraestructura de construcción.

La importancia de definir el tipo de infraestructura evaluada y su representación dentro de un modelo de exposición obedece a que, en función de estos dos elementos, los valores de reposición sobre los cuales se calcula la pérdida varían respecto de la unidad de medida en que se reportan dichos valores.

Por ejemplo, para una infraestructura de tipo lineal, el modelo de exposición debe considerar tramos de infraestructura para definir el valor económico expuesto en función de la dimensión de distancia, por lo tanto, estos se reportarán en dimensiones de Unidades Económicas sobre distancia para cada tramo considerado dentro de la red lineal de infraestructura evaluada.

Por otro lado, si el tipo de infraestructura analizada es de tipo puntual o poligonal, el valor económico de reposición se calcula de manera similar a como se efectúa para el caso de edificaciones de usos diversos (Sección 1.2.1 del presente capítulo).

La obtención de información para el cálculo de los valores de reposición e indicadores que permitan la construcción de un modelo de exposición de infraestructura son de responsabilidad y manejo de cada una de las entidades e instituciones adscritas a cada ministerio que gobierna y administra cada sector.

### 1.2.3. Agricultura

La valoración del activo expuesto en el sector de agricultura se considera comúnmente sobre los cultivos agrícolas en hectáreas o unidades de medida en superficie. Olaya (2015. ) propone una metodología de valoración de cultivos en Unidades Económicas/Superficie en función de los siguientes parámetros:

- Fases fenológicas: identificación de fases de crecimiento de cultivo
- Inversión inicial
- Costos directos
- Rentabilidad
- Costos totales: Calculados para cada fase como los costos directos de la fase sumados a los de las fases anteriores más el valor de rentabilidad que se ha dejado de percibir por el daño en el cultivo.

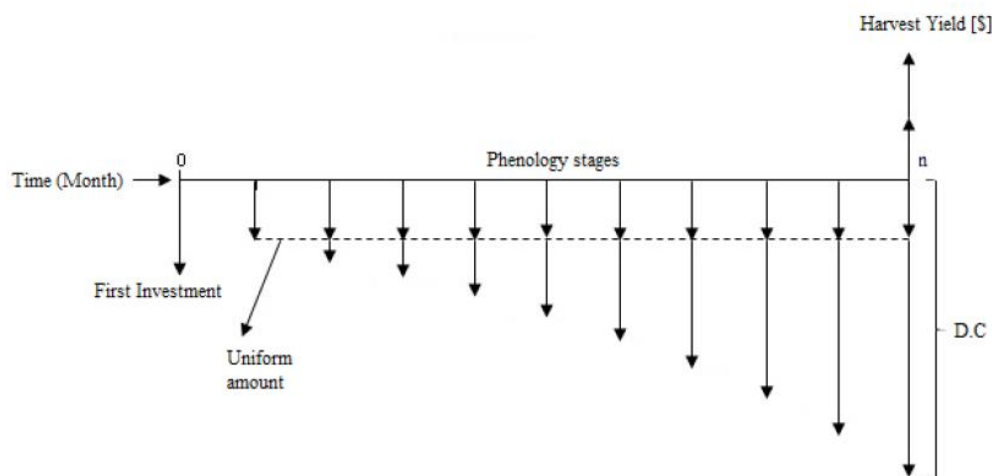


Figura 26 Ejemplo de un proceso de flujo de caja para un cultivo agrícola. Fuente: (Olaya, 2015. )

Considerando lo anterior, la valoración de cada cultivo agrícola se debe realizar para cada fase de crecimiento (fenológica) en Unidades Económicas/Superficie para los elementos georreferenciados mediante la información del CNA (2014) o de cualquier otro método de localización geográfica.

De manera específica, los costos directos a los que se hace referencia obedecen a los costos de operación y manutención del cultivo agrícola en términos de; maquinaria, mano de obra, fertilizantes, riego, abono, etc., los cuales se asumen como constantes para las fases de crecimiento. Adicionalmente se debe calcular el valor económico del cultivo, el cual se determina mediante la suma de los costos directos más la rentabilidad que se dejó de percibir debido al daño sufrido en el cultivo por un evento amenazante (por ejemplo, inundación, sequía, helada, etc.). La rentabilidad de un cultivo específico se obtiene mediante la siguiente expresión (Olaya, 2015. ):

$$Rentabilidad[\$] = Yi * U * A \tag{12}$$

Donde, *Yi* corresponde a la producción del cultivo en términos de [Peso/Área], *U* corresponde al precio unitario del cultivo expresado en términos de [Unidades económicas/Peso] y *A* es la superficie total del cultivo, usualmente expresada en hectáreas.

A continuación, se presenta información tabular obtenida por medio de las diversas entidades adscritas al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, mencionadas en la sección 1.1.3 del presente capítulo, a partir de la cual es posible cuantificar el valor económico del sector agrícola para estudios de EPR en Colombia.

Información de fases de crecimiento:

*Tabla 17 Duración de fases fenológicas para cultivos de Arroz. Fuente: UNICÓRDOBA (2015)*

Fases fenológicas	Descripción	Duración [días]
Siembra		
Vegetativa	De germinación a inicio de panícula	54
Florecimiento	De inicio de panícula a floración	33
Cosecha (Maduración)	De floración a madurez	34

*Tabla 18 Duración de fases fenológicas para cultivos de Maíz. Fuente: FENALCE (2015)*

Fases fenológicas	Descripción	Duración [días]
Siembra		
Vegetativa	De germinación a inicio de panícula	50
Florecimiento	De inicio de panícula a floración	40
Cosecha (Maduración)	De floración a madurez	30

Información de área sembrada:

Tabla 19 Área sembrada para cultivos agroindustriales. Fuente: CNA (2014)

DOMINIO	Total área rural dispersa censada									
	Área sembrada en cultivos agroindustriales									
	Cultivos Agro industriales	Café	Palma Africana	Caña de azúcar	Caña panelera	Cacao	Caucho	Tabaco	Algodón	Otros
<b>Total Nacional</b>	<b>3,298,976</b>	<b>964,134</b>	<b>542,575</b>	<b>258,245</b>	<b>367,251</b>	<b>209,396</b>	<b>53,357</b>	<b>9,153</b>	<b>19,117</b>	<b>875,748</b>
Amazonas	10,657	0	0	0	5,463	1,246	10	269	0	3,669
Antioquia	309,678	142,824	3,287	2,100	45,021	15,316	6,788	0	98	94,244
Arauca	20,977	100	1,000	0	1,281	15,563	3	30	0	3,001
Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina	72	0	0	0	64	0	0	0	0	8
Atlántico	1,247	0	205	0	39	0	0	0	3	1,000
Bogotá	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bolívar	51,788	1,164	33,148	0	2,358	4,721	320	1,561	494	8,021
Boyacá	106,867	9,487	0	0	28,942	3,479	16	565	0	64,377
Caldas	167,784	81,163	0	3,573	15,007	3,298	1,956	61	0	62,727
Caquetá	40,822	2,925	1,249	0	6,646	2,602	5,170	11	0	22,219
Casanare	85,458	3,299	75,067	0	1,174	674	152	1	0	5,091
Cauca	240,837	100,896	612	46,567	20,367	3,752	85	27	0	68,531
Cesar	112,496	28,885	64,980	318	4,824	4,243	166	11	1,846	7,224
Chocó	38,770	516	518	0	14,793	6,266	348	0	0	16,329
Córdoba	67,676	2,953	2,018	0	750	1,732	2,658	3	10,789	46,773
Cundinamarca	107,994	36,304	10,823	0	51,453	4,411	524	2	310	4,166
Guainía	11,804	0	0	0	5,464	398	29	2	0	5,910
Guaviare	8,680	0	0	0	1,281	530	1,680	1	0	5,189

DOMINIO	Total área rural dispersa censada									
	Área sembrada en cultivos agroindustriales									
	Cultivos Agro industriales	Café	Palma Africana	Caña de azúcar	Caña panelera	Cacao	Caucho	Tabaco	Algodón	Otros
Huila	254,399	146,860	0	0	19,295	13,925	1	1,207	552	72,560
La Guajira	13,908	5,987	2,168	0	1,186	1,164	0	0	175	3,228
Magdalena	72,859	17,897	42,361	287	3,494	1,365	16	15	23	7,402
Meta	300,387	2,696	199,037	8,042	2,664	6,798	15,353	26	3	65,769
Nariño	197,816	46,081	17,862	0	34,464	17,421	1,302	2	0	80,683
Norte de Santander	101,346	27,458	15,148	320	12,807	14,921	368	399	0	29,925
Putumayo	39,813	1,091	122	0	4,803	4,737	478	40	0	28,543
Quindío	28,602	22,651	2	559	747	240	0	103	0	4,300
Risaralda	71,419	50,582	0	3,133	8,004	5,517	21	0	0	4,162
Santander	288,063	49,273	61,495	0	42,690	50,123	8,741	3,611	150	71,982
Sucre	6,634	0	1,359	0	459	127	0	1,030	609	3,050
Tolima	175,533	116,536	116	0	17,076	16,950	395	61	3,935	20,464
Valle del Cauca	332,480	66,508	0	192,925	8,540	6,416	223	115	130	57,622
Vaupés	3,518	0	0	0	1,302	22	2	2	0	2,190
Vichada	28,595	0	10,000	422	4,793	1,439	6,550	1	1	5,390



Información de precios por productos:

Tabla 20 Precio por producto [COP/Ton]. Fuente: Bolsa Mercantil de Colombia – <http://www.bolsamercantil.com.co/precios-indicativos-2/>

Subyacente	Departamento	Ciudad	Precio (\$/TON)	Fecha
ARROZ PADDY SECO	ANTIOQUIA	ABEJORRAL	1,241.41	15/09/2016
MACHOS PARA CEBAS	ANTIOQUIA	ARBOLETES	2,982.77	18/09/2009
FIBRA DE ALGODON EN TRANSFORMACION	ANTIOQUIA	BELLO	4,425.58	15/09/2016
HILO	ANTIOQUIA	BELLO	8,140.00	15/09/2016
MAIZ AMARILLO	ANTIOQUIA	BELLO	453.41	05/05/2010
MAIZ AMARILLO NACIONAL	ANTIOQUIA	BELLO	572.94	15/09/2016
YUCA CHIROSA-SIPSA	ANTIOQUIA	BETULIA	1,030.00	12/03/2010
ARVEJA SECA	ANTIOQUIA	CAREPA	2,480.00	15/09/2016
ATÚN-SIPSA	ANTIOQUIA	CAREPA	2,679.00	12/03/2010
AZUCAR BLANCA	ANTIOQUIA	CAREPA	2,166.65	15/09/2016
CHOCOLATE EN PASTA-SIPSA	ANTIOQUIA	CAREPA	7,667.00	12/03/2010
FRIJOL CARGAMANTO BLANCO	ANTIOQUIA	CAREPA	4,286.75	15/09/2016
FRIJOL CARGAMANTO ROJO	ANTIOQUIA	CAREPA	4,101.15	15/09/2016
GRANADILLA-SIPSA	ANTIOQUIA	CAREPA	570	20/03/2009

Información de rendimientos productivos por cultivo agrícola:

*Tabla 21 Rendimiento por cultivo [Ton/Ha].*

*Fuentes: INCODER, CORPOICA,*

Arroz tecnificado	Arroz tradicional	Maíz tecnificado	Maíz tradicional	Patilla	Yuca
3.68	1.93	4	1.38	11	7.6
3.68	1.93	4	1.38	11	7.6
3.68	1.93	4	1.38	11	7.6
3.68	1.93	4	1.38	11	7.6
3.68	1.93	2	2	11	12
3.68	1.93	4	1.38	11	7.6
3.68	1.93	4	1.38	11	7.6
3.68	1.93	2	2	11	12
3.68	1.93	2	2	11	12
3.68	1.93	4	1.38	11	7.6
3.68	1.93	4	1.38	11	7.6

### 1.3. ELEMENTOS EXPUESTOS Y SU CARACTERIZACIÓN FÍSICA

La caracterización física de los elementos expuestos obedece a la definición de las tipologías estructurales con las cuales son construidos y a los materiales de construcción. La finalidad de esta caracterización es la de relacionar la localización de los elementos expuestos, su valor económico y su material y tipología estructural con los posibles daños que se pueden generar sobre ellos teniendo en cuenta su vulnerabilidad a un evento amenazante específico.

En términos de caracterización de las tipologías estructurales típicamente utilizadas en el país para la construcción de edificaciones, el informe GAR (2013), elaborado por la UNISDR y su actualización para el año 2015 determinaron las principales tipologías estructurales del país a escala nacional con fines de EPR multiamenaza. El instituto de investigación en ingeniería World Housing Encyclopedia ([www.world-housing.net](http://www.world-housing.net)) en conjunto con el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) generaron el proyecto Prompt Assessment of Global Earthquake's Response (PAGER) como una iniciativa para la estimación del inventario global de edificaciones y su vulnerabilidad sísmica, cuyos resultados fueron utilizados para el modelo global del riesgo publicado en los informes GAR 13 y GAR 15.

En particular, para Colombia se definen las tipologías estructurales más comunes a escala nacional, para diferentes pisos habitacionales de las edificaciones. La Tabla 22 presenta la información relativa a las tipologías estructurales y su respectiva descripción generadas para la escala regional (Suramérica), las cuales fueron utilizadas en el GAR13 y GAR15 y, adicionalmente por el proyecto SARA de la Fundación GEM en el 2016.

Tabla 22 Tipologías estructurales para Suramérica

Fuentes: SARA-wiki (<https://sara.openquake.org/risk:exposure>)

GEM Taxonomy	Building class
CR+PC/LWAL/H:1,3	Precast reinforced concrete wall system, between 1 - 3 storeys
CR/LDUAL/DUC/H:4,7	Reinforced concrete dual frame-wall system, between 4 - 7 storeys
CR/LDUAL/DUC/H:8,19	Reinforced concrete dual frame-wall system, between 8 - 19 storeys
CR/LFINF/DNO/H:1,3	Reinforced concrete infilled frame, non ductile, between 1 - 3 storeys
CR/LFINF/DUC/H:1,3	Reinforced concrete infilled frame, ductile, between 1 - 3 storeys
CR/LFINF/DUC/H:4,7	Reinforced concrete infilled frame, ductile, between 4 - 7 storeys
CR/LFLS/DNO/H:1,3	Reinforced concrete flat slab/plate or waffle slab, between 1 - 3 storeys
CR/LFLS/DUC/H:1,3	Reinforced concrete flat slab/plate or waffle slab, between 1 - 3 storeys
CR/LFLS/DUC/H:4,7	Reinforced concrete flat slab/plate or waffle slab, between 4 - 7 storeys
CR/LFM/DNO/H:1,3	Reinforced concrete moment frame, non ductile, between 1 - 3 storeys
CR/LFM/DUC/H:1,3	Reinforced concrete moment frame, ductile, between 1 - 3 storeys
CR/LFM/DUC/H:4,7	Reinforced concrete moment frame, ductile, between 4 - 7 storeys
CR/LWAL/DNO/H:1,3	Reinforced concrete wall system, non ductile, between 1 - 3 storeys
CR/LWAL/DNO/H:4,7	Reinforced concrete wall system, non ductile, between 4 - 7 storeys
CR/LWAL/DUC/H:1,3	Reinforced concrete wall system, ductile, between 1 - 3 storeys
CR/LWAL/DUC/H:4,7	Reinforced concrete wall system, ductile, between 4 - 7 storeys
CR/LWAL/DUC/H:8,19	Reinforced concrete wall system, ductile, between 8 - 19 storeys
ER+ETR/H:1	Reinforced rammed earth, 1 storey
ER+ETR/H:1,2	Reinforced rammed earth, between 1 - 2 storeys
MCF/DNO/H:1	Confined masonry, non ductile, between 1 storey
MCF/DNO/H:1,3	Confined masonry, non ductile, between 1 - 3 storeys
MCF/DUC/H:1,3	Confined masonry, ductile, between 1 - 3 storeys
MR/DNO/H:1,3	Reinforced masonry, non ductile, between 1 - 3 storeys
MR/DUC/H:1,3	Reinforced masonry, ductile, between 1 - 3 storeys
MUR+ADO/H:1	Unreinforced masonry with adobe blocks, 1 storey
MUR+ADO/H:1,2	Unreinforced masonry with adobe blocks, between 1 - 2 storeys
MUR+STDRE/H:1,2	Dressed stone unreinforced masonry, between 1 - 2 storeys
MUR+STRUB/H:1,2	Rubble or semi-dressed stone unreinforced masonry, between 1 - 2 storeys
MUR/H:1	Unreinforced masonry, 1 storey
MUR/H:1,3	Unreinforced masonry, between 1 - 3 storeys
S/LFM/H:4,7	Steel moment frame, between 4 - 7 storeys
UNK	Unknown typology
W+WBB/H:1	Bamboo, 1 storey
W+WHE/H:1,3	Heavy wood, between 1 - 3 storeys
W+WLI/H:1	Light wood members, 1 storey
W+WLI/H:1,3	Light wood members, between 1 - 3 storeys
W+WS/H:1	Solid wood, 1 storey
W+WS/H:1,2	Solid wood, between 1 - 2 storeys
W+WWD/H:1	Wattle and daub, 1 storey
W+WWD/H:1,2	Wattle and daub, between 1 - 2 storeys

La Tabla 23 presenta las tipologías estructurales en Suramérica, con los porcentajes de participación para cada uno de los países. En particular, se tiene en cuenta a Colombia con un total de 9,742,956 viviendas distribuidas en tipologías como; pórticos de concreto resistentes a momentos, madera, estructuras metálicas resistentes a momentos, indefinido, adobe y tapia pisada, entre otros.

Tabla 23 Tipologías estructurales para Suramérica y participación por países

Fuentes: SARA-wiki (<https://sara.openquake.org/risk:exposure>)

GEM Taxonomy	Argentina	Bolivia	Chile	Colombia	Ecuador	Peru	Venezuela
CR+PC/LWAL/H:1,3			1.3%	0.3%			
CR/LDUAL/DUC/H:4,7	1.9%	0.2%		0.1%		1.0%	
CR/LDUAL/DUC/H:8,19	1.3%					0.3%	
CR/LFINF/DNO/H:1,3	11.8%			3.5%	4.1%	1.6%	13.9%
CR/LFINF/DUC/H:1,3	3.1%				0.6%	1.6%	1.8%
CR/LFINF/DUC/H:4,7	0.8%			2.3%	0.4%		
CR/LFLS/DNO/H:1,3		0.4%			7.8%		
CR/LFLS/DUC/H:1,3		0.4%			0.7%		
CR/LFLS/DUC/H:4,7					0.8%		
CR/LFM/DNO/H:1,3	4.7%			3.5%	4.0%		6.4%
CR/LFM/DUC/H:1,3	1.6%				0.6%		1.1%
CR/LFM/DUC/H:4,7	0.3%			2.3%	0.4%		
CR/LWAL/DNO/H:1,3	0.6%		4.1%				
CR/LWAL/DNO/H:4,7	0.5%		2.7%			0.2%	
CR/LWAL/DUC/H:1,3			2.6%				
CR/LWAL/DUC/H:4,7	0.5%		2.1%	1.5%		0.2%	0.5%
CR/LWAL/DUC/H:8,19			1.7%			0.2%	
ER+ETR/H:1		10.5%	0.2%	1.6%	1.7%	8.0%	0.7%
ER+ETR/H:1,2		8.0%	1.0%	2.3%	1.1%	1.6%	0.8%
MCF+ADO/DNO/H:1,2	0.7%						
MCF/DNO/H:1	8.9%	1.2%	3.6%	2.9%	4.1%	2.6%	
MCF/DNO/H:1,3	13.5%	16.5%	12.2%	9.7%	19.4%	7.2%	14.6%
MCF/DUC/H:1,3	6.5%	3.7%	6.5%	5.7%	1.2%	8.1%	0.7%
MR/DNO/H:1,3	0.9%		11.1%				
MR/DUC/H:1,3	0.9%		3.6%	2.3%		0.3%	
MUR+ADO/H:1	1.4%	10.5%	0.3%	0.8%	1.8%	18.6%	0.4%
MUR+ADO/H:1,2	0.4%	8.2%	4.0%	1.2%	1.0%	6.6%	5.9%
MUR+STDRE/H:1,2	1.2%	0.5%	0.3%	1.6%		0.9%	
MUR+STRUB/H:1,2	1.2%	0.5%		1.3%		1.3%	
MUR/H:1	9.8%	6.7%	0.1%	4.5%	8.0%	8.9%	0.5%
MUR/H:1,3	21.5%	22.3%	7.7%	35.6%	26.5%	13.7%	36.0%
S/LFM/H:4,7	0.1%						7.5%
UNK	1.6%	6.0%	2.8%	3.6%	1.0%	5.1%	7.6%
W+WBB/H:1				0.8%	5.3%	2.3%	
W+WHE/H:1,3	0.4%	0.1%				0.4%	
W+WLI/H:1	1.4%	0.6%	2.7%	0.3%	0.3%	2.4%	
W+WLI/H:1,3	0.2%	0.4%	20.7%	2.7%	2.1%		0.2%
W+WS/H:1	1.5%	2.2%	1.8%	1.3%	1.6%	4.8%	
W+WS/H:1,2			7.2%	4.1%	2.1%		
W+WWD/H:1	0.6%	0.9%		1.6%	3.6%		0.7%
W+WWD/H:1,2				2.3%		2.4%	0.8%
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
<b>TOTAL Dwellings</b>	<b>13,814,471</b>	<b>2,803,982</b>	<b>3,899,448</b>	<b>9,742,956</b>	<b>3,748,919</b>	<b>6,400,131</b>	<b>6,929,968</b>

A partir de los resultados obtenidos bajo el proyecto PAGER, la UNGRD hace uso de ellos para adelantar un estudio piloto del Estudio de Riesgo Sísmico Probabilista a escala nacional para Colombia, el cual publica sus resultados en diciembre de 2016.

## 2. AMENAZA

De acuerdo con la información del perfil de desastres para Colombia elaborado por la Universidad Católica de Lovaina (Bélgica), por medio de la base de datos internacional de desastres (EM-DAT), del Centro de Investigación en Epidemiología de Desastres (CRED, por sus siglas en inglés), el país presenta las siguientes condiciones en términos de daño económico, total de afectados y total de muertos para diferentes amenazas.

*Tabla 24 Daño económico por diferentes tipos de amenaza en Colombia. Fuente: EMDAT – 2016*

<b>Desastre No</b>	<b>TIPO</b>	<b>Fecha</b>	<b>Daño económico ('000 US\$)</b>
1999-0016	Sismo	25/01/1999	1,857,366
2011-0386	Inundación	01/09/2011	1,290,000
2011-0132	Inundación	00-04-2011	1,030,000
1985-0132	Volcanes	13/11/1985	1,000,000
2010-0168	Inundación	06/04/2010	1,000,000
1983-0059	Sismo	31/03/1983	410,900
1970-0061	Inundación	00-11-1970	138,800
1995-0090	Epidemias de insectos	17/05/1995	104,000
2012-0238	Inundación	15/03/2012	62,000
1988-0468	Tormenta	17/10/1988	50,000



Tabla 25 Total afectados por diferentes tipos de amenaza en Colombia. Fuente: EMDAT – 2016

Desastre No	TIPO	Fecha	Total afectados
1970-0061	Inundación	00-11-1970	5,105,000
2010-0168	Inundación	06/04/2010	2,791,999
2007-0162	Inundación	06/03/2007	1,504,317
1999-0016	Sismo	25/01/1999	1,205,933
2008-0559	Inundación	15/09/2008	1,200,091
2007-0529	Inundación	20/10/2007	1,162,135
2011-0132	Inundación	00-04-2011	988,599
2011-0386	Inundación	01/09/2011	498,924
2005-0572	Inundación	15/09/2005	474,607
2004-0520	Inundación	11/10/2004	345,386

Tabla 26 Total muertos por diferentes tipos de amenaza en Colombia. Fuente: EMDAT – 2016

Desastre No	TIPO	Fecha	Total muertos
1985-0132	Volcanes	13/11/1985	21,800
1999-0016	Sismo	25/01/1999	1,186
1949-0002	Volcanes	00--1949	1,000
1987-0167	Deslizamientos	27/09/1987	640
1979-0113	Sismo	12/12/1979	579
1970-0126	Sismo	00-11-1970	430
2010-0168	Inundación	06/04/2010	418
1906-0002	Sismo	31/01/1906	400
1991-0137	Epidemia	00-03-1991	350
1970-0061	Inundación	00-11-1970	307

A partir de la información presentada se identifica que, históricamente para Colombia, las principales amenazas naturales generadoras de los daños económicos y población afectada son; Sismo, inundación, deslizamientos (movimientos en masa) y volcanes. A partir de esto, a continuación, se presentan insumos de información disponible para la modelación de la amenaza con fines de EPR.

Cabe resaltar que la información que se presenta pretende dar fuentes de datos e insumos para la elaboración de modelos y zonificación de diferentes amenazas en el territorio colombiano, pero se aclara que para la elaboración de dichos estudios es indispensable la participación multidisciplinaria de expertos en cada una de las amenazas a evaluar con el fin de estimar de la manera más adecuada las intensidades, magnitudes, frecuencia y extensión geoespacial de eventos amenazantes teniendo en cuenta insumos de información primaria y secundaria según la escala de trabajo a la que se desee trabajar.



## 2.1. Amenaza Sísmica

La evaluación de la amenaza sísmica a escala nacional en Colombia cuenta con cuatro hitos históricos destacables. El primero de ellos ocurre en 1984 a raíz de la publicación del primer *Estudio General de Riesgo Sísmico de Colombia*, en el marco de la publicación del primer Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes (Decreto 1400 de 1984). El segundo hito en la amenaza sísmica de Colombia ocurre en el año de 1995 gracias a la publicación del *Estudio de Amenaza Sísmica de Colombia*, desarrollado por la Universidad de Los Andes, la AIS y el INGEOMINAS, en el marco de la publicación de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR 98 - Ley 400 de 1997). En este estudio se establece como objetivo principal la actualización de los mapas de amenaza sísmica, de donde se obtienen los valores de aceleración del terreno con los cuales se deben diseñar las edificaciones en el país.

El tercer hito en la evaluación de la amenaza sísmica del país se sitúa en el año de 2009, por medio del *Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia*, elaborado por la AIS con motivo de la actualización y publicación del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR 10 – Decreto 926 de 2010).

El cuarto hito que se debe destacar es la actualización de la *Norma Colombiana de Diseño de Puentes – LRFD-CCP14*, elaborada en el año 2014 por parte del INVIAS. En esta actualización de la norma de diseño se planteó a su vez, la actualización del modelo de amenaza sísmica por parte de la AIS hasta este año.

Teniendo en cuenta lo anterior y, dado que el estudio publicado en el año de 2009 es el modelo de amenaza sísmica utilizado para aportar los valores de amenaza sísmica para todos los municipios de Colombia requeridos para la expedición del reglamento de diseño y construcción vigente NSR - 10, a continuación, se presenta la información principal del modelo de amenaza publicado por la AIS en dicho año. Pero cabe resaltar que la entidad técnica y científica de orden nacional que adelanta el seguimiento y monitoreo de amenazas de origen geológico y administra la información del subsuelo es el SGC (antiguo INGEOMINAS) y que dentro de sus funciones principales se encuentra la investigación de fenómenos geológicos generadores de amenaza y evaluación de amenazas de origen geológicos con afectación regional y nacional. Adicionalmente tiene la función de proponer, evaluar y difundir metodologías de evaluación de amenazas con afectaciones departamentales y municipales. En este sentido, a continuación, se presentan las fuentes de información básica para la elaboración del estudio general de amenaza sísmica publicado en el año 2009, con información primaria provista por el INGEOMINAS (SGC).

La información básica con la que se debe contar para la elaboración de un modelo de amenaza sísmica es el catálogo de eventos sísmicos disponibles para el lugar de análisis, los acelerogramas de los sismos de mayor relevancia registrados por la red de acelerógrafos y los mapas de la tectónica y de deformaciones y pliegues cuaternarios, los cuales son suministrados por el SGC (AIS, 2009).

Teniendo en cuenta lo anterior, la Figura 27 presenta el mapa de deformaciones cuaternarias de Colombia en el que se presentan las fallas cuya actividad es considerada como probable por INGEOMINAS (Actual SGC).

La Figura 28, presenta el mapa de deformaciones cuaternarias para las cuales su actividad ha sido comprobada en el país. A partir de la consideración de esta información y del aporte de autores adicionales que definen sistemas de fallamiento para el país en función de la tectónica regional, la Figura 29 presenta las 38 fuentes sismogénicas tenidas en cuenta para el modelo de amenaza, de las cuales 30 corresponden a fuentes corticales y 8 a fuentes profundas.

En general, se establece que las fuentes sismogénicas consideradas corresponden a las mismas de los estudios generales de amenaza sísmica nacional elaborados en años anteriores y se encuentran en concordancia con la propuesta tectónica y de fallamiento de autores revisados para el estudio. (AIS, 2009)

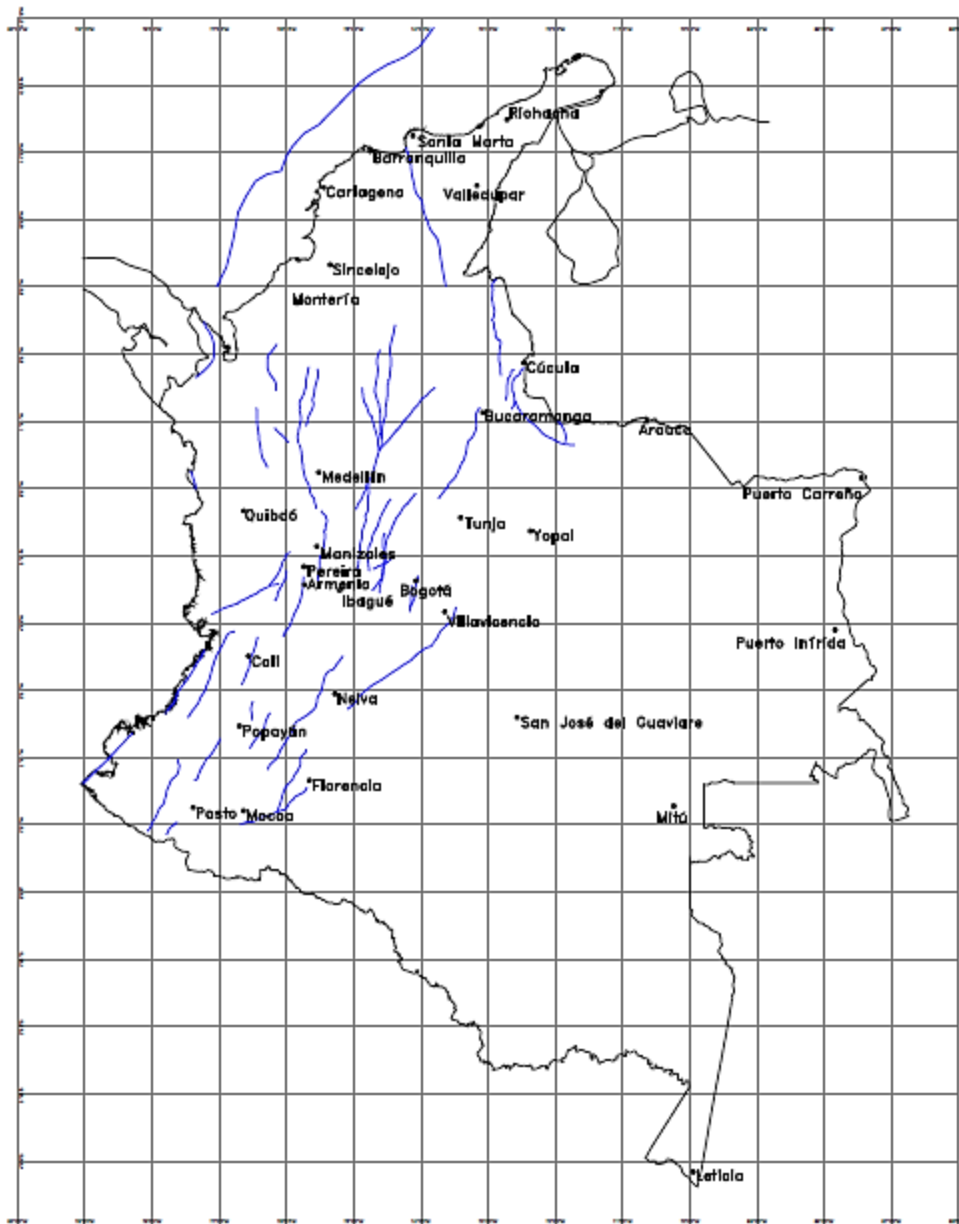


Figura 27 Mapa de deformaciones cuaternarias con actividad probable para Colombia. Fuente: (INGEOMINAS;, 2008)

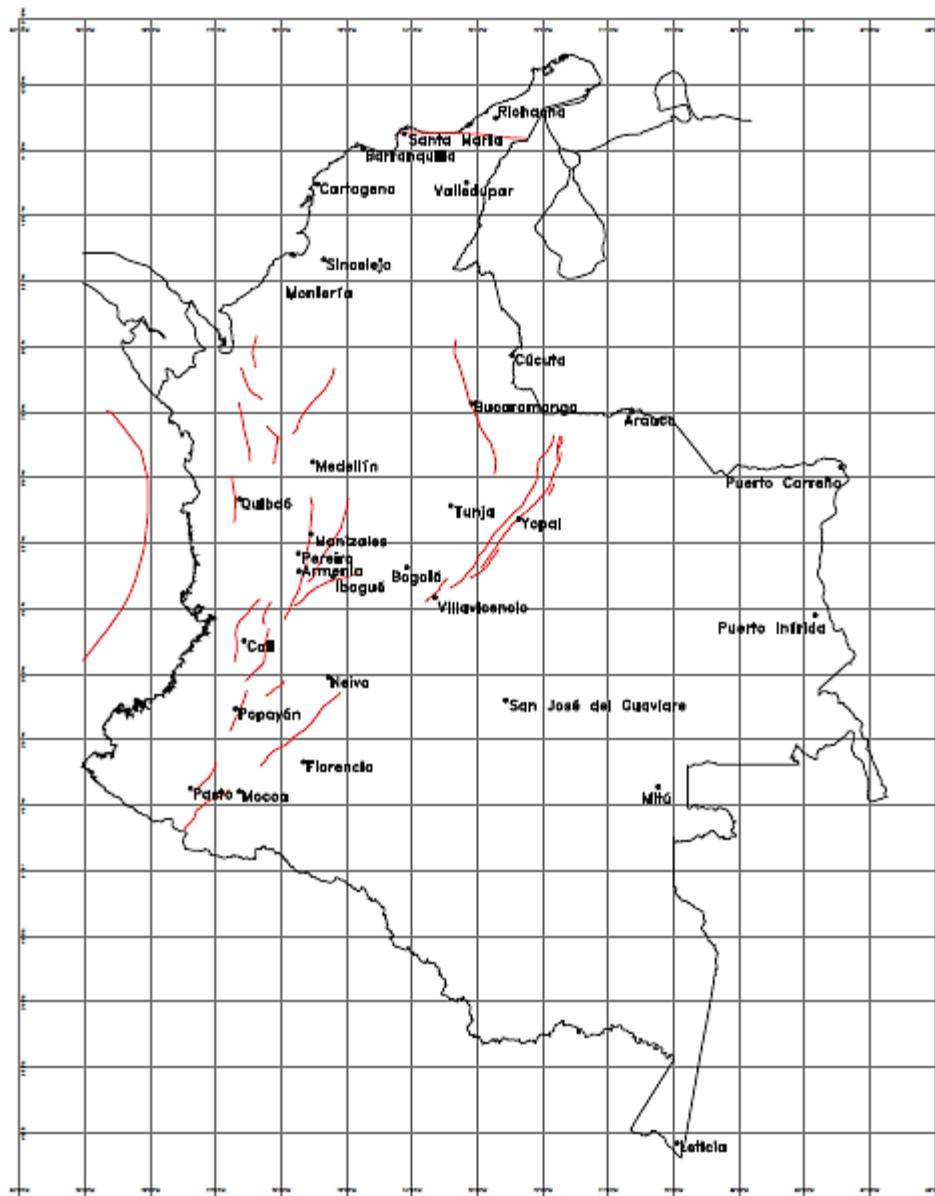


Figura 28 Mapa de deformaciones cuaternarias con actividad confirmada para Colombia. Fuente: (INGEOMINAS; 2008)

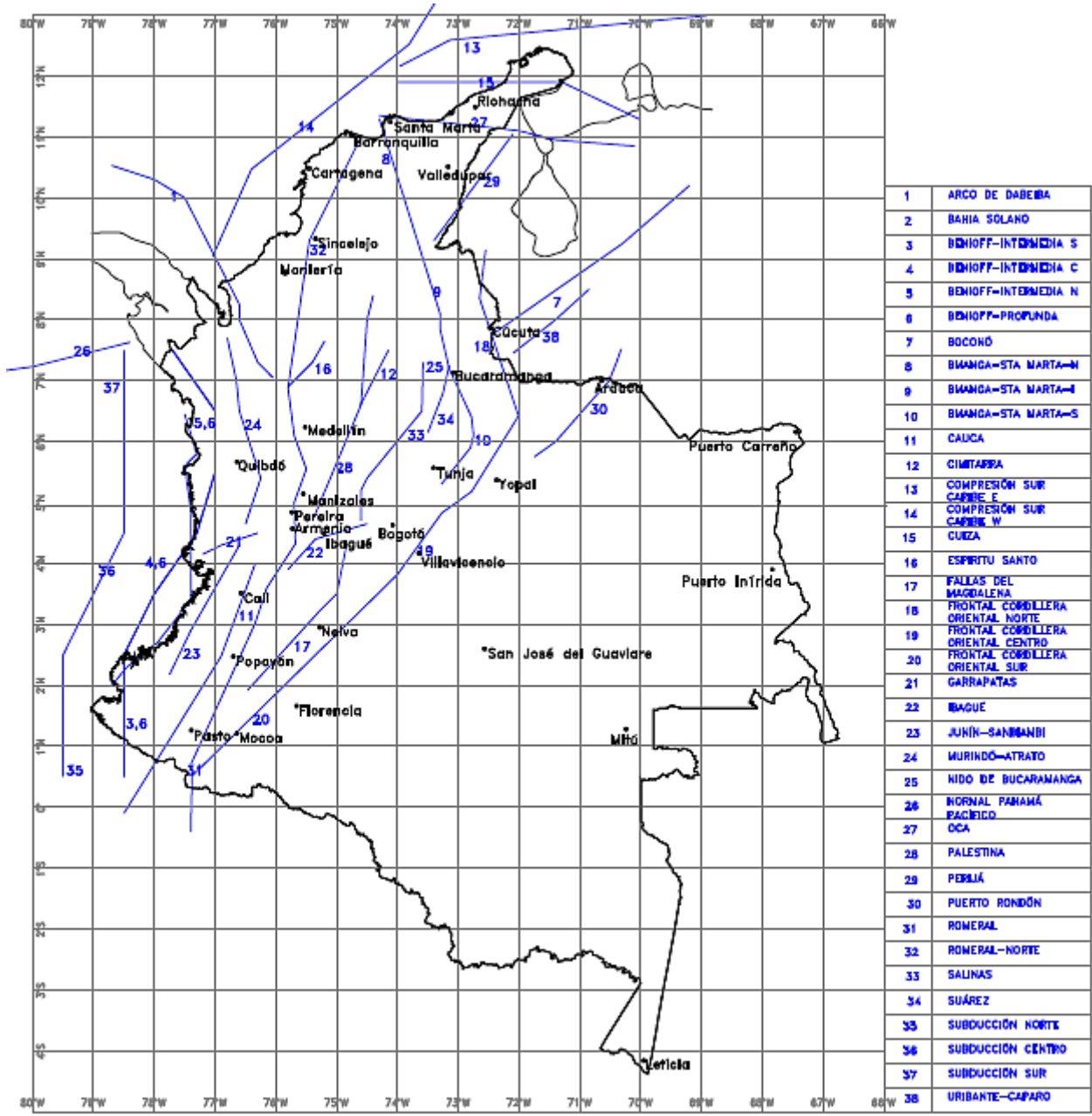


Figura 29 Mapa de proyección de fallas en superficie para Colombia. Fuente: (AIS, 2009)

En términos de la sismicidad, el análisis se divide en dos componentes; el primero corresponde a la sismicidad histórica registrada entre 1566 y 1922, época en la cual no existían mediciones instrumentales. El segundo componente corresponde a la sismicidad instrumental, que abarca desde el año de 1922 hasta el 2009 para el caso del Estudio General de Amenaza Sísmica (2009). Considerando los catálogos sísmicos realizados en el país por el INGEOMINAS, y teniendo en cuenta criterios de

selección de eventos para el análisis, se obtiene la totalidad de eventos sísmicos para ser asignados a cada falla cortical y profunda. El total de eventos de análisis fue de 7401.

Una vez consideradas las fallas fuente de eventos sísmicos, el catálogo sísmico depurado y la asignación de cada uno de sus eventos a las fallas fuente seleccionadas y la consideración de leyes de atenuación apropiadas es posible realizar el cálculo de la amenaza sísmica cuantificando la tasa de excedencia de una intensidad sísmica determinada en cualquier punto del terreno, considerando el aporte de la totalidad de las fuentes sísmicas y la distancia entre cada fuente y el punto de evaluación (AIS, 2009).

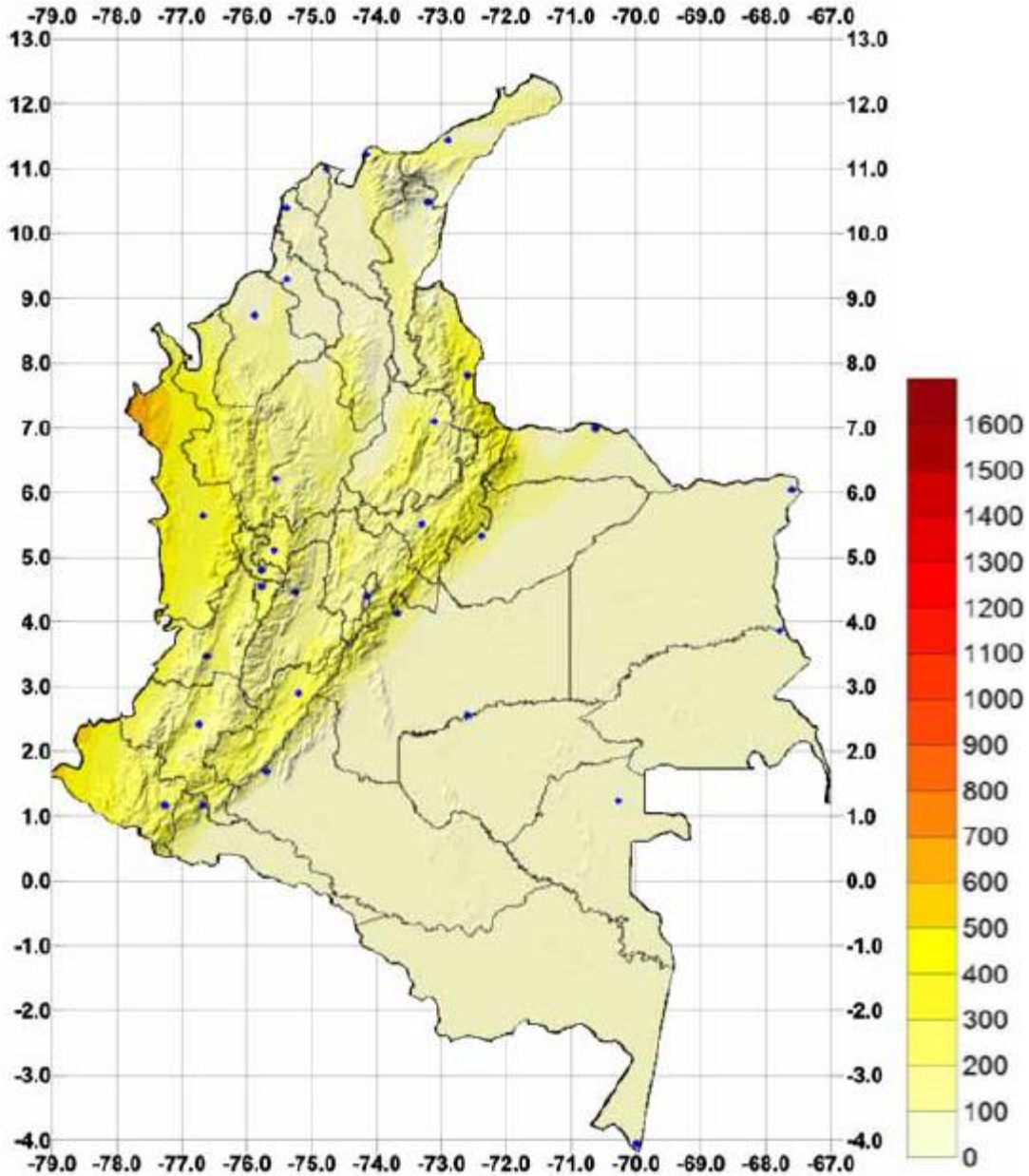


Figura 30 Mapa aceleración máxima del terreno en  $\text{cm/s}^2$  para Colombia. Fuente: (AIS, 2009)



A partir del cálculo de amenaza, se obtienen valores de  $A_a$  asociados a un período de retorno de 475 años, lo cual significa que, bajo este parámetro de diseño se obtiene una probabilidad de excedencia de la intensidad de aceleración sísmica de un 10% en 50 años de vida útil de la edificación. Este mapa publicado de  $A_a$ , en conjunto con los valores de  $A_v$ ,  $A_e$  y  $A_d$  para cada punto del territorio, son considerados en la NSR-10 como condiciones para el diseño estructural de edificaciones.

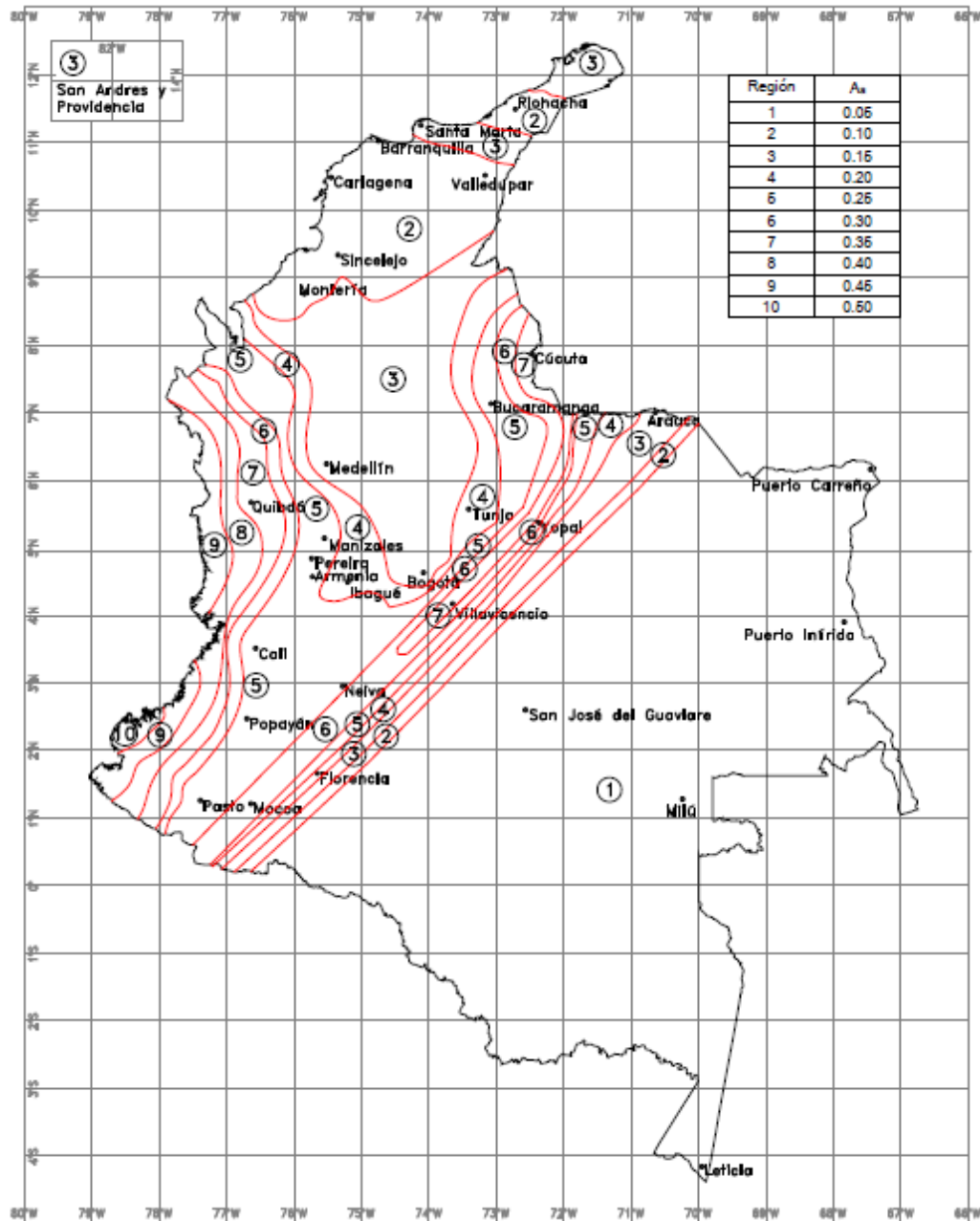


Figura 31 Mapa  $A_a$  para Colombia, con un período de retorno de 475 años. Fuente: (AIS, 2009)



A escala regional, en términos de la evaluación de amenaza sísmica en Colombia se destaca el estudio adelantado en el año de 2013, en el cual la fundación Global Earthquake Model (GEM), en el marco del proyecto South America Risk Assessment (SARA) evaluó la amenaza sísmica para el continente suramericano, incluyendo Colombia, con el objetivo de evaluar el riesgo sísmico en los países de Suramérica de forma probabilista.

Un resultado preliminar del estudio de amenaza se observa en la Figura 32, en donde se obtienen valores de aceleración máxima del terreno (PGA, por sus siglas en inglés) para Suramérica considerando un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años.

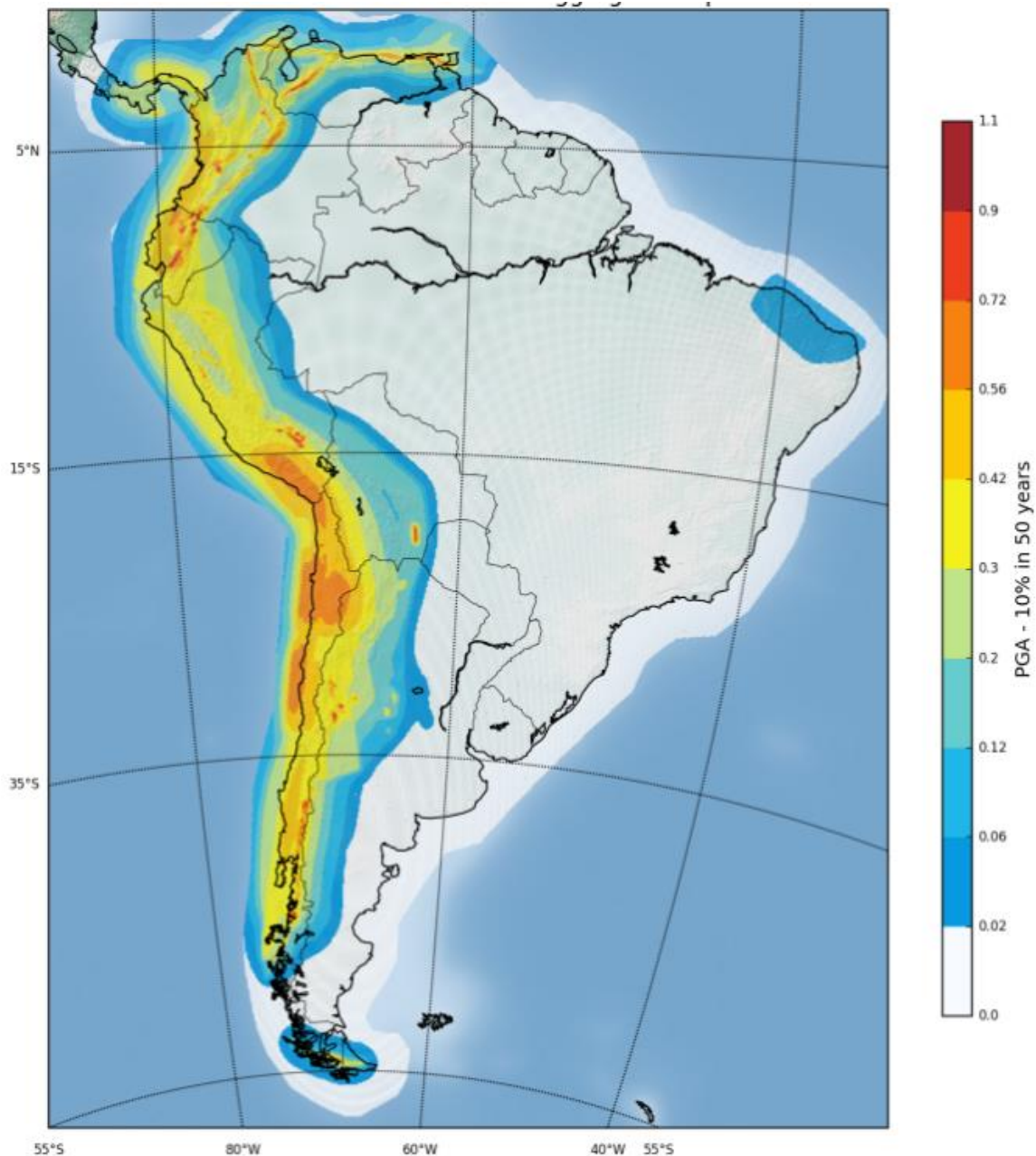


Figura 32 Mapa de aceleración pico del suelo para una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años. Fuente: SARA-Wiki

Un quinto hito destacable en términos de la evaluación de la amenaza sísmica a escala nacional, corresponde al modelo adelantado por parte del SGC en conjunto con la Universidad Nacional de Colombia – sede Bogotá en el año 2010. El modelo tectónico utilizado se presenta en la Figura 33. En él se presentan 38 sistemas de fallamiento cortical, 7 sistemas de fallas complejas de subducción y 3 sistemas de fallas complejas en el Nido de Bucaramanga.

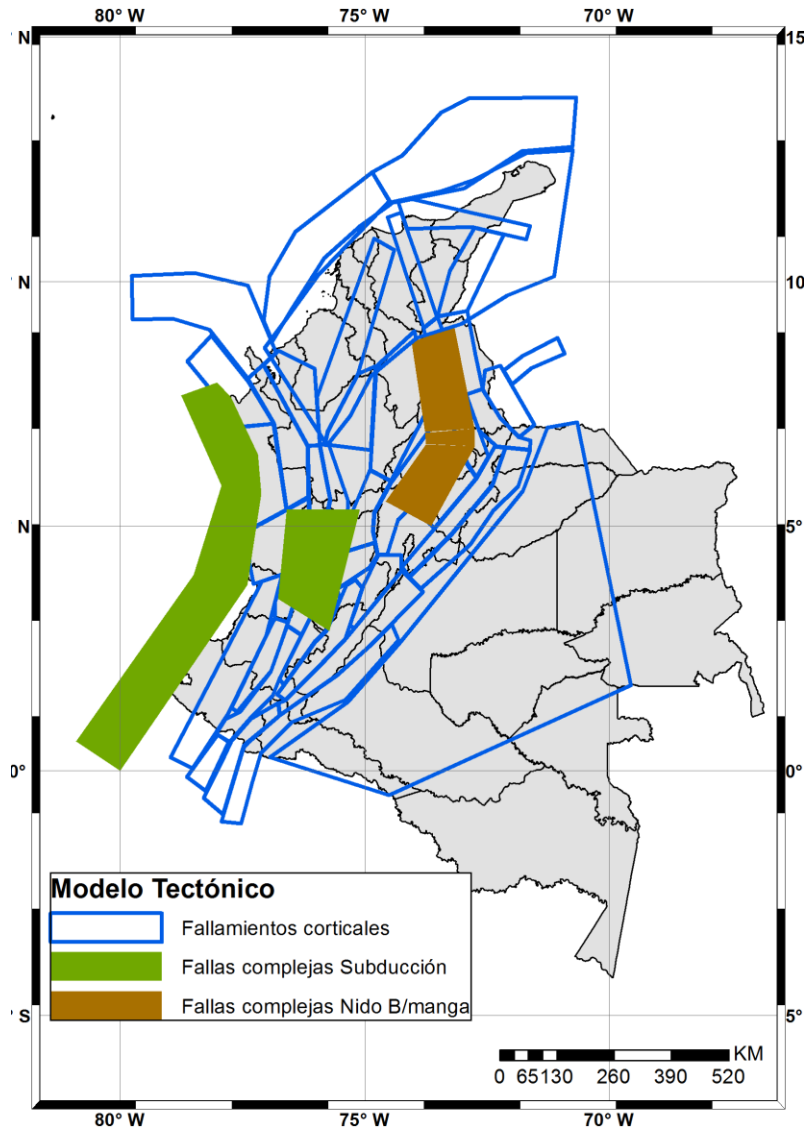


Figura 33 Modelo tectónico Amenaza Sísmica SGC-UNAL (2010)

El catálogo sísmico utilizado para este modelo tiene en cuenta la información del INGEOMINAS con corte al año 2009, en la cual se tiene una base de datos con cerca de 12,700 sismos. Las leyes de atenuación utilizadas para cada sistema de fallamiento corresponden a Sadigh et. Al (1997), Youngs et. al (1997) y Garcia et al (2005) para fallas corticales, de subducción y del Nido de Bucaramanga, respectivamente.

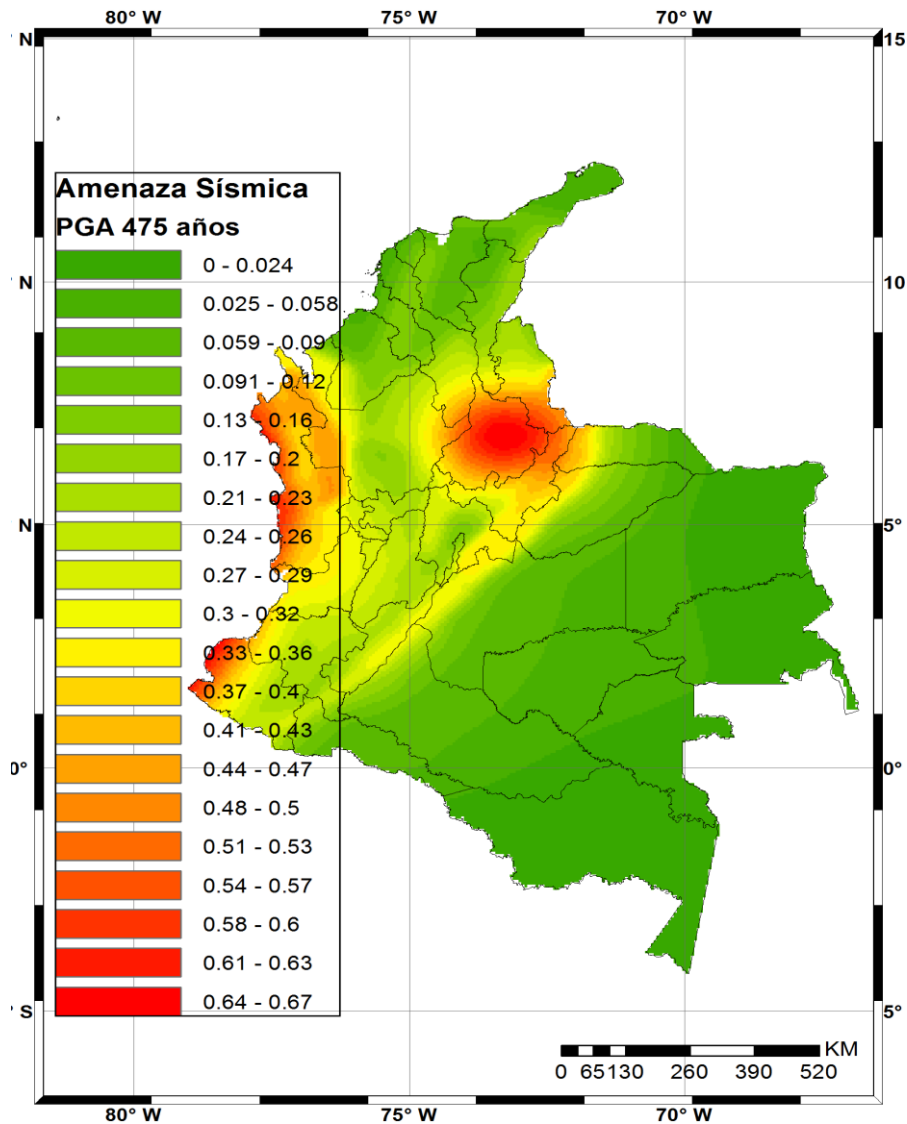


Figura 34 Mapa de amenaza sísmica para PGA (Aceleración en roca) para un período de retorno de 475 años (10% de probabilidad de excedencia en 50 años)

La Figura 34 presenta el mapa de amenaza sísmica para valores de aceleración máxima horizontal en roca (Aceleración espectral en 0 segundos), calculado para un período de retorno de 475 años (10% de probabilidad de excedencia en 50 años), el cual corresponde al periodo de diseño estructural de la NSR-10.

A partir de los resultados obtenidos del modelo de amenaza sísmica del SGC en conjunto con la Universidad Nacional de Colombia, la UNGRD hace uso de ellos para adelantar un estudio piloto del Estudio de Riesgo Sísmico Probabilista a escala nacional para Colombia, el cual publica sus resultados en diciembre de 2016.

## 2.2. Amenazas Hidrometeorológicas

Según la definición de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD), las amenazas hidrometeorológicas obedecen a procesos o fenómenos naturales de origen atmosférico, hidrológico u oceanográfico. Dentro de los múltiples tipos de amenazas hidrometeorológicas, se destacan; inundaciones, flujos de lodo y detritos, ciclones tropicales (o huracanes), frentes de tormentas, rayos/truenos, tormentas de nieve, granizo, lluvia y vientos y otras tormentas severas; sequía, desertificación, incendios forestales, temperaturas extremas y tormentas de arena o polvo.

En atención a que históricamente en el país, la principal amenaza hidrometeorológica generadora de daños económicos y población afectada es la inundación, a continuación, se presentan las fuentes y tipo de información disponible para el cálculo de amenaza por inundación en el país.

La entidad técnica y científica de orden nacional que genera y analiza información de los recursos hídricos y ambientales en Colombia es el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). En el año de 2014, se actualizó el Estudio Nacional del Agua (ENA) con el objetivo de ser un insumo técnico para la planificación y la gestión integrada del recurso hídrico en el marco de la Política Nacional para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos que lidera el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.

En el marco de su desarrollo se elabora el análisis del agua superficial a nivel nacional en términos de la oferta hídrica y régimen hidrológico, ecosistemas glaciares, cuerpos lénticos, sequías e inundaciones. Basados en el conocimiento allí descrito se presenta la información disponible a nivel nacional en términos de la amenaza por inundaciones.

De manera general, el cálculo de la amenaza por inundación para cauces y ríos se divide en tres componentes principales; el primero hace referencia a la caracterización del régimen hidrológico del lugar de análisis en términos de precipitación y cantidad de agua efectiva que drena hacia los canales y cauces principales de una cuenca específica. El segundo componente obedece al cálculo de los caudales de análisis asociados a diferentes períodos de retorno considerando análisis estadísticos del caudal experimentado en el cauce aguas arriba por medio del ajuste de una función de distribución de probabilidad a esta variable aleatoria. El método alternativo es la estimación de dichos caudales (o gastos) por medio de modelos hidrológicos que consideran la precipitación y las condiciones de suelo para determinar caudales de análisis para diferentes periodos de retorno asociados con la frecuencia de ocurrencia de los eventos de precipitación que generan los caudales. El tercer componente del análisis de amenaza por inundación corresponde al tránsito hidrodinámico de los caudales de análisis por medio de ecuaciones de conservación de la masa y el momentum teniendo en cuenta factores condicionantes del entorno como; la topografía, la rugosidad del suelo y la geometría del cauce.

El IDEAM (2014), en el ENA adelantó la modelación y cálculo de la zonificación de la amenaza por inundación a nivel nacional considerando la información antes descrita, con ciertos cambios de metodología debido a la escala de trabajo. En la Figura 35 y Figura 36 se presentan los mapas de amenaza por inundación para Colombia para los períodos de retorno de 2.33 y 100 años, respectivamente.



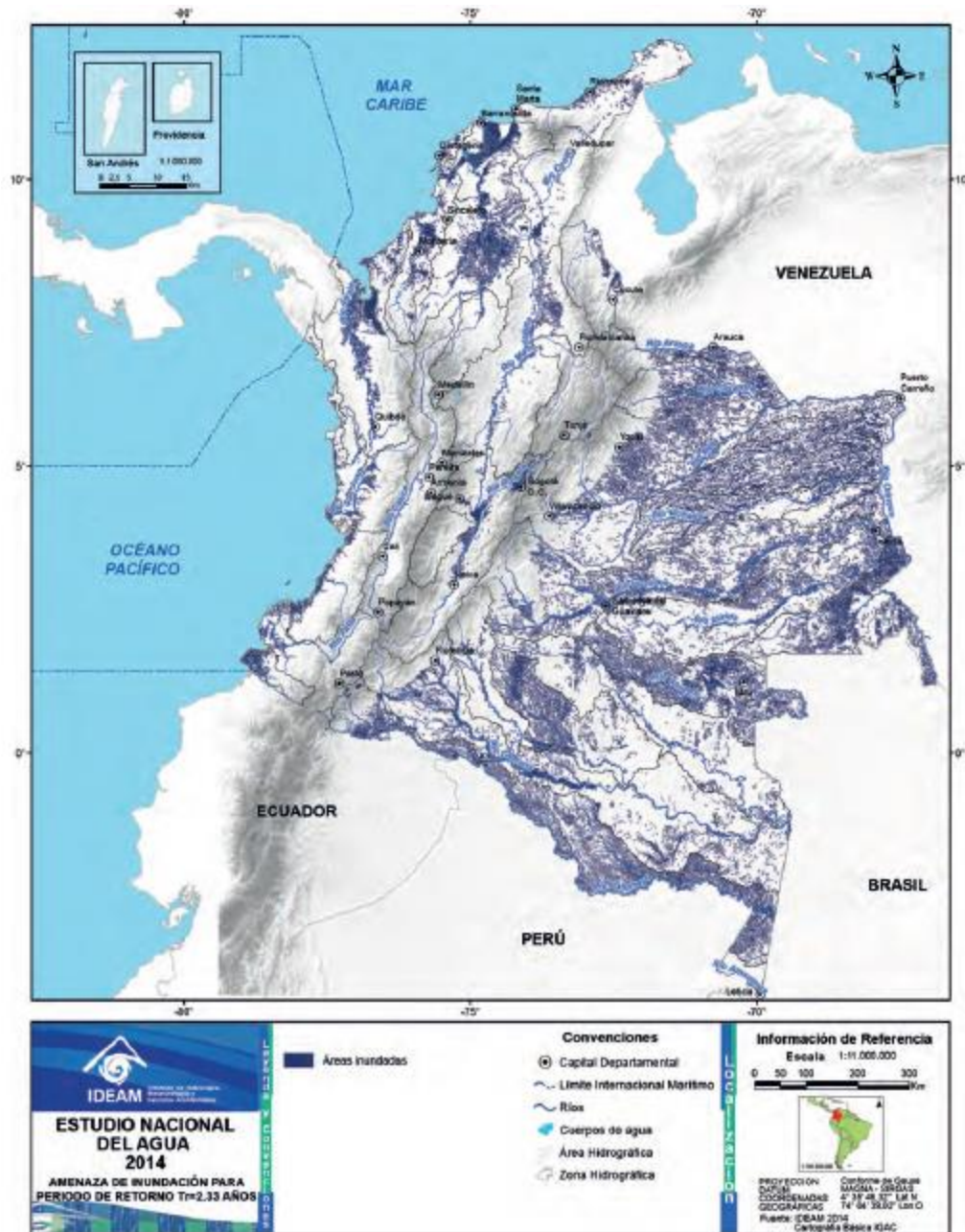


Figura 35 Mapa de amenaza de inundación para período de retorno de 2.33 años. (IDEAM, 2014)

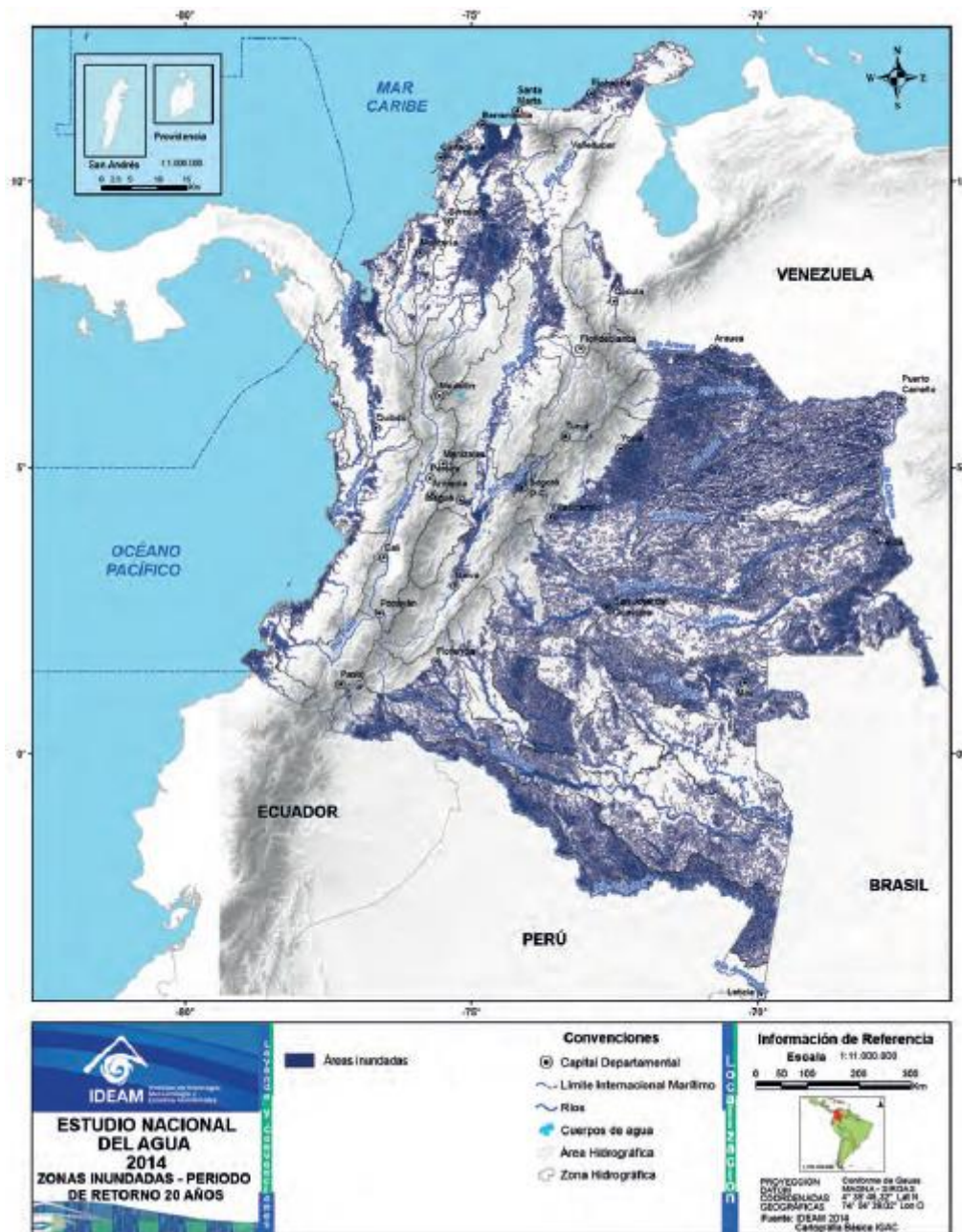


Figura 36 Mapa de amenaza de inundación para período de retorno de 100 años. (IDEAM, 2014)



En un estudio adicional, el IDEAM en conjunto con la Universidad Nacional de Colombia adelantaron el estudio de Zonificación de Amenazas por Inundaciones a escala 1:2000 y 1:5000 en áreas urbanas para diez municipios del territorio colombiano en el año 2013.

Dado que el ENA (2014) preveía la evaluación de la amenaza por inundación a nivel nacional para escalas de trabajo de 1:100.000 y superiores, el estudio mencionado se planteó la necesidad y el objetivo de evaluar la amenaza por inundación a escalas de detalle para casos urbanos. Los principales resultados del trabajo se consolidaron en términos de mapas de amenaza, así como la caracterización de la dinámica de las inundaciones en términos de profundidad y velocidad asociadas a la misma.

Los municipios de estudio son; Fundación, Plato, Mornil, Girón, Puerto Boyacá, Paipa, La Virginia, Tuluá, La Victoria y Pitalito. Para cada uno de estos municipios se desarrolló un modelo hidrodinámico bidimensional con base en la información topográfica levantada por medio de tecnología LiDAR. La Figura 37 y Figura 38 presentan los mapas de inundación para los municipios de La Victoria y Tuluá con periodos de retorno de 20 y 2.33 años, respectivamente.

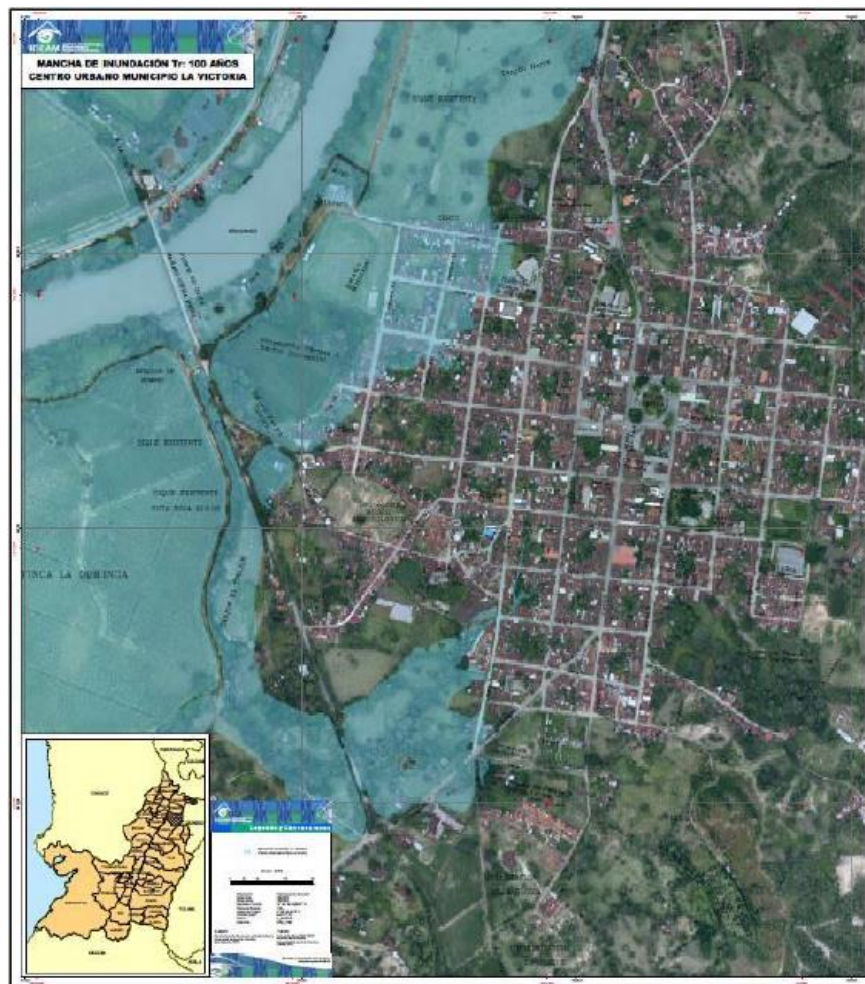


Figura 37 Mapa de amenaza de inundación para período de retorno de 20 años. Municipio La Victoria. (IDEAM, 2013)



Figura 38 Mapa de amenaza de inundación para período de retorno de 2.33 años. Municipio de Tuluá. (IDEAM, 2013)

### 2.3. Amenaza por Movimientos en Masa

De manera similar a lo que ocurre para el caso de las amenazas hidrometeorológicas y amenaza sísmica en el país, para el caso de la amenaza por movimientos en masa, la entidad técnica y científica de orden nacional que adelanta el seguimiento y monitoreo de amenazas de origen geológico y administra la información del subsuelo es el Servicio Geológico Colombiano (SGC).

En atención a las funciones del SGC de; i) Investigar fenómenos geológicos generadores de amenazas y evaluar amenazas de origen geológico con afectación regional y nacional y, ii) Proponer, evaluar y difundir metodologías de evaluación de amenazas con afectaciones departamentales y municipales, en el año 2016, el instituto publicó la *Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa* en la cual se detallan los procedimientos e insumos de información indispensables para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa de forma determinista y probabilista para escalas de trabajo de 1:5000 y 1:2000, respectivamente.

La Figura 39 y la presenta el proceso de zonificación básica de amenaza por movimientos en masa para escala 1:5000.

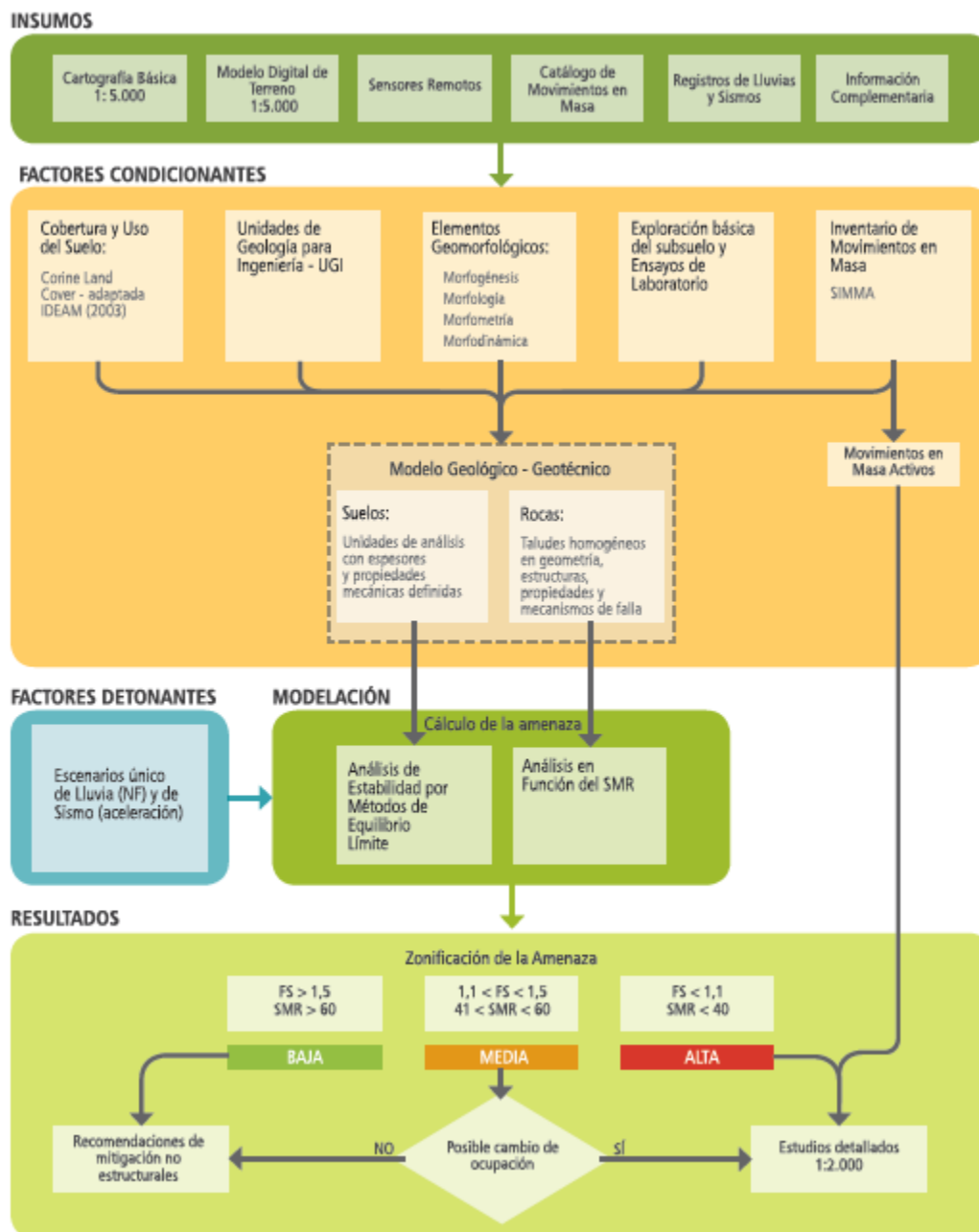


Figura 39 Zonificación básica de amenaza por movimientos en masa para escala 1:5000. Fuente: (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2016)

La Figura 40 presenta el proceso de zonificación detallada de amenaza por movimientos en masa para escala 1:2000.

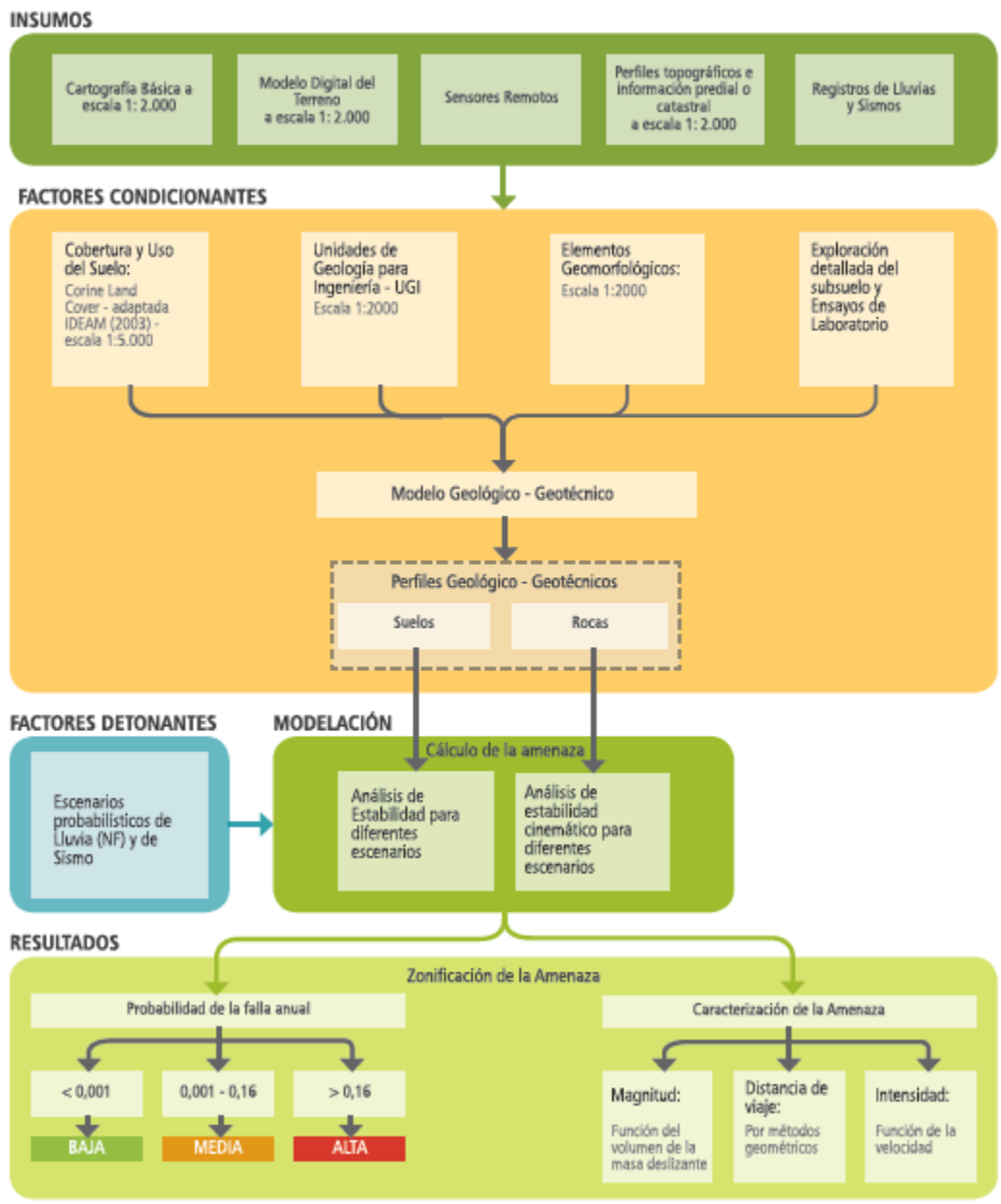


Figura 40 Zonificación detallada de amenaza por movimientos en masa para escala 1:2000. Fuente: (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2016)

Tal como se evidencia en las figuras anteriores, los insumos de información requeridos para la elaboración de la zonificación básica y detallada de la amenaza por movimientos en masa son numerosos y requieren un nivel de detalle y resolución específico.



En este sentido, la zonificación de amenaza por movimientos en masa, al igual que para el caso de inundaciones y sismos, presenta metodologías de cálculo que requieren información de detalle que en muchas ocasiones se recopila en campo por medio de muestras y mediciones. Si bien en este documento no se presenta la disponibilidad de dicha información, si se especifica la fuente de información básica disponible a nivel nacional que aporta a la modelación y zonificación de amenazas.

El SGC, en el año 2015, planteó el proyecto *MAPA Nacional de amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000*. En dicho proyecto se publican resultados a escala 1:100.000 para todo el territorio colombiano en formatos de planchas que cubren la superficie total del territorio. La información del proyecto puede ser obtenida en el portal: <http://simma.sgc.gov.co/#/public/basic/> del SGC.



Figura 41 Portal SIMMA del SGC

En este portal se puede acceder a información variada, la cual es un insumo primario para la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa en todo el territorio a escala 1:100.000. La información que es factible obtener y consultar en formato de capas de SIG se lista a continuación:

### Capas temáticas

- Toponimia
- Geología para ingeniería
- Unidades geológicas superficiales
- Unidades geomorfológicas
- Uso del suelo
- Coberturas de la tierra



- Amenaza por flujos
- Curvas de nivel
- Área urbana
- Drenaje doble
- Drenaje sencillo
- Red Vial

### Capas Principales

- Inventario
- Catálogo de eventos de movimientos en masa
- Zonificación de amenaza
- Zonificación de susceptibilidad
- Zonificación de amenaza por provincia

En la Figura 42 a la Figura 44 se presentan los resultados para los mapas de zonificación de susceptibilidad y mapa de zonificación de amenaza por movimientos en masa para la ciudad de Bogotá y alrededores.

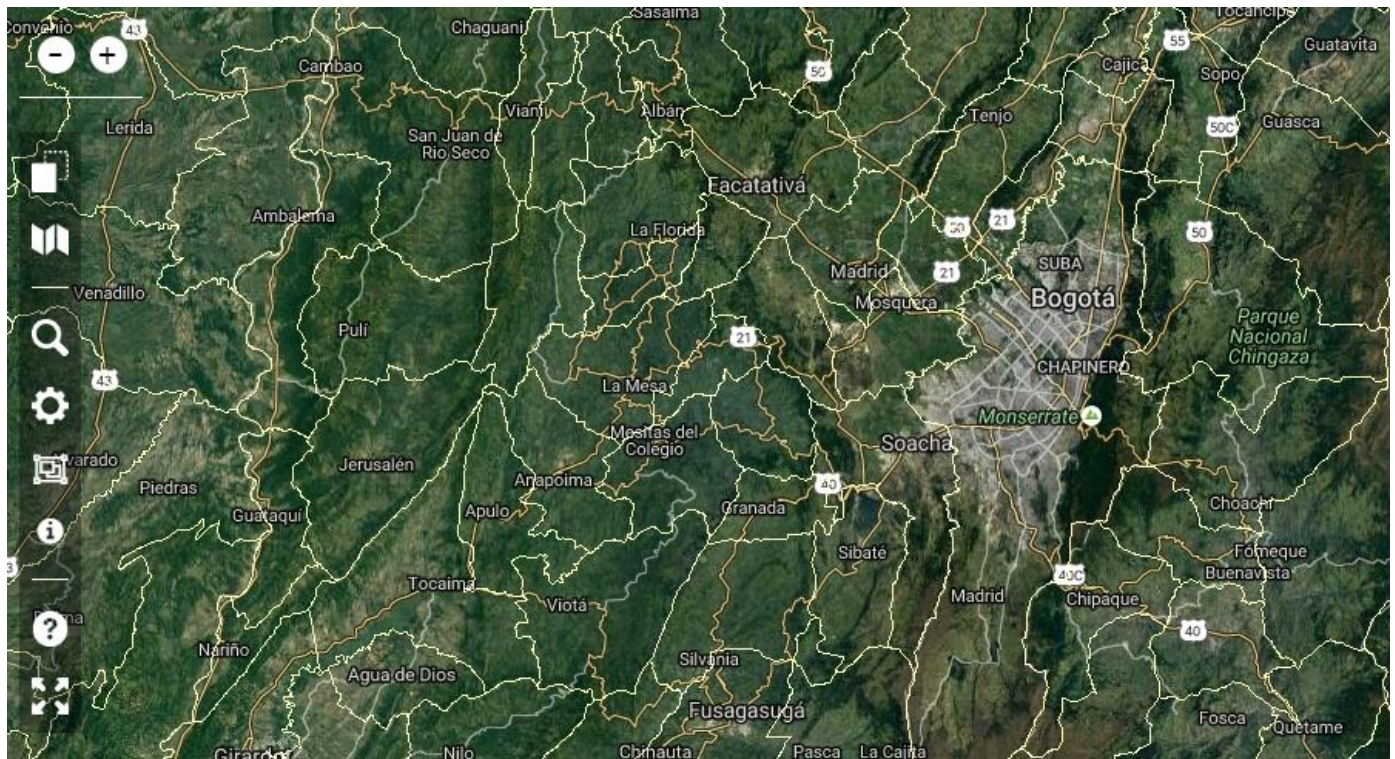


Figura 42 Mapa de la ciudad de Bogotá y alrededores. Fuente: SIMMA



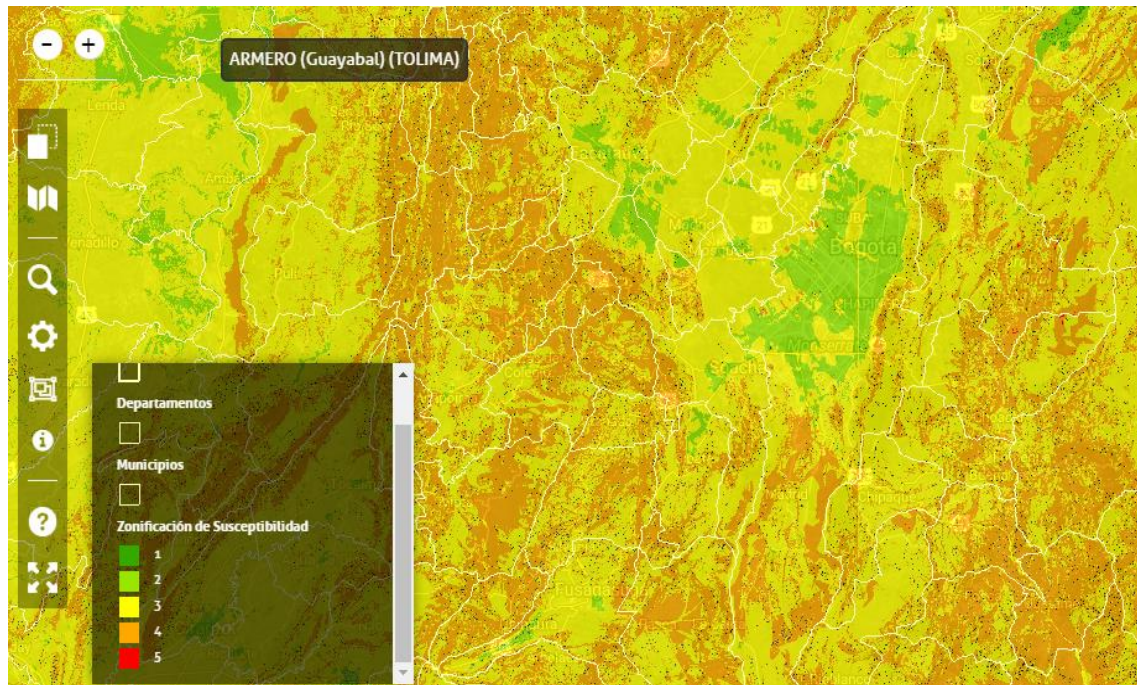


Figura 43 Mapa de zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa en la ciudad de Bogotá y alrededores. Fuente: SIMMA

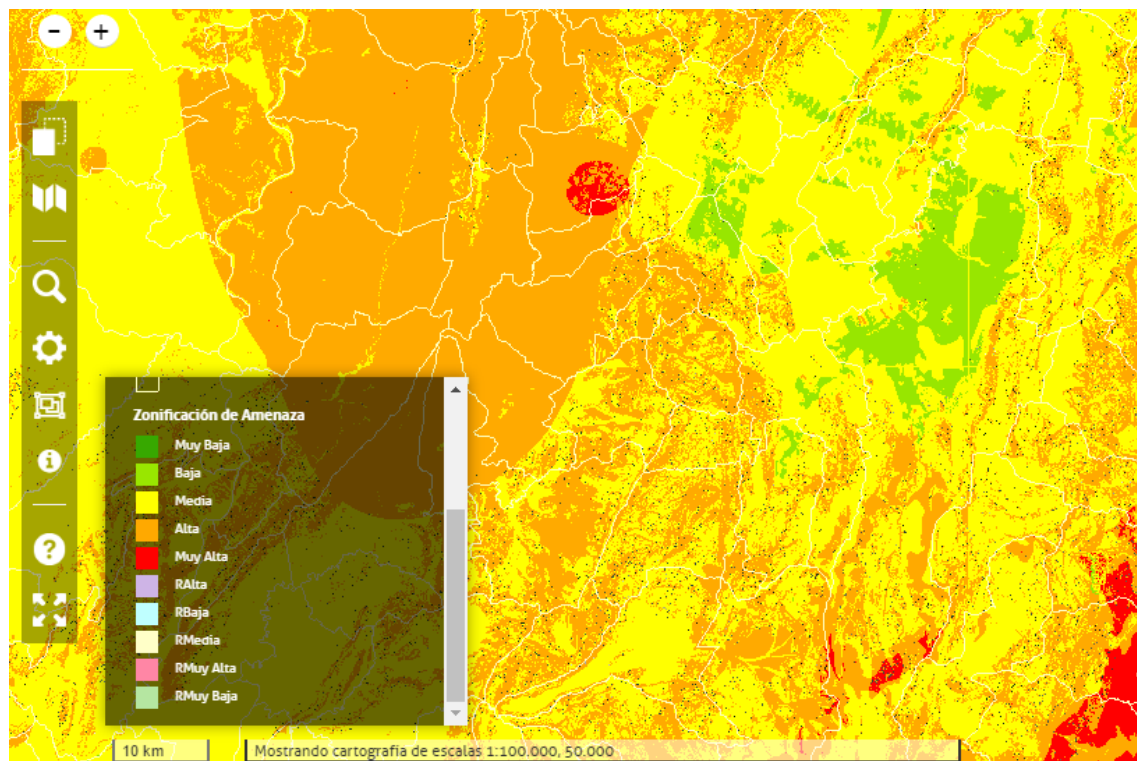


Figura 44 Mapa de zonificación de amenaza por movimientos en masa en la ciudad de Bogotá y alrededores. Fuente: SIMMA

### 3. VULNERABILIDAD

Tal como lo explica el Banco Mundial en su publicación *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas* (2012), los desastres no son eventos de la naturaleza per se, sino el resultado de la aplicación de modelos inapropiados de desarrollo que no consideran la relación sociedad-naturaleza.

Considerando el alcance del presente documento, como parte del proyecto piloto del Estudio de Riesgo Sísmico Probabilista a escala nacional para Colombia, se consideran las bases de datos e información disponible en el país para la elaboración de curvas de fragilidad y/o de vulnerabilidad física de edificaciones con fines de EPR en Colombia.

La construcción de curvas y funciones de vulnerabilidad obedece a la aplicación de metodologías del estado del arte de ingeniería civil en términos de respuesta dinámica estructural, ingeniería sísmica, entre otras. La publicación de resultados de este nivel en el país es muy escasa y no existe la capacidad técnica en las instituciones del orden nacional que contengan dicha información y que sea pública y disponible al público.

La información disponible en este sentido se concentra en los estudios de EPR publicados en el país para diferentes tipos de amenazas y su publicación se reduce a informes técnicos y publicaciones en bases de datos de revistas especializadas indexadas (Ver sección 2). Sin embargo, se considera que, dado que no existe en el país una capacidad técnica en instituciones del orden nacional para la construcción de curvas de fragilidad/vulnerabilidad con fines de EPR, el país y las instituciones adscritas al *Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo* deben avanzar en la construcción de información básica primaria que permitan la construcción y calibración de curvas de fragilidad/vulnerabilidad. Para ello se propone avanzar en dos tipos de información:

1. Base de datos de costos de rehabilitación y/o reforzamiento estructural de edificaciones de diferentes usos y para infraestructura de primer orden.
2. Base de datos de pérdida económica generada post desastre (o post evento amenazante) en diferentes localizaciones nacionales.

Lo anterior, constituye un avance muy relevante desde el punto de vista experimental, dado que permite contar con información real de daños generados por eventos ocurridos en el país y los costos de la rehabilitación de dichos daños. Esto se relaciona con el proceso de calibración y construcción de curvas de vulnerabilidad en términos de calibración de las mismas, y de verificación de la predicción del daño económico que puede generar un evento amenazante.

De manera general, los estudios de EPR en el país son escasos tanto en número, como en concepción metodológica y de resultados. Los primeros resultados con un enfoque probabilista, considerando un diverso número de posibles eventos amenazantes se empezó a dar en la década de 1980, pero los avances verdaderamente considerables se han dado desde el año 2000 en adelante, con la producción de cerca de 40 estudios de EPR para diferentes escalas, tipos de exposición, y regiones en el país.

Considerando lo realizado en Colombia, se concluye que existen falencias desde el punto de vista técnico y metodológico en los estudios de EPR y de ER planteados en el país, principalmente hasta el año de 2006. Teniendo en cuenta lo establecido por otros autores y lo encontrado a lo largo de la recopilación y análisis de los documentos de ER presentados en este informe, se identifica que dichas falencias se deben, principalmente, a la falta de conocimiento experto y de capacidad técnica instalada en el país en diferentes instituciones del orden nacional y en centros de investigación y universidades en cuanto a la ER con un enfoque cuantitativo y probabilista. Si bien existían centros de investigación con la capacidad técnica para la elaboración de estudios de EPR (p. ej. CEDERI de la Universidad de Los Andes, y el IDEA de la Universidad Nacional de Colombia – sede Manizales), dicha capacidad no se encontraba en el resto del territorio hasta dicho año. En consecuencia, los principales autores de estudios de EPR en el país corresponden a personas adscritas a dichos centros de investigación, que generaron conocimiento del riesgo de desastres principalmente para las ciudades de Bogotá y Manizales.

A partir del año 2006, se presenta una evolución en el estado del conocimiento del país en términos de la EPR debido a avances técnicos y metodológicos, publicados en documentos que fueron recopilados y utilizados por diferentes autores para evaluaciones en ciudades como Cali, Medellín y Armenia, entre otras. Pero, a pesar del incremento en el número de estudios con este enfoque, se identifica que, si bien se presenta una rigurosidad metodológica en el proceso de cálculo y en los resultados presentados, existe una disociación entre lo que se pretende comunicar por medio de estas metodologías y sus principales resultados, con las decisiones que se pueden y deben tomar a la luz de los mismos para aportar a la gestión del riesgo. Esto ocurre debido a la falta de términos de referencia adecuados, que delimiten los requerimientos mínimos de un estudio de EPR en el país y los resultados principales que deben generar y su asertiva comunicación al tomador de riesgo en términos comprensibles por este último actor.

Por otra parte, un segundo problema identificado en la baja producción de estudios de EPR en Colombia es la ambigüedad de la Ley 1523 de 2012 en cuanto al principio de corresponsabilidad definido en el artículo 2 como sigue; *“La gestión del riesgo es responsabilidad de todas las autoridades y de los habitantes del territorio colombiano y que en cumplimiento de esta responsabilidad, las entidades públicas, privadas y comunitarias desarrollarán y ejecutarán procesos de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres en el marco de sus competencias, su ámbito de actuación y su jurisdicción, como componentes del SNGRD, asimismo los habitantes del territorio nacional, como corresponsables de la gestión del riesgo, deberán actuar con precaución, solidaridad, autoprotección, tanto en lo personal como en lo de sus bienes, y acatarán lo dispuesto por las autoridades”*.

En este sentido, lo definido por medio del artículo 2 de la Ley 1523 de 2012 no establece los límites de la responsabilidad de cada uno de los actores que intervienen en el proceso de gestión del riesgo y en

sus subprocesos, específicamente en el de conocimiento del riesgo. Al no estar definidas y delimitadas dichas responsabilidades, no se tiene una claridad en cuanto a quién y qué se debe hacer para adelantar el proceso de conocimiento del riesgo en cuanto a la caracterización de los escenarios de riesgo, su evaluación, monitoreo y posterior comunicación. En consecuencia, para subsanar esta falencia, la Subdirección de Conocimiento del Riesgo de la UNGRD, en el año de 2016, planteó y ejecutó un proyecto piloto de evaluación probabilista del riesgo sísmico para Colombia, en el marco del proyecto de “*Fortalecimiento de políticas e instrumentos financieros del SNGRD en Colombia 2016-2018*”, como parte del objetivo de establecer la responsabilidad de las entidades públicas, privadas y comunitarias en la gestión del riesgo de desastres.

Ante la definición de los niveles de responsabilidad del estado y del sector privado frente a la gestión del riesgo, se hace necesaria la ejecución del proceso de conocimiento del riesgo en todos los municipios del país en los que existan amenazas naturales que puedan afectar el normal desarrollo de las comunidades. La EPR será, entonces, una herramienta básica y de primera necesidad para dichos municipios y regiones con el objetivo de establecer los recursos económicos y logísticos con los que se debe contar para aumentar la resiliencia ante eventos de desastre. Y, por otro lado, para determinar las relaciones beneficio-costos que conllevaría la implementación de políticas de reducción del riesgo, tanto las estructurales, como las no estructurales.



- AERONÁUTICA CIVIL. (2016). *Catálogo de servicios en aeropuertos*. Bogotá: AEROCIVIL.
- AIS. (2009). *Estudio general de amenaza sísmica*. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- AIS, INGEOMINAS, & Universidad de Los Andes. (1995). *Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia*. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- Alvarado. (s.f.).
- Alvarado, C. (2010). *Estudios de microzonificación sísmica en Colombia*. Bogotá: Ingeominas.
- Andes, U. d. (2006). *Innovación e investigación tendientes a la actualización de la información sísmica de la ciudad de Bogotá*. Bogotá: Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos. CEDERI.
- Ayyub, B. (2003). *Risk analysis in engineering and economics*. Chapman & Hall/CRC.
- Banco Mundial. (2012). *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas*. Bogotá, Colombia: Banco Mundial.
- CÁMARA COLOMBIANA DE LA INFRAESTRUCTURA;. (2013). *Seguimiento a proyectos de infraestructura - Sistema férreo Nacional*. Bogotá: CÁMARA COLOMBIANA DE LA INFRAESTRUCTURA.
- Cardona, O. (1986a). *Estudios de vulnerabilidad y evaluación del riesgo sísmico: Planificación física y urbana en áreas propensas*. Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS.
- Cardona, O. D. (1985). *Hazard, vulnerability and Risk Assessment*. Skopje, Yugoslavia: Institute of earthquake engineering and Engineering Seismology IZSIS.
- Cardona, O., & Hurtado, J. (1990). *Propuesta metodológica para los Análisis de Vulnerabilidad. Informe de consultoría Proyecto UNDR0/ACDI/ONAD para la Mitigación de Riesgos en Colombia*. Santiago de Cali.
- Cardona, O., & Yamín, L. (1997). *Seismic Microzonation and Estimation of Earthquake Loss Scenarios: Integrates Risk Mitigation Project of Bogotá, Colombia*. Bogotá: Earthquake Spectra.
- Cardona, O., & Yamín, L. (2006). *Información sobre el riesgo de desastre a través del estudio de casos piloto*. Bogotá: Banco Interamericano de Desarrollo. Cepal. IDEA. .
- Cardona, O., Ordaz, M., Mora, M., Salgado, M., Bernal, G., Zuloaga, D., . . . González, D. (2013). *Global Risk Assessment: A fully probabilistic seismic and tropical cyclone wind assessment*. Bogotá: International Journal of Disaster Risk Reduction.

- Cardona, O., Ordaz, M., Yamín, L., Arámbula, S., Mahul, O., Guesquiere, F., & Marulanda, M. (2006). *Modelación de pérdidas por terremoto con fines de protección financiera*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Cardona, O., Ordaz, M., Yamín, L., Arámbula, S., Marulanda, M., & Barbat, A. (2008). *Probabilistic seismic risk assessment for comprehensive risk management modeling for innovative risk transfer and loss financing mechanisms*. . Beijing: 14 WCEE.
- Cardona, O., Ordaz, M., Yamín, L., Marulanda, M., & Barbat, A. (2008). *Earthquake loss assessment from integrated disaster risk management*. Bogotá: Journal of Earthquake Engineering.
- Cardona, O., Yamín, L., Arámbula, S., & Molina, L. (2001). *Retención y transferencia del riesgo sísmico en Colombia*. Bogotá: Universidad de Los Andes. .
- Cardona, O.D. (2001). *Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Chavarría, D., & Gómez Pizano, D. (2001). *Estudio piloto de vulnerabilidad sísmica en viviendas de 1 y 2 pisos del barrio Cuarto de Legua en el Cono Cañaveralejo*. Santiago de Cali: Universidad del Valle.
- CIMNE, & INGENIAR. (2014). *Selection of local case studies with fully probabilistic hazard and risk assessments*. . Geneva: United Nations.
- CIMNE, & INGENIAR. (2015. ). *Update on the probabilistic modelling of natural risks at global level: Global risk model*. Geneva: United Nations.
- CIMNE, ITEC-SAS, INGENIAR LTDA, & EAI SAS. (2013). *Modelación probabilista de riesgos naturales en el nivel global: el modelo global del riesgo*. Ginebra: Naciones Unidas.
- Clavijo, H., Alzate, M., & Mantilla, L. (2015). *Análisis del sector de infraestructura en Colombia*. Bogotá: PMI.
- Consortio-Microzonificación. (2006). *Microzonificación sísmica detallada de los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado*. Medellín: Área metropolitana del Valle de Aburrá.
- DANE. (2016). *Ficha metodológica 3er Censo Nacional Agropecuario*. Bogotá: DANE.
- Erdik, M., Sesetyan, K., Demircioglu, M., Hancilar, U., & Zulkikar, C. (2010). *Rapid earthquake loss assessment after damaging earthquakes*. Netherlands: Earthquake Engineering in Europe (Vol. 17, pp. 523-547).
- ERN-AL. (2006). *Metodología de análisis probabilista de riesgos (Consultoría No. ERN-CAPRA T3-2)*. Bogotá, Colombia.: CEPREDENAC-EIRD-BM.
- ERN-AL. (2010). *Seismic risk assessment for schools in the andean region in South America and Central America*. Bogotá: International Labor Office - ILO.

- ERN-AL. (2011). *Probabilistic modelling of natural risks at the global level: The hybrid loss exceedance curve*. Geneva: UNISDR.
- ERN-AL, C. E. (2010). *Metdología de análisis probabilista de riesgos*. Washington D.C: Banco Mundial/ Banco Interamericano de Desarrollo.
- FEMA. (2004). *HAZUS-MH MR3 - Multi hazard loss estimation methodology (Technical manual)*. Washington D.C. : FEMA.
- FLOODsite-Consortium. (2009). *Language of risk - Project definitions (2nd Ed.)*. FLOODsite.
- Framer, F. (1967). *Containment and siting of nuclear power plants*. Intl. Atomic Energy Agency.
- Gruenthal, G. (1998). *European Macroseismic Scale 1998*. Cahiers du centre européen de géodynamique et de séismologie, 15, 99. .
- Guesquiere, F., Yamín, L., & Mahul, O. (2006). *Earthquake vulnerability reduction program in Colombia - A probabilistic cost-benefit analysis*. Whashington: The World Bank.
- Hancilar, U., Tuzun, C., Yenidogan, C., & Erdik, M. (2010). *ELER software - a new tool for urban earthquake loss assessment*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 10(12), 2677-2696.
- IDEAM. (2014). *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá: IDEAM.
- IDEAM, U. N. (2013). *Zonificación de amenazas por inundación a escala 1:2000 y 1:5000 en áreas urbanas para 10 municipios del territorio colombiano*. Bogotá: IDEAM.
- INGEOMINAS;. (2008). *Deformaciones cuaternarias de Colombia, mapa indicativo de fallas y pliegues cuaternarios activos*. Bogotá: Subdirecciones de Geología Básica y Amenazas Geológicas. INGEOMINAS.
- Jaramillo, J. (1996). *PERCAL versión 4.0, Programa para cálculo de pérdidas por sismo y GRAPER versión 4.0, Programa para graficación de pérdidas por sismo*. México D. F. : Simposio Latinoamericano de vulenrabilidad Sísmica. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Kaplan, S., & Garrick, B. (1981). *On the quantitative definition of risk*. Risk Analysis, 1(1), 11-27.
- Londoño, J. (2015). *Modelización de problemas ambientales en entornos urbanos - Deslizamientos de tierra en ciudades andinas*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Lupoi, G., Franchin, P., Lupoi, A., Pinto, P., & Calvi, G. (2008). *Probabilistic seismic assessment for hospitals and complex social systems*. Pavia, Italy: ROSE school, IUSS Press. .
- Marulanda, M., Cardona, O., Mora, M., & Barbat, A. (2014). *Design and implementation of a voluntary collective earthquake insurance policy to cover low-income homeowners in a developing country*. Barcelona: Natural Hazards Journal.
- Modarres, M. (2006). *Reliability engineering and risk analysis; a practical guide*. New York: Marcel Dekker.

- Molina, S., Lang, D., & Lindholm, C. (2010). *SELENA - An open source tool for seismic risk and loss assessment using a logic tree computation procedure*. Computers & Geosciences, 36(3), 257-269.
- Montaña-Acevedo, L. (2005). *Escenarios de daño en Bogotá para un evento sísmico bajo un modelo probabilístico*. Bogotá: Universidad de Los Andes.
- Mora, M. (2015). *Análisis beneficio-costo probabilista de medidas de mitigación del riesgo por sismo*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Navarro, J. (2005). *Bases técnicas para la estimación de pérdidas con fines de seguros de terremoto*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería - Facultad de ingeniería civil, Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres.
- Olaya, J. (2015). *Flood vulnerability assessment for agricultural cultivated plants - Methodology and testing in La Mojana region (Colombia)*. Dresden, Germany: Technische Universitaet Dresden - TUD.
- Ordaz, M. (2000). *Metodología para la evaluación de riesgo sísmico enfocada a la gerencia de seguros para terremoto*. México D.F.
- Ordaz, M., Aguilar, A., & Arboleda, J. (2007). *CRISIS 2007 (Versión 7.6) [Windows]*. México D.F: Engineering Institute of the National University of Mexico (UNAM).
- PNUD. (1994). *Estudio de la amenaza, zonificación, análisis y vulnerabilidad sísmica de Medellín*. Medellín: Universidad EAFIT.
- Porter, K. (2003). *An overview of PEER's Performance-Based Earthquake Engineering Methodology*. San Francisco, CA: 9th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering.
- Rasmussen, N. (1975). *Reactor safety study: an assessment of accident risks in U.S commercial nuclear power plants*. Washington, D. C.: US Nuclear Regulatory Commission.
- Restrepo-Vélez, L. (2004). *Seismic risk of unreinforced masonry buildings*. Pavia: University of Pavia.
- Rodríguez, A. (2011). *Análisis y evaluación del riesgo sísmico en líneas vitales: caso de estudio Bogotá D.C.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Saldaña, L., Monsalve, H., Agudelo, J., Upegui, F., & Jaramillo, J. (2005). *Metodología para la evaluación del riesgo sísmico de pequeñas y medianas ciudades. Estudio de caso: zona centro de la ciudad de Armenia - Colombia*. Armenia: Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil.
- Salgado, M., Zuloaga, D., Bernal, G., & Cardona, O. (2014). *Comparison of the seismic risk results in two cities with the same earthquake resistant design coefficient*. Bogotá: Revista de ingeniería - Universidad de Los Andes.

- Salgado, M., Zuloaga, D., Bernal, G., Mora, M., & Cardona, O. (2013. ). *Fully probabilistic seismic risk assessment considering local site effects for the portfolio of buildings in Medellín, Colombia.* . Bogotá: Bulletin of Earthquake Engineering.
- Salgado, M., Zuloaga, D., Bernal, G., Vargas, C., & Cardona, O. (2014.). *Implications on seismic hazard and risk assessment of two cities of Colombia as a result of a lithospheric tear proposal in the NW South America.* . Barcelona: 10th U.S National Conference on earthquake engineering.
- Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2016). *Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.* Bogotá: SGC.
- SNGRD. (2012). *Normatividad del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.* Bogotá.
- Sudgen, R., & Williams, A. (1978). *The principles of practical cost-benefit analysis.* . Oxford University Press.
- Trendafiloski, G., Wyss, M., & Rosset, P. (2009). *Loss estimation module in the second generation software QLARM.* Cambridge, UK. : 2nd International Workshop on Disaster Casualties.
- UNDRO. (1979). *Natural Disasters and Vulnerability Analysis. Report of experts - Group meeting.* Ginebra, Suiza: UN.
- UNISDR. (2009). *2009 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction - Risk and poverty in a changing climate.* . Geneva: United Nations.
- UNISDR. (2009). *UNISDR terminology on Disaster Risk Reduction.* Geneva: United Nations .
- UNISDR. (2011). *2011 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction - Revealing Risk, Redefining Development.* . Geneva: United Nations.
- UNISDR. (2013). *2013 - Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction - From shared risk to shared value: The business case for Disaster Risk Reduction.* . Geneva: United Nations.
- Universidad de Los Andes. (2006). *Innovación e investigación tendientes a la actualización de la información sísmica de la ciudad de Bogotá.* . Bogotá: Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos CEDERI. .
- UPME; IDEAM; Universidad Industrial de Santander - UIS. (2010). *Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia.* Bogotá: UPME.
- Valcarcel, J. (2013). *Análisis y gestión del riesgo sísmico de edificios y sistemas esenciales.* . Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Valcarcel, J., Mora, M., Cardona, O., Pujades, L., Barbat, A., & Bernal, G. (2011). *Análisis de beneficio/costo de la mitigación del riesgo sísmico de las escuelas de la región andina y de centroamérica.* . Barcelona: 4 CNIS Granada.



- Valcarcel, J., Mora, M., Cardona, O., Pujades, L., Barbat, A., & Bernal, G. (2013.). *Methodology and applications for the benefit cost analysis of the seismic risk reduction of building portfolios at broad scale*. . Barcelona: Natural Hazards Journal.
- Velásquez, C., Cardona, O., Yamín, L., Mora, M., & Barbat, A. (2011. ). *Curva de excedencia de pérdidas híbrida para la representación del riesgo* . Granada: 4CNIS Granada.
- Velásquez, C., Carreño, M., Cardona, O., & Barbat, A. (2014). *Retrospective assessment of risk from natural hazards*. Barcelona: International Journal of Disaster Risk Reduction.
- Wald, D., Earle, P., Allen, T., Jaiswal, K., Porter, K., & Hearne, M. (2008). *Development of the U.S geological surveys PAGER system (Prompt Assessment of Global Earthquakes for Response)*. Beijing: 14th WCEE.
- Whitman, R. (1973). *Damage probability matrices for prototype buildings*. Cambridge, Massachusetts: MIT.
- Whitman, R., Anagnos, T., Kircher, C., Lagorio, H., Lawson, R., & Schneider, P. (1997). *Development of a National Earthquake Loss Estimation Methodology*. Earthquake Spectra, 13(4), 643.
- Yamín, L. (2015). *Riesgo sísmico de edificaciones en términos de pérdidas económicas mediante integración de costos de reparación de componentes*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Yamín, L. G. (2013). *Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre - El caso de Bogotá, Colombia*. Bogotá, Colombia: Banco Mundial/ Universidad de Los Andes.
- Yamín, L., Guesquiere, F., Cardona, O., & Ordaz, M. (2013. ). *Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre. El caso de Bogotá, Colombia*. Bogotá. : Banco Mundial. Universidad de Los Andes. .

## Anexo 1

Archivo en formato digital de Excel con información de artículos y documentos técnicos recopilados con información de GRD, RRD y EPR en Colombia.

- BaseDatos\_EPR.xlsx

## Anexo 2

ENLACES DE INTERÉS		
<b>1. ENLACES GENERALES</b>		
1	INSTITUTO DE ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEA-Universidad Nacional de Colombia sede Manizales.	<a href="http://idea.manizales.unal.edu.co/">http://idea.manizales.unal.edu.co/</a>
2	PROYECTO DE INDICADORES RIESGO DE DESASTRES Y DE GESTIÓN DE RIESGOS, BID-IDEA (Español)	<a href="http://idea.bid.manizales.unal.edu.co/">http://idea.bid.manizales.unal.edu.co/</a>
3	PROYECTO DE INDICADORES RIESGO DE DESASTRES Y DE GESTIÓN DE RIESGOS, BID-IDEA (Inglés)	<a href="http://idea.bid.manizales.unal.edu.co/ingles/principal.php">http://idea.bid.manizales.unal.edu.co/ingles/principal.php</a>
<b>2. ENLACES A NIVEL NACIONAL</b>		
4	UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES	<a href="http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/">http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/</a>
5	SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO	<a href="http://www.sgc.gov.co/">http://www.sgc.gov.co/</a>
6	ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA	<a href="http://www.asosismica.org.co/">http://www.asosismica.org.co/</a>
7	INSTITUTO DISTRITAL DE GESTION DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO, IDIGER	<a href="http://www.fopae.gov.co/">http://www.fopae.gov.co/</a>
8	SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA EL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ, SIATA	<a href="http://siata.gov.co/">http://siata.gov.co/</a>
<b>3. ENLACES INTERNACIONALES - Prevención y gestión del riesgo</b>		
<b>3.1. PROGRAMAS Y CENTROS:</b>		
9	PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO, PNUD	<a href="http://www.undp.org/">http://www.undp.org/</a>
10	PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO, PNUD	<a href="http://www.undp.org/content/undp/es/home/ourwork/crisispreventio_nandrecovery/overview/">http://www.undp.org/content/undp/es/home/ourwork/crisispreventio_nandrecovery/overview/</a>

ENLACES DE INTERÉS		
1 1	PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO, PNUD - PUBLICACIONES	<a href="http://www.undp.org/content/undp/es/home/librarypage/crisis-prevention-and-recovery/">http://www.undp.org/content/undp/es/home/librarypage/crisis-prevention-and-recovery/</a>
1 2	ESTRATEGIA INTERNACIONAL PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES DE LAS NACIONES UNIDAS, EIRD	<a href="http://www.unisdr.org/">http://www.unisdr.org/</a>
1 3	ESTRATEGIA INTERNACIONAL PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES DE LAS NACIONES UNIDAS, EIRD (Español)	<a href="http://www.eird.org/index-esp.html">http://www.eird.org/index-esp.html</a>
1 4	GLOBAL ASSESSMENT REPORT	<a href="https://www.unisdr.org/we/inform/gar">https://www.unisdr.org/we/inform/gar</a>
1 5	INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LOS RIESGOS DE DESASTRE SÍSMICO EN LAS ZONAS URBANAS, RADIUS	<a href="http://www.eird.org/esp/revista/No5_2002/pagina6.htm">http://www.eird.org/esp/revista/No5_2002/pagina6.htm</a>
1 6	COMISIÓN EUROPEA DE AYUDA HUMANITARIA Y PROTECCIÓN CIVIL, ECHO	<a href="http://ec.europa.eu/echo/policies/prevention_preparedness/dipecho_en.htm">http://ec.europa.eu/echo/policies/prevention_preparedness/dipecho_en.htm</a>
1 7	PROGRAMA DE MITIGACIÓN DE DESASTRES URBANOS ASIÁTICOS, AUDMP	<a href="http://www.adpc.net/AUDMP/audmp.html">http://www.adpc.net/AUDMP/audmp.html</a>
1 8	CENTRO ASIÁTICO DE PREPARACIÓN DE DESASTRES, ADPC	<a href="http://www.adpc.net/">http://www.adpc.net/</a>
1 9	CENTRO REGIONAL DE INFORMACIÓN SOBRE DESASTRES PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE, CRID	<a href="http://www.cridlac.org/">http://www.cridlac.org/</a>
2 0	RADIX: INTERPRETACIONES RADICALES DE LOS DESASTRES Y SOLUCIONES RADICALES	<a href="http://www.radixonline.org/">http://www.radixonline.org/</a>
2 1	ENFOQUE DE LA REDUCCION DE DESASTRES DE LA FEDERACION INTERNACIONAL DE LA CRUZ ROJA Y LA MEDIA LUNA ROJA, IFRC	<a href="http://www.ifrc.org/en/what-we-do/disaster-management/preparing-for-disaster/risk-reduction/">http://www.ifrc.org/en/what-we-do/disaster-management/preparing-for-disaster/risk-reduction/</a>
2 2	ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, OPS, DESASTRES Y ASISTENCIA HUMANITARIA	<a href="http://www.paho.org/disasters/default.htm">http://www.paho.org/disasters/default.htm</a>
2 3	RELIEFWEB	<a href="http://www.reliefweb.int/w/rwb.nsf">http://www.reliefweb.int/w/rwb.nsf</a>

ENLACES DE INTERÉS		
2 4	CENTRO ASIÁTICO PARA REDUCCIÓN DE DESASTRES, ADRC	<a href="http://www.adrc.asia/">http://www.adrc.asia/</a>
<b>3.2. HERRAMIENTAS:</b>		
2 5	GLOBAL ASSESSMENT REPORT	<a href="https://www.unisdr.org/we/inform/gar">https://www.unisdr.org/we/inform/gar</a>
2 6	PLATAFORMA DE EVALUACIÓN PROBABILISTA DE RIESGO DE DESASTRES, CAPRA	<a href="http://www.ecapra.org/es/">http://www.ecapra.org/es/</a>
2 7	ONU-SPIDER PLATAFORMA DE NACIONES UNIDAS PARA INFORMACION ESPECIALIZADA PARA EL MANEJO DE DESASTRES Y RESPUESTA DE EMERGENCIAS	<a href="http://www.un-spider.org/es">http://www.un-spider.org/es</a>
2 8	DIVISIÓN DE ALERTAS TEMPRANAS Y VALORACIÓN DEL PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE, DEWA	<a href="http://www.unep.org/dewa/EarlyWarning/tabid/4435/Default.aspx">http://www.unep.org/dewa/EarlyWarning/tabid/4435/Default.aspx</a>
2 9	BASE DE DATOS DE INFORMACIÓN DE RECURSOS GLOBALES, GRID	<a href="http://www.unep.org/documents/default.asp?documentid=166&amp;articleid=3333">http://www.unep.org/documents/default.asp?documentid=166&amp;articleid=3333</a>
3 0	BASE DE DATOS DE INFORMACIÓN DE RECURSOS GLOBALES, GRID	<a href="http://www.grid.unep.ch/">http://www.grid.unep.ch/</a>
3 1	SISTEMA DISTRITAL DE GESTIÓN DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO	<a href="http://www.sire.gov.co/">http://www.sire.gov.co/</a>
<b>3.3. INVESTIGACIÓN:</b>		
3 2	RED DE ESTUDIOS SOCIALES EN PREVENCIÓN DE DESASTRES EN AMÉRICA LATINA, LA RED	<a href="http://www.desenredando.org/">http://www.desenredando.org/</a>
3 3	PROYECTO GESTION DE RIESGOS DE DESASTRES ENSO EN AMÉRICA LATINA	<a href="http://www.cambioglobal.org/">http://www.cambioglobal.org/</a>
3 4	PROYECTO GESTION DE RIESGOS DE DESASTRES ENSO EN AMÉRICA LATINA	<a href="http://www.cambioglobal.org/enso/">http://www.cambioglobal.org/enso/</a>
3 5	CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE DESASTRES DE LA UNIVERSIDAD DE DELAWARE	<a href="http://www.udel.edu/DRC/">http://www.udel.edu/DRC/</a>



ENLACES DE INTERÉS		
4. ENLACES INTERNACIONALES - Sistemas de información de amenazas naturales		
4.1. BASES DE DATOS DE AMENAZAS Y RIESGO:		
3 6	GLOBAL ASSESSMENT REPORT	<a href="https://www.unisdr.org/we/inform/gar">https://www.unisdr.org/we/inform/gar</a>
3 7	EM-DAT (OFDA-CRED)	<a href="http://www.em-dat.net/">http://www.em-dat.net/</a>
3 8	CENTRO PARA LA INVESTIGACIÓN DE LA EPIDEMIOLOGÍA DE DESASTRES, CRED	<a href="http://www.cred.be/">http://www.cred.be/</a>
3 9	CENTRO PARA LA INVESTIGACIÓN DE AMENAZAS Y EL RIESGO DE LA UNIVERSIDAD DE COLUMBIA (CHRR)	<a href="http://www.ldeo.columbia.edu/chrr/">http://www.ldeo.columbia.edu/chrr/</a>
4 0	IDENTIFICACIÓN DE LOS HOTSPOTS DE DESASTRES NATURALES GLOBALES	<a href="http://www.ldeo.columbia.edu/news/2005/03_29_05.htm">http://www.ldeo.columbia.edu/news/2005/03_29_05.htm</a>
4 1	DESINVENTAR	<a href="http://www.desinventar.org/">http://www.desinventar.org/</a>
4 2	HAZUS	<a href="https://www.nibs.org/?page=hazus">https://www.nibs.org/?page=hazus</a>
4 3	HAZUS	<a href="http://www.fema.gov/plan/prevent/hazus/index.shtm">http://www.fema.gov/plan/prevent/hazus/index.shtm</a>
4 4	AGENCIA FEDERAL DE MANEJO DE EMERGENCIAS DE ESTADOS UNIDOS, FEMA	<a href="http://www.fema.gov/">http://www.fema.gov/</a>
4 5	CENTRO NACIONAL DE DATOS GEOFÍSICOS DE ESTADOS UNIDOS	<a href="http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/volcano.shtml">http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/volcano.shtml</a>
4 6	CENTRO NACIONAL DE DATOS GEOFÍSICOS DE ESTADOS UNIDOS	<a href="http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu.shtml">http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu.shtml</a>
4 7	CENTRO NACIONAL DE DATOS GEOFÍSICOS DE ESTADOS UNIDOS	<a href="http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/earthqk.shtml">http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/earthqk.shtml</a>
4 9	BASE DE DATOS GEOGRAFICOS HYDRO 1K	<a href="https://lta.cr.usgs.gov/HYDRO1K">https://lta.cr.usgs.gov/HYDRO1K</a>
5 0	EXPLORADOR DE LA TIERRA, SERVICIO GEOLÓGICO DE ESTADOS UNIDOS	<a href="http://earthexplorer.usgs.gov/">http://earthexplorer.usgs.gov/</a>
5 1	SERVICIO GEOLÓGICO DE LOS ESTADOS UNIDOS	<a href="http://www.usgs.gov/">http://www.usgs.gov/</a>
5 2	COMISIÓN DE GEOCIENCIA APLICADA AL PACÍFICO SUR, SOPAC	<a href="http://www.sopac.org/">http://www.sopac.org/</a>

ENLACES DE INTERÉS		
<b>4.2. MEDIO AMBIENTE:</b>		
5 3	PERSPECTIVA GLOBAL AMBIENTAL, GEO	<a href="http://www.unep.org/geo">http://www.unep.org/geo</a>
5 4	PORTAL DE DATOS DE PERSPECTIVA AMBIENTAL MUNDIAL (GEO)	<a href="http://geodata.grid.unep.ch/">http://geodata.grid.unep.ch/</a>
5 5	SISTEMA EARTHWATCH DE NACIONES UNIDAS	<a href="http://www.un.org/earthwatch/assessments.html">http://www.un.org/earthwatch/assessments.html</a>
5 6	MONITOREO DE LA TIERRA, DE LA AGENCIA NACIONAL DE DESARROLLO ESPACIAL DEL JAPÓN (JAXA)	<a href="http://sharaku.eorc.jaxa.jp/AMSR/relay/monitor.html">http://sharaku.eorc.jaxa.jp/AMSR/relay/monitor.html</a>
<b>4.3. VOLCANES:</b>		
5 8		
6 0	VOLCANES DEL MUNDO	<a href="http://vulcan.wr.usgs.gov/Volcanoes/">http://vulcan.wr.usgs.gov/Volcanoes/</a>
6 1	Museo Smithsonian de Historia Natural – Programa Global de Vulcanismo	<a href="http://www.volcano.si.edu/">http://www.volcano.si.edu/</a>
6 2	Volcanes en Estados Unidos	<a href="http://volcanoes.usgs.gov/">http://volcanoes.usgs.gov/</a>
<b>4.4. SISMOS:</b>		
6 3	PROGRAMA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO GLOBAL, GSHAP	<a href="http://www.seismo.ethz.ch/GSHAP/">http://www.seismo.ethz.ch/GSHAP/</a>
6 4	CATÁLOGO COMPUESTO DE SISMOS DE ESTADOS UNIDOS	<a href="http://quake.geo.berkeley.edu/cnss">http://quake.geo.berkeley.edu/cnss</a>
<b>4.5. HURACANES:</b>		
6 5	UNISYS WEATHER	<a href="http://weather.unisys.com/hurricane/">http://weather.unisys.com/hurricane/</a>
6 6	MAPAS E IMÁGENES DEL RECORRIDO DE HURACANES EN EL ATLÁNTICO	<a href="http://fermi.jhuapl.edu/hurr/index.html">http://fermi.jhuapl.edu/hurr/index.html</a>
6 7	BASES DE DATOS GLOBALES DEL PASO DE CICLONES, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE, DIVISIÓN DE VALORACIÓN Y ALERTAS TEMPRANAS, GRID-GINEBRA	<a href="http://www.grid.unep.ch/data/summary.php?dataid=GNV199&amp;category=atmosphere&amp;dataurl=http%3A%2F%2Fwww.grid.unep.ch%2Fdata%2Fgnv199.php&amp;browsen=http%3A%2F%2Fwww.grid.unep.ch%2Fdata%2Fdownload">http://www.grid.unep.ch/data/summary.php?dataid=GNV199&amp;category=atmosphere&amp;dataurl=http%3A%2F%2Fwww.grid.unep.ch%2Fdata%2Fgnv199.php&amp;browsen=http%3A%2F%2Fwww.grid.unep.ch%2Fdata%2Fdownload</a>

ENLACES DE INTERÉS		
6 8	Agencia Meteorológica de Australia:	<a href="http://www.bom.gov.au/">http://www.bom.gov.au/</a>
6 9	Servicio Meteorológico de Fiji	<a href="http://www.met.gov.fj/">http://www.met.gov.fj/</a>
7 0	Météo France - La reuñión	<a href="http://www.meteofrance.com/FR/index.jsp">http://www.meteofrance.com/FR/index.jsp</a>
7 1	Agencia Meteorológica del Japón	<a href="http://www.jma.go.jp/jma/indexe.html">http://www.jma.go.jp/jma/indexe.html</a>
<b>4.6. INUNDACIONES:</b>		
7 2	OBSERVATORIO DE INUNDACIONES DARTMOUTH	<a href="http://www.dartmouth.edu/~floods/index.html">http://www.dartmouth.edu/~floods/index.html</a>
7 3	FLOODsite: Integrated Flood Risk Analysis and Management Methodologies	<a href="http://www.floodsite.net/default.htm">http://www.floodsite.net/default.htm</a>
<b>4.7. CAMBIO CLIMÁTICO:</b>		
7 4	CENTRO TYNDALL PARA LA INVESTIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO, CDIAC	<a href="http://www.tyndall.ac.uk/">http://www.tyndall.ac.uk/</a>
7 5	CENTRO DE INFORMACIÓN DE ANÁLISIS DEL DIÓXIDO DE CARBONO:	<a href="http://cdiac.esd.ornl.gov/">http://cdiac.esd.ornl.gov/</a>
<b>4.8. INCENDIOS:</b>		
7 6	CENTRO DE MONITOREO GLOBAL DE INCENDIOS, GFMC	<a href="http://www.fire.uni-freiburg.de/">http://www.fire.uni-freiburg.de/</a>

## Anexo 3

Fichas bibliográficas para la totalidad de EPR en Colombia recopilados (41).

- Localización carpeta:

`\EntregaRepositorioDigital\FichasBibliograficas\`

Se localiza cada una de las fichas bibliográficas por medio de números consecutivos de 1 al 41 en formato digital (.PDF), por ejemplo: 1.pdf.

Se localiza el archivo base de Excel por medio del cual se construyen las fichas bibliográficas.

“FichasBibliograficas2.xlsm”

Adicionalmente en la carpeta `\EntregaRepositorioDigital\FichasBibliograficas\ImagenesDocs\` se encuentran localizadas las imágenes de portada de cada uno de los EPR recopilados en formato JPEG, clasificados en: documentos, investigación, libros, tesis.

## Anexo 4

### VARIABLES MEDIDAS EN EL CENSO 2005

#	Nombre de entidad	Nombre de variable	Rótulo	Tipo	Rango	Alias	Grupo
1	CG2005	-	Básico	-	-	-	-
2	DPTO	-	Departamento	-	-	-	-
2.1	-	I0ADPTO	Entidad - Departamento	C	-	Dpto	Geografía
2.2	-	I0ADPTO002	Departamento	I	0-99	-	-
2.3	-	AREANOM	Nombre del departamento	C	-	Nom	Geografía
3	MPIO	-	Municipio	-	-	-	-
3.1	-	I0BMPIO	Entidad - Municipio	C	-	Mpio	Geografía
3.2	-	I0BMPIO002	Municipio	I	0-999	-	-
3.3	-	DPTOMPIO	Departamento y Municipio combinado	I	0-99999	-	-
3.4	-	AREANOM	Nombre del Municipio	C	-	Nom_mpio	Geografía
4	CLASE	-	Clase	-	-	-	-
4.1	-	I0CCLASE	Entidad - Clase	C	-	Clase	Geografía
4.2	-	I0CCLAS002	Clase	I	0-9	-	-
4.3	-	DMCLASE	Departamento, Municipio y Clase combinados	I	0-999999	-	-
4.4	-	CABRES	Cabecera y Resto	I	1-2	-	-
4.5	-	AREANOM	Nombre de clase	C	-	Nom_clas	Geografía
5	COMUNA	-	Localidad/Comuna	-	-	-	-
5.1	-	I0B1LOCALI	Entidad - Localidad/Comuna	C	-	Comuna	Geografía



#	Nombre de entidad	Nombre de variable	Rótulo	Tipo	Rango	Alias	Grupo
5.2	-	I0B1LOC002	Localidad/Comuna	I	0-99	-	-
5.3	-	AREANOM	Nombre de Comuna	C	-	Nom_Com	Geografia
5.4	-	CODCOMUNA	Codigo de Comuna	C	-	Cod_Com	Geografia
5.5	-	NOMCOMUNA	Nombre de Comuna	C	-	Nom_Comu	Geografia
6	SECT_RUR	-	Sector Rural	-	-	-	-
6.1	-	I0D1SECTRU	Entidad - Sector Rural	C	-	SectorRural	Geografía
6.2	-	I0D1SEC002	Sector Rural	I	0-999	-	-
6.3	-	AREANOM	Nombre de Sector Rural	C	-	Nom_Sectr	Geografia
6.4	-	CODNOMSTR	Codigo y Nombre de Sector Rural	C	-	Cod_Nom_sectr	Geografia
7	SECC_RUR	-	Sección Rural	-	-	-	-
7.1	-	I0D2SECCRU	Entidad - Seccion Rural	C	-	SeccionRural	Geografía
7.2	-	I0D2SEC002	Seccion Rural	I	0-99	-	-
7.3	-	AREANOM	Nombre de Seccion Rural	C	-	Nom_Seccr	Geografia
7.4	-	CODNOMSCCR	Codigo y Nombre de Seccion Rural	C	-	Cod_Nom_Sccr	Geografia
8	CPOB	-	Centro Poblado	-	-	-	-
8.1	-	I0D3CPOB	Entidad - Centro Poblado	C	-	Cpob	Geografia
8.2	-	I0D3CPO002	Centro Poblado	I	0-999	-	-
8.3	-	AREANOM	Nombre de Centro Poblado	C	-	Nom_Cpob	Geografia
8.4	-	CODNOMCPO B	Codigo y Nombre de Centro Poblado	C	-	Cod_Nom_Cpob	Geografia
9	SECT_URB	-	Sector Urbano	-	-	-	-
9.1	-	I0D4SECTUR	Entidad - Sector Urbano	C	-	SectorUrbano	Geografia

#	Nombre de entidad	Nombre de variable	Rótulo	Tipo	Rango	Alias	Grupo
9.2	-	I0D4SEC002	Sector Urbano	I	0-9999	-	-
10	SECC_URB	-	Sección Urbana	-	-	-	-
10.1	-	I0D5SECCUR	Entidad - Seccion Urbana	C	-	SeccionUrbana	Geografía
10.2	-	I0D5SEC002	Seccion Urbana	I	0-99	-	-
11	MZA	-	Manzana	-	-	-	-
11.1	-	I0D6MZA	Entidad - Manzana	C	-	Mza	Geografía
11.2	-	I0D6MZA002	Manzana	I	0-99	-	-
12	VIVIENDA	-	Vivienda	-	-	-	-
12.1	-	CABRESV	Identificador Cabecera-Resto Vivienda	I	0-9	-	-
12.2	-	V0HUSOUCEN	Uso Unidad Censal	I	0-9	-	-
12.3	-	V0ANROHOGA	Número Hogar	I	0-99	-	-
12.4	-	V0E0TERRIV	Territorialidad	C	-	-	-
12.5	-	V0E1TIPTER	Tipo de territorialidad	I	0-9	-	-
12.6	-	V0E2CODTER	Código territorialidad	I	0-999	-	-
12.7	-	V01BTIPVIV	Tipo de vivienda	I	0-9	-	-
12.8	-	VC00BCONOC	Condición de ocupación	I	0-9	-	-
12.9	-	VC01BTOTHO	Total de hogares	I	0-99	-	-
12.1 0	-	V05B1ELECT	Energía eléctrica	I	0-9	-	-
12.1 1	-	V05B2ALCAN	Alcantarillado	I	0-9	-	-
12.1 2	-	V05B3ACUED	Acueducto	I	0-9	-	-
12.1 3	-	V05B4GASNA	Gas natural	I	0-9	-	-

#	Nombre de entidad	Nombre de variable	Rótulo	Tipo	Rango	Alias	Grupo
12.14	-	V05B5TELEF	Teléfono	I	0-9	-	-
12.15	-	VLC01BEXIS	Existen hogares LEA	I	0-9	-	-
12.16	-	VLC02BTOTP	Total de residentes en el LEA	I	0-9999	-	-
12.17	-	VLC01BTIPL	Tipo de LEA	I	0-99	-	-
12.18	-	NROUPZV	Nro de UPZ Vivienda	I	0-999	-	-
12.19	-	TOTELD	Total de personas de 65+	I	0-999	-	-
12.20	-	TOTAL_VIV	Total Viviendas basado en Condición de Ocupación	I	1-1	-	-
12.21	-	TOTAL_LEA	Total LEA'S basado en tipo de LEA	I	1-1	-	-
13	HOGAR	-	Hogar	-	-	-	-
13.1	-	H0ANROHOGA	Número Hogar	I	0-99	-	-
13.2	-	H22B01PERS	Hay personas en el exterior	I	0-9	-	-
13.3	-	H22B02TOTP	Total personas en el exterior	I	0-99	-	-
13.4	-	HC06BTOTPE	Total personas hogar	I	0-99	-	-
13.5	-	H23BNPERAP	Número orden persona mayor aporte	I	0-99	-	-
13.6	-	H24BNROFAL	Número Personas fallecidas	I	0-99	-	-
13.7	-	HC07BACTEC	Hay actividad económica hogar	I	0-9	-	-
13.8	-	NROUPZH	Nro de UPZ Hogar	I	0-999	-	-

#	Nombre de entidad	Nombre de variable	Rótulo	Tipo	Rango	Alias	Grupo
13.9	-	TOTELD	Total de personas de 65+	I	0-999	-	-
13.10	-	TOTAL_HOG	Total Hogares Basado en Nro del Hogar	I	1-1	-	-
14	PERSONA	-	Persona	-	-	-	-
14.1	-	POANROHOGA	Número Hogar	I	0-99	-	-
14.2	-	PC08B1NROP	Número orden persona	I	0-9999	-	-
14.3	-	P25BSEXO	Sexo	I	1-2	-	-
14.4	-	PC09BEDAD	Edad	I	0-115	-	-
14.5	-	P27BPARENT	Parentesco con el Jefe	I	0-99	-	-
14.6	-	P28B1LUGNA	Donde nació	I	0-9	-	-
14.7	-	P28B0DPMPN	Dpto-Mpio de nacimiento	I	0-99999	-	-
14.8	-	P28B2DPTON	Departamento de nacimiento	I	0-99	-	-
14.9	-	P28B3MPION	Municipio de nacimiento	I	0-999	-	-
14.10	-	P28B4PAISN	País de nacimiento	I	0-999	-	-
14.11	-	P28B5ANOLL	Año en que llegó al país	I	0-9999	-	-
14.12	-	P29B1RESMA	Lugar residía la mamá al nacer	I	0-9	-	-
14.13	-	P29B0DPMPM	Depto_Mpio residia la mamá al nacer	I	0-99999	-	-
14.14	-	P29B2DPTOM	Departamento residía la mamá al nacer	I	0-99	-	-
14.15	-	P29B3MPIOM	Municipio residia la mamá al nacer	I	0-999	-	-

#	Nombre de entidad	Nombre de variable	Rótulo	Tipo	Rango	Alias	Grupo
14.1 6	-	P29B4PAISM	País donde vivía la mamá	I	0-999	-	-
14.1 7	-	P30B1VIVIA	Lugar donde vivía hace 5 años	I	0-9	-	-
14.1 8	-	P30B0DPMP5	Dpto_ mpio donde vivía hace 5 años	I	0-99999	-	-
14.1 9	-	P30B2DPTO5	Departamento donde vivía hace 5 años	I	0-99	-	-
14.2 0	-	P30B3MPIO5	Municipio donde vivía hace 5 años	I	0-999	-	-
14.2 1	-	P30B4PAIS5	País donde vivía hace 5 años	I	0-999	-	-
14.2 2	-	P30B5ANOLL	Año en que llegó al país hace 5 años	I	0-9999	-	-
14.2 3	-	P31BCLASE5	Clase dentro del municipio	I	0-9	-	-
14.2 4	-	P32B1CAMBI	Cambio de lugar últimos 5 años	I	0-9	-	-
14.2 5	-	P32B2ANOUL	Año del último cambio	I	2000-2010	-	-
14.2 6	-	P32B3LUGUL	En donde vivía antes	I	0-9	-	-
14.2 7	-	P32B0DPMPU	Dpto_ mpio del ultimo cambio	I	0-99999	-	-
14.2 8	-	P32B4DPTOU	Departamento del último cambio	I	0-101	-	-
14.2 9	-	P32B5MPIOU	Municipio del último cambio	I	0-999	-	-
14.3 0	-	P32B6CLASE	Clase dentro del Municipio	I	0-9	-	-
14.3 1	-	P32B7PAISU	País del último cambio	I	0-999	-	-



#	Nombre de entidad	Nombre de variable	Rótulo	Tipo	Rango	Alias	Grupo
14.3 2	-	P32B8CAUSA	Causa del cambio del lugar residencia	I	0-9	-	-
14.3 3	-	P33B1ETNIA	Pertenencia Étnica	I	0-9	-	-
14.3 4	-	P33B2CODET	Código del pueblo indígena	I	0-999	-	-
14.3 5	-	P34BHABLAL	Habla la lengua de su pueblo	I	0-9	-	-
14.3 6	-	P35B1AYUNO	Tuvo días de ayuno	I	0-9	-	-
14.3 7	-	P35B2DIASA	Días de ayuno en la última semana	I	0-9	-	-
14.3 8	-	P39BSINLIM	Sin Ninguna Limitación	I	0-999999999	-	-
14.3 9	-	P39B1CAMIN	Limitación para caminar	I	0-9	-	-
14.4 0	-	P39B2BRAZO	Limitación para usar brazos o manos	I	0-9	-	-
14.4 1	-	P39B3VER	Limitación para ver	I	0-9	-	-
14.4 2	-	P39B4OIR	Limitación para oír	I	0-9	-	-
14.4 3	-	P39B5HABLA	Limitación para hablar	I	0-9	-	-
14.4 4	-	P39B6APREN	Limitación para aprender	I	0-9	-	-
14.4 5	-	P39B7MENTA	Limitación para socializar	I	0-9	-	-
14.4 6	-	P39B8INDEP	Limitación para bañarse por si mismo	I	0-9	-	-

#	Nombre de entidad	Nombre de variable	Rótulo	Tipo	Rango	Alias	Grupo
14.47	-	P39B9OTRAL	Otro tipo de limitación	I	0-9	-	-
14.48	-	P41B1ALFAB	Sabe leer y escribir	I	0-9	-	-
14.49	-	P42B1ASIST	Asistencia a alguna inst. educativa	I	0-9	-	-
14.50	-	P42B2TIPES	Tipo de institución educativa	I	0-9	-	-
14.51	-	P44B1TIPES	Tipo de estudios que cursó	I	0-99	-	-
14.52	-	P44B2ULTAN	Último año aprobado	I	0-9	-	-
14.53	-	P47BOCUPAC	Clase de trabajo que realizó última semana	I	0-9	-	-
14.54	-	P53BESTCIV	Estado conyugal de la persona	I	0-9	-	-
14.55	-	P55B1HNV	Tuvo hijos nacidos vivos	I	0-9	-	-
14.56	-	P55B2THNV	Número de hijos nacidos vivos	I	0-99	-	-
14.57	-	P55B3HNVH	Número de hombres nacidos vivos	I	0-99	-	-
14.58	-	P55B4HNVM	Número de mujeres nacidas vivas	I	0-99	-	-
14.59	-	P56B1THSV	Número de hijos vivos a la fecha	I	0-99	-	-
14.60	-	P56B2HSVH	Número de hombres vivos actualmente	I	0-99	-	-
14.61	-	P56B3HSVM	Número de mujeres vivas actualmente	I	0-99	-	-

#	Nombre de entidad	Nombre de variable	Rótulo	Tipo	Rango	Alias	Grupo
14.6 2	-	P56B4NOSAB	No sabe si tiene hijos vivos hoy	I	0-9	-	-
14.6 3	-	P57B1ANOUH	Año del último hijo nacido vivo	I	0-9	-	-
14.6 4	-	P57B2MESUH	Mes del último hijo nacido vivo	I	0-99	-	-
14.6 5	-	NROUPZP	Nro de UPZ Personas Hogar	I	0-999	-	-
14.6 6	-	EDDECE	Edad en grupos decenales	I	0-9	-	General
14.6 7	-	EDQUINQ	Edad en grupos quinquenales	I	0-17	-	General
14.6 8	-	EDADFECU	Grupo Edades Fecundidad	I	1-14	-	-
14.6 9	-	EDVOTAR	Edad para Personas de 18 Años y más	I	1-2	-	General
14.7 0	-	CONTLIM	Tiene Alguna Limitación	I	1-2	-	Limitación
14.7 1	-	TOTAL_PERH	Total de Personas en Hogares Particulares	I	1-1	-	-
14.7 2	-	TOTAL_PERL	Total de Personas LEA	I	1-1	-	-
14.7 3	-	TOTAL_PER	Total de Personas	I	1-1	-	-
14.7 4	-	NIVEL_ANO	Nivel y años aprobados	I	1-99	-	-
14.7 5	-	TIPO_ESTUD	Tipo de estudios que cursó	I	1-99	-	-
15	FALLECID	-	Persona Fallecida	-	-	-	-
15.1	-	F24B1NROOR	Número orden persona fallecida	I	0-99	-	-
15.2	-	F24B2SEXO	Sexo Fallecido	I	0-9	-	-

#	Nombre de entidad	Nombre de variable	Rótulo	Tipo	Rango	Alias	Grupo
15.3	-	F24B3EDAD	Edad al fallecer	I	0-115	-	-
15.4	-	F24B4CERTD	Certificado de defunción	I	0-9	-	-
15.5	-	NROUPZF	Nro de UPZ Fallecidos	I	0-999	-	-
15.6	-	TOTAL_PERF	Total de Personas Fallecidas, basado en Sexo	I	1-1	-	-
16	UND_ECON	-	Unidad Económica	-	-	-	-
16.1	-	E05ATIPUEC	Tipo unidad económica	I	0-9	-	-
16.2	-	E05BTIPUAU	Tipo unidad económica auxiliar	I	0-9	-	-
16.3	-	E06ACTECON	Tipo actividad económica	I	0-101	-	-
16.4	-	E07TIPBIEN	Tipo bienes	I	0-9	-	-
16.5	-	E08TIPLIE	Tipo clientes	I	0-9	-	-
16.6	-	E09ESTMERC	Estado mercancías que vende	I	0-9	-	-
16.7	-	E10ACODMER	Grupo mercancías que vende	I	0-99	-	-
16.8	-	E11TIPNEGO	Tipo negocio UE	I	0-99	-	-
16.9	-	E12TIPSERV	Tipo servicio ofrece UE	I	0-9	-	-
16.10	-	E13ACODSER	Código grupo servicio que presta UE	I	0-9999	-	-
16.11	-	E14ACODPRO	Código producto que fabrica	I	0-999999	-	-
16.12	-	E15TOTPERS	Promedio de personas trabajaron último mes	I	0-10001	-	-

#	Nombre de entidad	Nombre de variable	Rótulo	Tipo	Rango	Alias	Grupo
16.13	-	E16CIIURV3	Código CIU Rev.3 / 4 Digitos	I	0-9999	-	-
16.14	-	CIIU2DIG	Código CIU Rev.3 / 2 Digitos	I	0-99	-	-
16.15	-	E17ACTECON	Actividad Económica (Industria-Comercio_Servicios)	I	0-9	-	-
16.16	-	NROUPZE	Nro de UPZ UE	I	0-999	-	-
16.17	-	TOTUE_VIV	Total Unidades Económicas Asociadas a Vivienda	I	1-1	-	-
16.18	-	TOTUE_IND	Total Unidades Económicas Independientes	I	1-1	-	-
16.19	-	TOTUE_LEA	Total Unidades Económicas Asociadas a LEA	I	1-1	-	-
16.20	-	TOTAL_UE	Total Unidades Económicas	I	1-1	-	-
17	UND_AGR O	-	Unidad Agro-Pecuaria	-	-	-	-
17.1	-	A02B1AREA	Area UA - Hectareas	R	0-9999999999	-	-
17.2	-	A03CULTIVO	Cultivos agrícolas	I	0-9	-	-
17.3	-	A04ABOSQUE	Bosques plantados	I	0-9	-	-
17.4	-	A04C1AREAB	Area Bosques plantados Has.	R	0-9999999999	-	-
17.5	-	A04DPASTOS	Forrajes o pastos	I	0-9	-	-



#	Nombre de entidad	Nombre de variable	Rótulo	Tipo	Rango	Alias	Grupo
17.6	-	A04F1AREAP	Area pastos - hectareas	R	0-99999999	-	-
17.7	-	A04GMALEZA	Malezas o rastrojos	I	0-9	-	-
17.8	-	A04I1AREAM	Area malezas o rastrojos - Has	R	0-99999999	-	-
17.9	-	A06ACULPEC	Cultivo peces	I	0-9	-	-
17.10	-	A06C1AREAP	Area del cultivo de peces - Has	R	0-99999999	-	-
17.11	-	A06DCULCAM	Cultivo camarones	I	0-9	-	-
17.12	-	A06F1AREAC	Area cultivo camarones - Has	R	0-99999999	-	-
17.13	-	A07EXISTE	Existe Actividad Agropecuaria ?	I	0-9	-	-
17.14	-	NROUPZA	Nro de UPZ UA	I	0-999	-	-
17.15	-	TOTUA_VIV	Total Viviendas con Actividad Agropecuaria	I	0-1	-	-
17.16	-	TOTUA_LEA	Total LEA con Actividad Agropecuaria	I	0-1	-	-
17.17	-	TOTAL_UA	Total Unidades Censales con Actividad Agropecuaria	I	0-1	-	-
17.18	-	C02B1AREA	Area UA - Hectareas	R	0-999999	-	-
17.19	-	C02BAREA	Area UA	R	0-99999999	-	-

#	Nombre de entidad	Nombre de variable	Rótulo	Tipo	Rango	Alias	Grupo
17.20	-	C06C1AREAP	Area del cultivo de peces - Has	R	0-999999	-	-
17.21	-	C06CAREAPE	Area del cultivo de peces	R	0-99999999	-	-
17.22	-	C06F1AREAC	Area cultivo camarones - Has	R	0-999999	-	-
17.23	-	C06FAREACA	Area cultivo camarones	R	0-99999999	-	-
18	CULTIVOS	-	Cultivos	-	-	-	-
18.1	-	C03ANROCUL	Numero orden cultivo	I	0-99	-	-
18.2	-	C03BCODCUL	Código cultivo agrícola	I	0-9999	-	-
18.3	-	NROUPZC	Nro de UPZ Cultivos	I	0-999	-	-
18.4	-	TOTCUL_VIV	Total Cultivos asociados a Viviendas con Actividad Agropecuaria	I	1-18	-	-
18.5	-	TOTCUL_LEA	Total Cultivos asociados a LEA con Actividad Agropecuaria	I	1-18	-	-
18.6	-	TOTAL_CUL	Total Cultivos asociados a Unidades Censales con Actividad Agropecuaria	I	1-18	-	-
18.7	-	D03D1AREA1	Area Sembrada 1er semestre - Has	R	0-999999	-	-
18.8	-	D03E1AREA2	Area Sembrada 2do semestre - Has	R	0-999999	-	-
18.9	-	D03F1AREAE	Area cultivo agrícola dia entrevista - Has	R	0-999999	-	-

#	Nombre de entidad	Nombre de variable	Rótulo	Tipo	Rango	Alias	Grupo
18.10	-	TIPOCULT	Tipos de Cultivo	I	0-5	-	Cultivos
18.11	-	D03D1ARE1S	Area Sembrada 1 Semestre - Rangos	I	1-11	-	-
18.12	-	D03E1ARE2S	Area Sembrada 2 Semestre - Rangos	I	1-11	-	-
18.13	-	D03F1ARENT	Area Sembrada día Entrevista - Rangos	I	1-11	-	-
19	AREAS	-	Bosques, Forrajes y Malezas	-	-	-	-
19.1	-	A01CLASE	Clase de cobertura	I	0-9	-	-
19.2	-	A02EXISTEN	Existem o no	I	0-9	-	-
19.3	-	C05HECTARE	Area en hectareas	R	0-999999	-	-
20	PECUARIA	-	Actividad Pecuaria	-	-	-	-
20.1	-	C01CLASE	Clase de Cobertura	I	0-9	-	-
20.2	-	C02EXISTEN	Existen o no	I	0-9	-	-
20.3	-	C03CANTIDA	Cantidad Total	I	0-999999	-	-
21	MIGRINT	-	Migración Internacional	-	-	-	-
21.1	-	M01PAIS	Pais de Migración	I	0-99	-	-
21.2	-	M02ANIO	Año de Migración	I	0-9	-	-
21.3	-	M03PERSONA	Personas Migrantes	I	0-99	-	-