



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



---

**Técnicas innovadoras para la evaluación  
del riesgo sísmico y su gestión en centros  
urbanos: *Acciones ex ante y ex post***

**TESIS DOCTORAL**

Presentada por

**Martha Liliana Carreño Tibaduiza**

Dirigida por

**Omar D. Cardona A.**

**Alex H. Barbat B.**

---



*A la memoria de mi padre*



## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a los directores de esta tesis, los Profesores Alex H. Barbat y Omar Darío Cardona A. por su interés, dedicación y apoyo durante el desarrollo de esta investigación. Su guía, consejos y aportes han sido de gran importancia durante estos años.

También al Profesor Lluís Pujades por su disponibilidad, orientación y ayuda durante todo este periodo. A Nieves Lantada por facilitarme información sobre el riesgo en la ciudad de Barcelona y guiarme en el mundo del uso del ArcView. A Janira Irizarry, por compartir conmigo información de Barcelona.

A Anita Campos por su guía en el mundo de la evaluación de daños en edificios y por compartir conmigo su experiencia, que permitió que el trabajo llegara a ser adoptado en Manizales y Bogotá, Colombia, con el aval de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

A Ferruccio Ferrigni por su amistad y apoyo, y por permitirme presentar mi trabajo durante los últimos 6 años en el Centro Universitario Europeo per I Beni Culturali en Ravello, Italia.

Núria Gasulla, Subdirectora General de Prevención y Evaluación de la Dirección General de Emergencias y Seguridad Civil del Departamento de Interior de la Generalitat de Catalunya, le agradezco por el apoyo dado a los proyectos en los que estuve involucrada y por su interés en el tema.

A los investigadores del Instituto de Estudios Ambientales, en Manizales, y el Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos, en Bogotá, por facilitarme información y permitirme contribuir con este trabajo a los trabajos realizados para el Banco Interamericano de Desarrollo.

Agradezco a mis Padres por su cariño, su apoyo, la confianza que depositaron en mí y por siempre motivarme para salir adelante con cada proyecto. A Herbert por quererme, comprenderme y acompañarme tanto en los buenos y felices, como en los muy malos y tristes momentos.

También agradezco a mis Compañeros del 111 por su amistad, apoyo y confianza, y por hacer amenas las largas horas de trabajo. A Sergio por sus largas reflexiones sobre nuestro futuro. A Dorian por sus recorridos gastronómicos imaginarios. A Gerardo por su picante buen humor siempre presente. A Carlos por su sinceridad y transparencia. A Mabel por que por fin somos dos. Y a Guillermo por su siempre buena disposición.

A Lucho, Camilo, Agni, Cristina, Yibeth, Nayeth, Sergio, Libardo y Matias por su amistad y apoyo en la distancia. A Mechitas por su amistad y apoyo logístico durante los últimos años.

Esta tesis tuvo apoyo de los siguientes proyectos de investigación:

- *Desarrollo y aplicación de procedimientos avanzados para la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo sísmico de estructuras, EVASIS (REN2002-03365/RIES)* del Ministerio de Educación y Ciencia de España
- *El Programa de Información e Indicadores de Gestión de Riesgos para América Latina y el Caribe* del Banco Interamericano de Desarrollo, BID, (Operación ATN/JF-7907-RG)
- *Expert System for Post Earthquake Building Damage Evaluation and Massive Risk Occupancy*, apoyado por el programa de ayudas académicas del ProVention Consortium y el Banco Mundial
- *Preparación para la Evaluación de Edificaciones Afectadas por Sismo - Desarrollo del Sistema EDE para Bogotá y Manizales*, de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica
- *Disaster Risk Reduction of Megacities and Complex Urban Metropolises* desarrollado por la organización Earthquake and Megacities Initiatives, INC. (EMI) que aplica metodologías desarrolladas en esta tesis en Metro Manila, Las Filipinas, con apoyo del ProVention Consortium y UNDP/BCPR

A las personas involucradas en la realización de estos proyectos y programas que han tenido a bien confiar en las contribuciones de esta tesis se les agradece su apoyo y respaldo.

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Motivación de la investigación

La gestión de riesgos puede entenderse como el conjunto de elementos, medidas y herramientas dirigidas a la intervención de la amenaza o la vulnerabilidad, con el fin de mitigar los riesgos existentes. Este concepto de prevención ha jugado un papel delimitador respecto a otro conjunto de elementos, medidas y herramientas cuyo objetivo ha sido intervenir principalmente ante la ocurrencia misma de un desastre, es decir, que conforman el campo de los preparativos para la atención de emergencias, la respuesta y la reconstrucción una vez ocurrido un suceso. La gestión de riesgos, tiene como objetivo articular estos tipos de intervenciones, dándole un papel principal a la prevención-mitigación, sin abandonar la intervención sobre el desastre, la cual se vincula al desarrollo de las políticas preventivas que, a largo plazo, conduzcan a disminuir de manera significativa las necesidades de intervenir sobre los desastres ya ocurridos.

Para explicar mejor las razones que motivaron la realización de esta tesis es necesario aclarar los conceptos de acciones *ex ante* y *ex post*. La visión moderna de la gestión del riesgo colectivo promueve que la gestión se lleve a cabo a través de Sistemas Nacionales para la Gestión de Riesgos constituidos por un amplio número de instituciones que, de acuerdo con el ámbito de su competencia a nivel nacional, regional y local, lleven a cabo actividades denominadas, por algunos, medidas estructurales y no estructurales. Dichas medidas corresponden a una diversidad de acciones que, según algunos autores, se pueden asociar a un continuo de etapas de carácter administrativo o a una secuencia cíclica que se repite entre desastres, antes y después de su ocurrencia. Esta secuencia la constituyen la prevención, la mitigación, la preparación, la alerta, la respuesta, la rehabilitación y la reconstrucción. Este enfoque, en general, se ha aceptado para efectos de capacitación y ha sido denominada el ciclo de los desastres desde la primera vez que fue planteado de esta forma en la Universidad de Wisconsin. Vista de esta forma, la gestión de riesgos incluye un amplio espectro de actividades como la formulación y ejecución de programas, planes y proyectos relacionados con cada

una de las fases antes mencionadas y que se deben realizar de la forma más adecuada y eficiente posible.

Se reconocen, en general, como medidas de reducción del riesgo las acciones *ex ante*, es decir aquellas que se realizan con anterioridad a la ocurrencia de desastres, con el fin de evitar que dichos desastres se presenten y/o para disminuir sus efectos. Los términos prevención y mitigación se han utilizado para referirse a las actividades que pretenden reducir los factores de amenaza y vulnerabilidad en la sociedad y así reducir la posibilidad o la magnitud de futuros desastres o daños. La fase de preparación comprende actividades que promueven mejores opciones y prácticas durante la fase previa a un desastre o una vez impactada una sociedad por un evento físico determinado. Esta fase incluye el manejo de alertas o notificaciones de un peligro inminente a la población en casos de que esto sea posible.

Las acciones *ex post* corresponden a la gestión de desastres. Estas son la respuesta en caso de emergencia, la rehabilitación y la reconstrucción. La respuesta de emergencia o ayuda humanitaria pretende garantizar condiciones de seguridad y de vida para las poblaciones afectadas inmediatamente después de ocurrido el evento. Estas actividades pueden envolver acciones de evacuación de comunidades, de búsqueda y rescate, de asistencia y alivio a poblaciones afectadas y acciones que se realizan durante el tiempo en que la comunidad se encuentra desorganizada y los servicios básicos de infraestructura no funcionan. El período de emergencia es dramático y traumático y por esta razón la mayor atención de los medios de comunicación y de la comunidad internacional está puesta en este período, especialmente cuando se trata de un evento mayor. En la mayoría de los desastres este período pasa muy rápido, excepto en algunos casos como la sequía, la hambruna y los conflictos civiles.

Dentro de las acciones *ex ante* se han hecho muchos estudios que han tratado el problema del riesgo parcialmente, o con enfoques específicos de alguna disciplina. Las evaluaciones de carácter técnico suelen ser vistas como ingenuas desde la perspectiva social, debido al enfoque científico limitado a aspectos técnicos que le ha dado la ingeniería a este tipo de estimaciones. Sin embargo, las metodologías de evaluación han demostrado en muchos casos su utilidad práctica. Por otra parte, los ingenieros suelen hacer críticas a los enfoques y análisis de los investigadores que pertenecen al campo de las ciencias sociales, debido a que sus planteamientos son básicamente opiniones críticas y, en muchos casos, tan amplios que no se concretan en soluciones o medidas prácticas que orienten la gestión preventiva. Existe una necesidad de metodologías que enfoquen la evaluación del riesgo sísmico en forma integral y multidisciplinar y que evalúen de manera conjunta el impacto directo y el impacto indirecto de un terremoto o un evento catastrófico. Tales metodologías deben tener en cuenta no solo los daños y víctimas, sino también las características, fortalezas y debilidades de la comunidad afectada y debe ser útiles para orientar la toma de decisiones en prevención y mitigación.

La evaluación de la efectividad de la gestión de riesgos es otra acción *ex ante* en la que se han realizado desarrollos insuficientes en el pasado, a pesar de su

enorme importancia. Este tema representa un desafío mayor desde el punto de vista conceptual, técnico-científico y numérico, debido a que las variables que es necesario tener en cuenta son, en su mayoría, valoraciones de carácter subjetivo y cualitativo.

Existen numerosos trabajos en el tema de las evaluaciones de habitabilidad y daño en edificios afectados por terremotos, que son acciones *ex post*, pero se ha podido comprobar después de varios terremotos que los avances realizados no han acertado con suficiente seguridad el estado de los edificios. La aplicación de las metodologías existentes a nivel mundial en el momento de la emergencia ha sido difícil y, en ocasiones, ha proporcionado resultados incorrectos. Esto se ha debido a la dispersión del daño en zonas geográficas amplias, lo que ha requerido la vinculación de profesionales voluntarios e inexpertos en la tarea de evaluación de daños.

Esta tesis está enmarcada en estos conceptos: evaluación integral del riesgo, evaluación de la efectividad de la gestión y evaluación del daño. Parte de la observación de que existe una necesidad de estudiar el problema del riesgo sísmico de una forma integral para efectos de lograr realmente efectividad en su gestión.

## 1.2 Objetivos de la tesis

De acuerdo con las observaciones y planteamientos descritos anteriormente, los objetivos de la presente tesis son los siguientes:

1. *Proponer un método de evaluación ex ante, holística y multidisciplinar del riesgo sísmico urbano basado en indicadores.* Dicha metodología debe incluir además del riesgo físico, variables económicas, sociales y de capacidad de respuesta a una emergencia. Además debe orientar la toma de decisiones en relación con la gestión del riesgo en centros urbanos, identificando zonas especialmente problemáticas.
2. *Proponer un método de evaluación del desempeño y la efectividad de la gestión de riesgos a nivel nacional, subnacional y local.* El método debe ser capaz de valorar el nivel de desempeño del país en gestión de riesgos, teniendo en cuenta su organización, desarrollo y acción institucional para reducir la vulnerabilidad y las pérdidas ante los fenómenos peligrosos. El método debe ser una ayuda para prepararse para responder en caso de crisis y de recuperarse con eficiencia.
3. *Proponer un sistema para la evaluación del daño y habitabilidad de los edificios que han sido afectados por un sismo.* El método apoya el trabajo que debe ser hecho por profesionales inexpertos y previene los errores típicos que ellos cometen en estas evaluaciones, en las que la información que se maneja es altamente subjetiva y depende de la percepción del evaluador en cada caso.
4. *Aplicar los tres métodos propuestos a varias zonas sísmicas del mundo.* Los métodos se aplican al estudio de las ciudades de Bogotá (Colombia), Barcelona (España) y a varios países de América Latina.

### 1.3 Contenido de la tesis

El documento de esta tesis está comprendido por seis capítulos y seis apéndices. Tiene como punto de partida, en el Capítulo 2, una revisión del estado del arte en los tres temas que conforman el eje de esta tesis, la evaluación del riesgo sísmico *ex ante* en centros urbanos, la evaluación de la gestión del riesgo de desastre y la evaluación del riesgo *ex post* en el caso de edificios afectados por terremotos. Se hace una revisión completa de los conceptos básicos, y de los trabajos más destacados y recientes en los diferentes campos. Estos tres aspectos son fundamentales para el desarrollo de los nuevos enfoques de evaluación *ex ante* y *ex post* del riesgo sísmico, que se proponen en esta tesis, y para la evaluación del desempeño de la gestión del riesgo de desastre en su concepción más amplia.

El riesgo ha sido definido para efectos de la gestión, como las consecuencias económicas, sociales y ambientales de un fenómeno peligroso que pueden ocurrir en un periodo específico de tiempo. En el pasado, el concepto de riesgo había sido definido en forma fragmentada de acuerdo con la disciplina científica que lo estudiara. En el Capítulo 3 de esta tesis se propone una evaluación multidisciplinar que toma en cuenta no sólo el daño físico, el número y tipo de víctimas o las pérdidas económicas, si no también las condiciones relacionadas con la fragilidad social y la capacidad de hacer frente a los efectos de un fenómeno en un centro urbano. El método propuesto es una evaluación holística del riesgo, *ex ante* basada en indicadores, que tiene como objetivo orientar la toma de decisiones. Este método fue aplicado a la ciudad de Bogotá, Colombia, en el marco del Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos para América Latina y el Caribe, por el interés en su aplicación a una ciudad capital por parte del Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, y con el apoyo financiero del Banco Interamericano de Desarrollo, y (BID); Operación ATN/JF-7907-RG. Igualmente el método se utilizó para evaluar, desde una perspectiva holística, el riesgo sísmico de la ciudad de Barcelona, España.

El Capítulo 4 presenta una metodología para la evaluación de la gestión del riesgo de desastre. Se soporta conceptualmente y se formula un índice de gestión de riesgos, *DRMi*, el cual busca medir el desempeño y la efectividad de la gestión de riesgos en un territorio que puede ser un país, una región subnacional o una ciudad o parte de ella. Este índice se construye teniendo en cuenta cuatro políticas públicas que son: la identificación del riesgo, la reducción del riesgo, la gestión de desastres y la gobernabilidad y protección financiera. Utilizando esta metodología se evaluaron once países de Latino América y el Caribe. A nivel subnacional fue evaluada Colombia y a nivel local se evaluó la ciudad de Bogotá, todo en el marco del Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos para América Latina y el Caribe del Banco Interamericano de Desarrollo.

El Capítulo 5 presenta una metodología de evaluación *ex post* de daño sísmico utilizando técnicas de inteligencia computacional. Se desarrolla un sistema neuro-difuso que tiene como objetivo el apoyo de profesionales inexpertos en la evaluación del daño y habitabilidad de edificios afectados por sismos, facilitando la toma de decisiones durante la fase de respuesta a la emergencia. Este sistema ha

sido adoptado para uso oficial por las ciudades de Bogotá y Manizales, en Colombia.

Las conclusiones de esta tesis se presentan en el Capítulo 6, que identifica también futuros trabajos y líneas de investigación a partir de esta tesis.

El Apéndice A presenta un glosario de términos que han sido fruto de los diferentes proyectos a los que ha sido vinculada esta tesis. El Apéndice B presenta los conceptos básicos del Proceso Analítico Jerárquico (PAJ), el cual fue utilizado para la evaluación holística del riesgo sísmico y la evaluación de la gestión del riesgo. También se presenta cual fue su aplicación en cada caso. El Apéndice C presenta los conceptos básicos de la teoría de conjuntos difusos, utilizados en las tres metodologías propuestas, principalmente la evaluación de la gestión de riesgos y la evaluación *ex post* del riesgo sísmico. El Apéndice D presenta una revisión de la teoría básica de redes neuronales artificiales, empleadas en la evaluación *ex post* del daño y la habitabilidad de edificios afectados por un sismo. En el Apéndice E se hace una comparación entre las metodologías existentes de evaluación de habitabilidad y daños en diferentes países como Estados Unidos, Japón, Italia, México, Colombia, entre otros. Finalmente el Apéndice F presenta la información base para la evaluación *ex ante* de Bogotá y Barcelona, así como los resultados obtenidos. Este último Apéndice no fue incluido en el documento impreso, debido a su extensión, pero se encuentra en la versión digital y en el CD adjunto a este documento.



## 2 ESTADO DEL CONOCIMIENTO

Este capítulo presenta una síntesis del estado del arte sobre la concepción holística de vulnerabilidad y riesgo, sobre la gestión de riesgos y la evaluación de daños posdesastre. Estos tres aspectos son fundamentales para el desarrollo de los nuevos enfoques de evaluación *ex ante* y *ex post* del riesgo sísmico, que se proponen en esta tesis, y para la evaluación del desempeño de la gestión del riesgo de desastre en su concepción más amplia.

### 2.1 Vulnerabilidad y riesgo desde una perspectiva holística

#### 2.1.1 Riesgo físico

El riesgo, se obtiene a partir de relacionar la amenaza, o probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de una intensidad específica, con la vulnerabilidad de los elementos expuestos. Desde el punto de vista físico, el “riesgo específico” es la pérdida esperada en un período de tiempo y puede ser expresada como una proporción del valor o coste de reemplazo de los elementos en riesgo. Al igual que la amenaza, el riesgo también puede plasmarse en mapas. Estos mapas pueden ser, dependiendo de la naturaleza de la amenaza, probabilistas o deterministas. En este último caso, los mapas de riesgo representan un “escenario”, o sea la distribución espacial de los efectos potenciales que puede causar un suceso de una intensidad definida sobre un área geográfica, de acuerdo con el grado de vulnerabilidad de los elementos que componen el medio expuesto. Estos mapas no sólo son de fundamental importancia para la planificación de la intervención de la amenaza o la vulnerabilidad, sino también para la elaboración de los planes de contingencia que los organismos operativos de respuesta deben realizar durante la etapa de preparativos para emergencias. Es importante observar que un plan operativo elaborado con base en un mapa de riesgo puede ser mucho más eficiente que si se realiza sin conocer dicho escenario, dado que un mapa de riesgo permite definir procedimientos de respuesta más precisos para atender a la población en caso de desastre.

La evaluación anticipada de pérdidas y daños que pueden esperarse de sismos en el futuro ha tomado gran interés dentro de la ingeniería sísmica mundial, dada la importancia que un análisis de esta naturaleza tiene para una ciudad, una región o un país. Estimar las pérdidas potenciales que puede producir un sismo es una tarea difícil pero fundamental para estimular la toma de medidas de prevención y mitigación. Un amplio número de métodos ha sido propuesto para estimar pérdidas de futuros sismos. Sin embargo, aunque no es posible predecir actualmente con precisión cuándo y dónde va a ocurrir un sismo, cuántas víctimas y qué daños causará, es posible realizar aproximaciones y estimativos que indiquen la naturaleza y la magnitud del problema que tendrá que afrontar una ciudad o una región, razón por la cual este tipo de estudios se han convertido en ineludibles y necesarios para la planificación en zonas propensas (FEMA 1989). Los métodos para la evaluación del riesgo sísmico de centros urbanos, consideran diferentes maneras para evaluar la amenaza sísmica y utilizan matrices o funciones de vulnerabilidad empírica o teórica para diversos tipos de edificios y componentes de la infraestructura de una ciudad. En general, las técnicas propuestas para la evaluación de escenarios de riesgo se pueden clasificar en probabilistas y deterministas, dependiendo del enfoque y propósito del estudio.

Para evaluar un escenario de riesgo sísmico urbano por técnicas probabilistas o deterministas, se siguen las siguientes etapas:

- a) Evaluación de la amenaza sísmica a escala global y local
- b) Identificación de los elementos expuestos o amenazados
- c) Definición de funciones de vulnerabilidad de los elementos expuestos que relacionen el daño potencial con la amenaza sísmica
- d) Evaluación de las pérdidas específicas en cada elemento expuesto y determinación de su factor de participación en el efecto total de los bienes existentes
- e) Evaluación del riesgo sísmico total para la región considerada en un período o tiempo de exposición

Los elementos expuestos son el contexto social, material y ambiental representado por las personas y por los recursos y servicios que pueden verse afectados con la ocurrencia de un evento. Corresponden a las actividades humanas, todos los sistemas realizados por el hombre tales como edificios, líneas vitales o infraestructura, centros de producción, servicios, la gente que los utiliza y el medio ambiente. En general, dada la participación de los edificios y de la infraestructura de líneas vitales en la conformación de los escenarios urbanos, ha sido común que las metodologías solamente consideren para la estimación del riesgo sísmico físico el inventario de edificios y las redes de líneas vitales.

Usualmente, los estudios probabilistas se utilizan para la estimación de pérdidas económicas acumuladas o para el cálculo de la pérdida máxima probable (PML en Inglés) y la pérdida anual esperada desde la perspectiva de los seguros. Estos métodos parten de un manejo probabilista de la amenaza sísmica, al igual

como se estiman los sismos de diseño para la aplicación de códigos o normas sismorresistentes, e incluso en algunos casos la vulnerabilidad de los edificios también se trata como una variable probabilista, debido a la dispersión que esta variable también puede presentar.

En general, en el enfoque utilizado en los métodos probabilistas la amenaza sísmica  $H$  está definida como una probabilidad de que la intensidad sísmica  $I$  sea excedida en un período de  $T$  años. Bajo el término de intensidad se puede definir, como una medida del fenómeno, cualquier parámetro cualitativo o cuantitativo relacionado con la magnitud  $M$  de los sucesos, tales como la intensidad de la escala modificada de Mercalli, la aceleración pico del suelo, la respuesta espectral, etc. Para un sitio determinado la amenaza es una función de la sismicidad o probabilidad de ocurrencia  $p(M)$  y de la atenuación o pérdida de la energía sísmica con la distancia  $p(I/M)$

Ha sido común que el riesgo sea valorado solamente en términos físicos, dado que la vulnerabilidad social es difícil de evaluar en términos cuantitativos. Esto no significa que no sea factible analizar la vulnerabilidad en forma relativa o mediante indicadores, lo que permite proponer “riesgos relativos” que igualmente permiten la toma de decisiones y la definición de prioridades de prevención y mitigación.

Ahora bien, una vez valorado el riesgo y teniendo en cuenta que no es posible reducirlo en su totalidad, para efectos de planificación, protección y diseño de obras de infraestructura ha sido común que se defina un nivel de “riesgo aceptable”. El riesgo aceptable, en general, son las posibles consecuencias sociales, económicas y ambientales que, implícita o explícitamente, una sociedad o un segmento de la misma asume o tolera, por considerar que son poco factibles y, usualmente, a cambio de un beneficio inmediato. Desde el punto de vista técnico, corresponde a un valor de probabilidad de unas consecuencias dentro de un período de tiempo, que se considera admisible para determinar las mínimas exigencias o requisitos con fines de protección y planificación ante posibles fenómenos peligrosos.

Algunos autores distinguen entre riesgo “aceptable” y “tolerable”, indicando que un riesgo que es tolerable podría no ser aceptable. Un riesgo puede ser tolerable cuando el beneficio de convivir con dicho riesgo parece que excede el perjuicio que representa o porque existe la confianza de que puede ser controlado apropiadamente. Tolerar un riesgo no significa que este sea despreciable o que se pueda ignorar, sino más bien que es una situación que se debe revisar y se debe reducir en la medida de las posibilidades. Para evitar confusiones en la terminología, en general, se asume que la definición de riesgo aceptable incluye la definición de riesgo tolerable, es decir, que un riesgo aceptable también es tolerable. Es importante subrayar que una evaluación o evaluación del riesgo tiene implícito que el análisis del mismo se realiza teniendo como referente un criterio de aceptabilidad, es decir, tiene implícito que el análisis se realiza cotejando sus resultados con respecto a un valor predefinido (esto significa que el nivel de riesgo es un concepto normativo). En definitiva, un análisis de riesgo se realiza solamente si se percibe que existe la necesidad de hacerlo. La evaluación y seguimiento del

riesgo es un paso ineludible para su reconocimiento por parte de los diversos actores sociales y los órganos de decisión responsables de la gestión. Es decir, es necesario hacer manifiesto el riesgo, socializarlo e identificar sus causas. En consecuencia, dicha evaluación y seguimiento debe realizarse utilizando herramientas apropiadas e idóneas que faciliten la comprensión del problema y orienten la toma de decisiones (Cardona 2005a/b).

### 2.1.2 Visión integral del riesgo

En los últimos años, desde la perspectiva de los desastres naturales, el riesgo se ha intentado dimensionar, para efectos de su gestión, como las posibles consecuencias económicas, sociales y ambientales que pueden ocurrir en un lugar y en un tiempo determinado. Sin embargo, el riesgo no ha sido analizado de forma integral sino de manera fragmentada, de acuerdo con el enfoque de cada disciplina involucrada en su valoración. Para evaluar el riesgo de acuerdo con su definición es necesario tener en cuenta, desde un punto de vista multidisciplinar, no solamente el daño físico esperado, las víctimas o pérdidas económicas equivalentes, sino también factores sociales, organizacionales e institucionales, relacionados con el desarrollo de las comunidades. A escala urbana, por ejemplo, la vulnerabilidad como factor interno de riesgo, debe relacionarse no solamente con la exposición del contexto material o la susceptibilidad física de los elementos expuestos, sino también con las fragilidades sociales y la falta de resiliencia de la comunidad propensa, es decir, con su capacidad para responder o absorber el impacto. La deficiente información, comunicación y conocimiento entre los actores sociales, la ausencia de organización institucional y comunitaria, las debilidades en la preparación para la atención de emergencias, la inestabilidad política y la falta de bienestar económico en un área geográfica contribuyen a tener un mayor riesgo. Por lo tanto, las consecuencias potenciales no sólo están relacionadas con el impacto del suceso, sino también con la capacidad para soportar el impacto y las implicaciones del mismo respecto del área geográfica considerada.

El riesgo desde un punto de vista holístico o integral tiene en cuenta la ausencia de desarrollo económico y social, debilidades para absorber el impacto, deficiencias en la gestión institucional y falta de capacidad para la respuesta en caso de emergencia. Este riesgo intenta reflejar de la manera más adecuada posible las condiciones de deterioro social. En términos relativos, un área que experimenta un alto deterioro social es más vulnerable y por lo tanto está en mayor riesgo. La falta de resiliencia, definida como el inverso de la capacidad económica, social e institucional representa la debilidad para absorber el impacto de una crisis, la falta de capacidad para responder en caso de emergencia y las deficiencias en la gestión institucional.

La vulnerabilidad, puede tener varias dimensiones dependiendo del aspecto que se esté teniendo en cuenta para su análisis (Cardona 2001). Wilches-Chaux (1989) propuso el concepto de vulnerabilidad global para integrar los diferentes aspectos que caracterizan la vulnerabilidad desde varias perspectivas. Dichas dimensiones de la vulnerabilidad son: física, económica, social, educativa, política, institucional, cultural, ambiental e ideológica.

Si bien es cierto que algunas circunstancias sociales pueden considerarse como aspectos asociados con la vulnerabilidad desde la perspectiva de los desastres, no siempre dichos aspectos pueden considerarse como la vulnerabilidad misma. Un ejemplo es el caso de la pobreza, la cual puede considerarse como un factor o como una causa de la vulnerabilidad ante cierto tipo de sucesos. Sin embargo, la pobreza en sí misma no es sinónimo de vulnerabilidad. Por esta razón, es necesario estudiar detenidamente los factores que hacen que las poblaciones sean vulnerables a los fenómenos que caracterizan a las amenazas. Sin duda, muchos desastres actualmente son el producto de factores económicos y políticos, muchas veces exacerbados por presiones que concentran población en áreas de peligro. En la mayoría de los casos, la reducción de la vulnerabilidad está ligada de manera indisoluble a la intervención de las necesidades básicas de desarrollo prevaletes, razón por la cual se puede afirmar que existe una relación entre las condiciones de marginalidad económica y la vulnerabilidad desde el punto de vista de los desastres.

La vulnerabilidad de los asentamientos humanos está íntimamente ligada a los procesos sociales que allí se desarrollan y está relacionada con la fragilidad, la susceptibilidad o la falta de resiliencia de los elementos expuestos ante amenazas de diferente índole. Por otra parte, la vulnerabilidad está íntimamente ligada a la degradación ambiental, no sólo urbana sino en general del entorno natural intervenido o en proceso de transformación.

Por lo tanto, la degradación del entorno, el empobrecimiento y los desastres no son otra cosa que sucesos ambientales y su materialización es el resultado de la construcción social del riesgo, mediante la gestación en unos casos de la vulnerabilidad y en otros casos de amenazas o de ambas circunstancias simultáneamente. En consecuencia, desde el punto de vista social, la vulnerabilidad refleja una carencia o déficit de desarrollo ya que el riesgo se genera y se construye socialmente. En los países en desarrollo se percibe un incremento en la vulnerabilidad ocasionado por factores como el rápido e incontrolable crecimiento urbano y el deterioro ambiental, que ocasionan la pérdida de la calidad de vida, la destrucción de los recursos naturales, del paisaje y la diversidad genética y cultural. Al respecto, Wijkman y Timberlake (1984) indican que “en numerosos países del tercer mundo la degradación ambiental, la pobreza y un rápido crecimiento demográfico pueden transformar un fenómeno natural en un desastre de gran envergadura. Los desastres son acontecimientos sociales y políticos con frecuencia evitables”. Esto conduce a pensar que es necesario cuestionar el modelo de desarrollo si dicho desarrollo exagera la vulnerabilidad, como está ocurriendo en muchos lugares. Desde esta perspectiva se formulan además dos modelos conceptuales para analizar la vulnerabilidad (Blakie *et al.* 1996). El primero examina la evolución de condiciones inseguras específicas en términos de presiones dinámicas como son la urbanización y la degradación ambiental y en términos de causas de fondo inmersas en la economía política. Esto permite revelar los hilos que conectan las condiciones inseguras que caracterizan a una determinada configuración espacial y temporal de vulnerabilidad con procesos económicos, políticos y sociales globales. El segundo modelo parte del concepto de acceso, desde una familia, comunidad o sociedad dada, a los recursos que permiten

seguridad frente a determinadas amenazas, lo que permite identificar los diferentes canales y barreras sociales, económicas, políticas, culturales, examinándose no sólo variables económicas y políticas tradicionales como acceso a la tierra y otros medios de producción, sino también variables como sexo, edad y etnia.

Analizar la vulnerabilidad dentro de los patrones más amplios de la sociedad, supone encontrar las causas de fondo o subyacentes de la vulnerabilidad desde la perspectiva de los desastres y los mecanismos o procesos dinámicos que trasladan causas de fondo a condiciones de inseguridad. Las causas de fondo de la vulnerabilidad son procesos económicos, demográficos y políticos, que afectan la asignación y distribución de recursos entre diferentes grupos de personas y reflejan la distribución del poder (Wisner 2001).

Hay algunos procesos globales a los cuales se debe prestar más atención, como el crecimiento de la población, la urbanización rápida, presiones financieras internacionales, degradación de la tierra, cambio ambiental global y guerra. Como ejemplo, la urbanización ha contribuido considerablemente a los severos daños durante ciertos terremotos urbanos: el aumento de la población es una de las razones que explica el incremento de personas afectadas como resultado de sequías e inundaciones, así como la deforestación aumenta las inundaciones y el riesgo de deslizamientos (Blakie *et al.* 1996).

En otras palabras, el riesgo depende de aspectos físicos, pero también de un impacto intangible de carácter social, económico, ambiental. Dicho impacto, a su vez depende de una serie de factores que agravan la situación –a veces llamados efectos indirectos– que dependen de situaciones sociales del contexto y de su resiliencia; expresión de vulnerabilidad no siempre es dependiente de la amenaza (Cardona 2005a/b; Carreño *et al.* 2005a).

Desde el punto de vista de la ingeniería, la vulnerabilidad se convierte en riesgo (nivel de consecuencias esperadas) cuando se define ante qué grado de amenaza se quiere establecer el potencial de consecuencias, pero la descripción de esa “condición que favorece o que facilita” que al ocurrir cualquier evento se convierta en consecuencias es una función atemporal. Al definir el nivel de intensidad probable se incluye el tiempo, dado que la probabilidad se establece para un lapso o tiempo de exposición. De esta forma se establece el riesgo, es decir el potencial de pérdida, de daño o de consecuencias en términos de probabilidad de ocurrencia en una período de tiempo determinado. Aceptando la hipótesis de que existe una alta relación entre las carencias de desarrollo y la vulnerabilidad, Cardona (2001) propone los siguientes factores de los cuales se origina la vulnerabilidad:

- a) *La exposición*, que es la condición de susceptibilidad que tiene el asentamiento humano de ser afectado por estar en el área de influencia de los fenómenos peligrosos y por su fragilidad física ante los mismos.
- b) *La fragilidad social*, que se refiere a la predisposición que surge como resultado del nivel de marginalidad y segregación social del asentamiento humano y sus condiciones de desventaja y debilidad relativa por factores socioeconómicos.

- c) *La falta de resiliencia*, que expresa las limitaciones de acceso y movilización de recursos del asentamiento humano, su incapacidad de respuesta y sus deficiencias para absorber el impacto.

Desde esta perspectiva holística, denominada así por Cardona, es necesario considerar variables de diversa índole cuyo tratamiento numérico no siempre se facilita utilizando funciones de convolución. Por esta razón, es necesario utilizar *proxies* o “representaciones”, que bien pueden ser índices o indicadores. Así, se puede afirmar que la vulnerabilidad tiene unos componentes que reflejan susceptibilidad y fragilidad física (exposición) –que tienen una dependencia de la acción o severidad del fenómeno– y otros que reflejan fragilidad social y falta de resiliencia –capacidad de recuperarse y de absorber el impacto– que no son tan dependientes o no están tan condicionados a la acción del fenómeno. Un ejemplo sería una buena organización institucional, una buena gobernabilidad, una buena cantidad de servicios de salud, una alta estabilidad económica, entre otros, que se pueden considerar factores de resiliencia. Su ausencia, o la falta de estas cualidades o capacidades se traduce en vulnerabilidad, pero en una vulnerabilidad “prevalciente”, “característica”, “inherente”, “intrínseca”, con la cual se sienten muy a gusto lo investigadores de las ciencias sociales. En resumen, existe una cierta susceptibilidad y fragilidad social y una cierta falta de resiliencia que se expresa en una vulnerabilidad prevalciente, que “agrava” el impacto directo del daño causado por la acción de un fenómeno, y la vulnerabilidad condicional o dependiente de la amenaza, que modula el daño directo en el contexto social y material (Carreño *et al.* 2005a).

Este tipo de planteamiento intenta integrar de manera holística la lectura de las ciencias físicas y las ciencias sociales, con el fin de tener una visión completa de los factores que originan o exacerban la vulnerabilidad, teniendo en cuenta los aspectos de resistencia física ante los fenómenos y los aspectos prevalcientes de autoprotección individual y colectiva (Cardona y Barbat 2000).

### **2.1.3 Enfoques integrales para la evaluación del riesgo a nivel urbano**

#### **2.1.3.1 Metodología Urban system exposure (USE)**

La metodología Urban System Exposure (USE) fue desarrollada como parte del proyecto de investigación GEMITIS (1996-1999) dirigido por Masure (Bureau de recherches géologiques et minières, BRGM). Se terminó de desarrollar y fue aplicada como parte del proyecto Risk-EU, (Masure y Lutoff 2002), a las ciudades de Barcelona, Bitola, Bucarest, Catania, Niza, Sofía y Thessaloniki.

Esta metodología busca definir una ciudad como un sistema e identificar los principales puntos para analizar el valor de los elementos expuestos. Identifica tres periodos o momentos de tiempo principales en el funcionamiento de un centro urbano después de ocurrido un suceso catastrófico y antes de retornar a su desarrollo normal, como se observa en la Figura 2.1. Estos periodos son: la crisis, la recuperación y la reconstrucción. La aplicación de la metodología se hace en cinco pasos, que son:

- Análisis de los componentes urbanos y del funcionamiento del sistema, indicadores urbanos
- Análisis de elementos en riesgo
- Análisis de los factores de vulnerabilidad, identificación de puntos débiles y deficiencias del centro urbano
- Evaluación y clasificación de los elementos en riesgo a través de un análisis de valor global
- Fase de validación con los actores locales

La metodología USE caracteriza la ciudad como un sistema de siete componentes, como se indica en la Tabla 2.1, que se refieren al contenido humano, espacio físico, sus actividades, su funcionamiento y su identidad.

#### Servicios urbanos

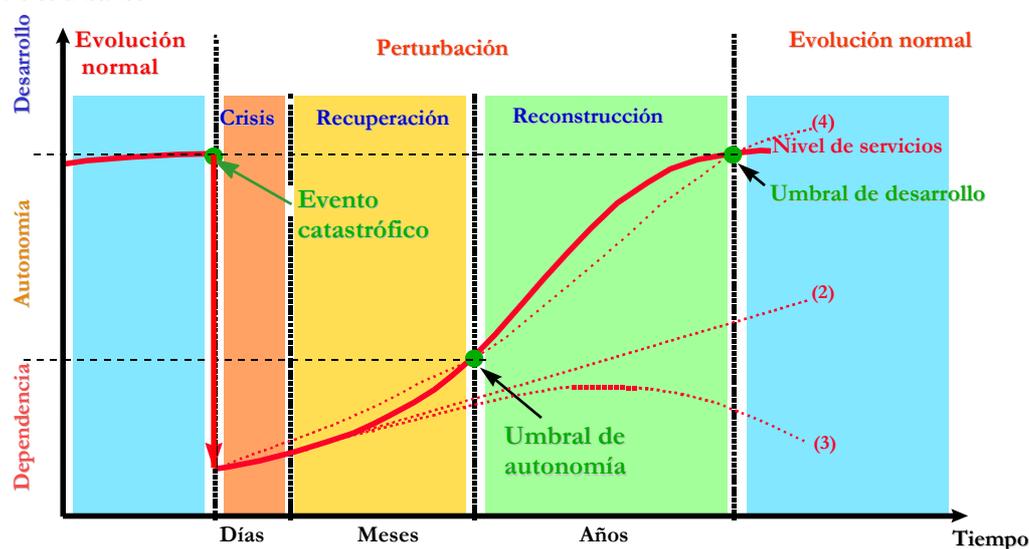


Figura 2.1. Periodos del desarrollo urbano (USE)

Tabla 2.1. Componentes de un sistema urbano para aplicación del USE

Componente	Descripción
Población	habitantes, trabajadores y visitantes
Espacio urbano	medio ambiente natural y construido, y su gestión
Funciones urbanas	sanidad, transporte, comunicaciones, servicio social y atención de emergencias
Actividades urbanas	económicas, administrativas y actividades culturales que son vulnerables a los sismos
Gobierno urbano	organización política, institucional y socioeconómica, toma de decisiones y gestión de emergencias.
Identidad y cultura	Cultura e historia (memoria de riesgos)
Imagen al exterior	Relaciones exteriores e imagen

Los indicadores de los componentes involucrados en la evaluación de los elementos en riesgo varían según el periodo (normal, crisis o recuperación) para el cual se evalúa. La Tabla 2.2 muestra los indicadores de cada componente, e indica para qué periodos usarlos. Para poder combinar los indicadores es necesario tenerlos en las mismas unidades, esto lo hace el USE definiendo para cada uno intervalos posibles y asignando a cada uno un índice o valor relativo entre 0 y 1, donde 1 significa que los elementos son considerados como esenciales para el sistema urbano y 0 indica que los elementos no son importantes. Se asigna un valor relativo para cada valor de referencia en cada periodo. El valor global para un elemento en riesgo en un periodo se obtiene sumando los valores relativos asignados a sus valores de referencia para ese período. La evaluación del valor global permite la comparación entre los diferentes elementos en riesgo en términos de su importancia para la ciudad.

**Tabla 2.2. Valores de referencia e indicadores para cada período**

Componentes	Valores de referencia	Indicadores	Períodos		
			Normal	Crisis	Recuperación
Población	Humano	Número de residentes	✖	✖	✖
		Número de trabajadores	✖	✖	✖
		Número de visitantes	✖	✖	
Espacio urbano	Financiero	Edificios-infraestructura	✖		
		Recursos naturales	✖		
Funciones	Funcional, utilidad social	Vivienda	✖		✖
		Refugios	✖		
		Suministros	✖	✖	✖
		Transporte	✖	✖	✖
		Telecomunicaciones	✖	✖	✖
		Recursos en emergencias	✖	✖	
		Mantenimiento	✖		✖
Actividades	Económico	Negocios	✖		✖
		Administración	✖		✖
		Cultura	✖		✖
Gobierno	Capacidad de decisión	Poder de decisión	✖	✖	✖
		Gestión de emergencias	✖	✖	
Identidad	Simbólico	Identidad cultural	✖		
		Relaciones exteriores	✖		✖
		Imagen	✖		

El valor global para un elemento es una representación numérica de la importancia de un elemento en riesgo dentro del sistema urbano (Irizarry 2004).

Finalmente, los elementos en riesgo se clasifican de acuerdo con los valores globales obtenidos en tres tipos:

- Puntos principales o críticos: elementos esenciales para la ciudad y cuya pérdida significaría un importante impacto para la misma.
- Puntos importantes: su pérdida no afecta el funcionamiento básico de la ciudad.

- Puntos secundarios: su pérdida puede ser considerada como de menor importancia para la ciudad.

### 2.1.3.2 Metodología SIG para el análisis de la vulnerabilidad sísmica urbana

Rashed y Weeks (2003) desarrollaron una metodología que utiliza un sistema de información geográfica (SIG) para evaluar la vulnerabilidad sísmica urbana a través de un proceso analítico espacial, que integra técnicas de análisis espacial multicriterio y lógica difusa. Este método fue aplicado a la ciudad de Los Angeles.

Para esta metodología la vulnerabilidad se propone como una característica de la comunidad urbana que puede ser valorada como la combinación de factores ecológicos y de las condiciones del espacio geográfico donde se encuentra ubicada la comunidad urbana y las condiciones sociales de la población en ese lugar.

Para ver la vulnerabilidad como un problema de búsqueda espacial se tienen en cuenta tres puntos. El primero, que aunque el proceso de daño lo inicia un sismo específico, su posterior curso depende de condiciones en y alrededor de la zona de impacto que conforman la cadena de potenciales fallas en la sociedad (ver Figura 2.2). El segundo punto tiene en cuenta que la vulnerabilidad se modifica continuamente con las acciones humanas en el tiempo y espacio. El último punto se refiere a que tener en cuenta la vulnerabilidad desde diferentes puntos de vista no desecha el hecho de que el conocimiento de las propiedades geofísicas de los sismos es esencial (Rashed y Weeks 2003).

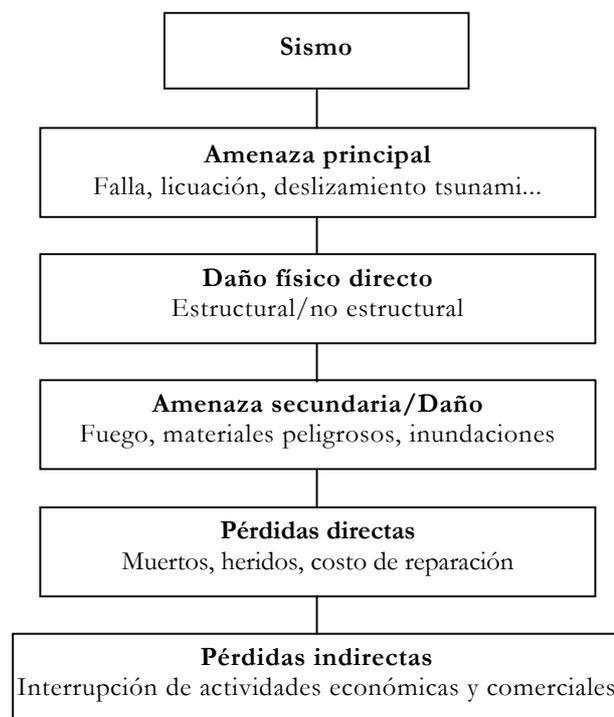


Figura 2.2. Cadena de riesgo de un terremoto (SSC 1999)

La vulnerabilidad urbana es definida en esta metodología de la siguiente forma: Dado un espacio geográfico  $\mathbf{S}$  bajo estudio (país, estado o ciudad) definido en términos de un conjunto de  $m$  de unidades espaciales más pequeñas (condados, zonas censales); esto es  $\mathbf{S} = \{i | i = 1, 2, \dots, m\}$ ; y dada una serie de escenarios sísmicos para diferentes magnitudes  $\mathbf{E}$ , originados en un conjunto de  $n$  epicentros diferentes, esto es  $\mathbf{E} = \{j | j = 1, 2, \dots, n\}$ , debido a la variabilidad espacial de la amenaza y la vulnerabilidad cada escenario sísmico  $j$  es el resultado de un estado de daño potencial en cada unidad espacial  $i$ . Este estado de daño se define como  $\mathbf{D}_j$  y es expresado en términos lingüísticos como  $\mathbf{D}_j = \{d_j | d_j \in \{Bajo_j, Medio_j, Alto_j\}\}$ . Así, la vulnerabilidad se puede plantear como una función espacial que busca en la región espacial  $\mathbf{S}$  para los  $n$  escenarios identificar el subconjunto  $\mathbf{V}_{High} \subseteq \mathbf{S}$ , que corresponde a las áreas con más alta vulnerabilidad

$$\mathbf{V}_{High} = \{i | High_j(i) > \alpha, i \in \mathbf{S}, j \in \mathbf{E}\} \quad (2.1)$$

donde  $\alpha$  es un umbral definido. Este método considera que la estimación del daño potencial tiene asociada una alta incertidumbre por la subjetividad e imprecisión de los criterios, por lo que utiliza la lógica difusa como herramienta alternativa a la lógica Booleana para la evaluación y la representación de los niveles de daño potenciales.

Este es un método iterativo, como se observa en la Figura 2.3, que combina técnicas de evaluación multi-criterio y lógica difusa. El proceso tiene siete pasos principales. El primero es la selección del criterio de evaluación que determina el alcance del análisis, estos se indican en la Tabla 2.3. El segundo paso es la generación de escenarios que muestren los efectos de los posibles sismos en el área de estudio. El tercer paso es la transformación en cada escenario en unidades comparables con un proceso de *fusificación*, que es un proceso para estandarizar los criterios de evaluación utilizando un conjunto de funciones de pertenencia para las valoraciones lingüísticas, este tema se amplía en el Apéndice C. En el cuarto paso los criterios de *fusificación* son comparados por parejas utilizando el proceso analítico jerárquico (PAJ)<sup>1</sup>, explicado en el Apéndice B, para asignarles pesos. El quinto paso es la agregación difusa utilizando los pesos del paso anterior. En el sexto paso se identifican las zonas críticas por su alta vulnerabilidad. Finalmente, el séptimo paso, corresponde a un análisis de sensibilidad.

---

<sup>1</sup> Analytical Hierarchy Process (AHP).

Tabla 2.3. Criterios de evaluación

Categoría	Criterios
Criterios para riesgo social	Porcentaje de familias que pueden pedir alojamiento temporal después de un sismo
	Costo económico total del reemplazo, reconstrucción y recuperación de edificios residenciales
Criterios para riesgo físico inducido	Área que puede ser incendiada debido a un fuego inducido
	Toneladas de escombros
Criterios para vulnerabilidad sistémica	Porcentaje de pérdida en la funcionalidad de hospitales
	Porcentaje de pérdida en la funcionalidad de servicios de policía y bomberos
	Porcentaje de pérdida en la funcionalidad del servicio de energía
	Porcentaje de pérdida en la funcionalidad de las vías
	Porcentaje de pérdida en la funcionalidad de puentes

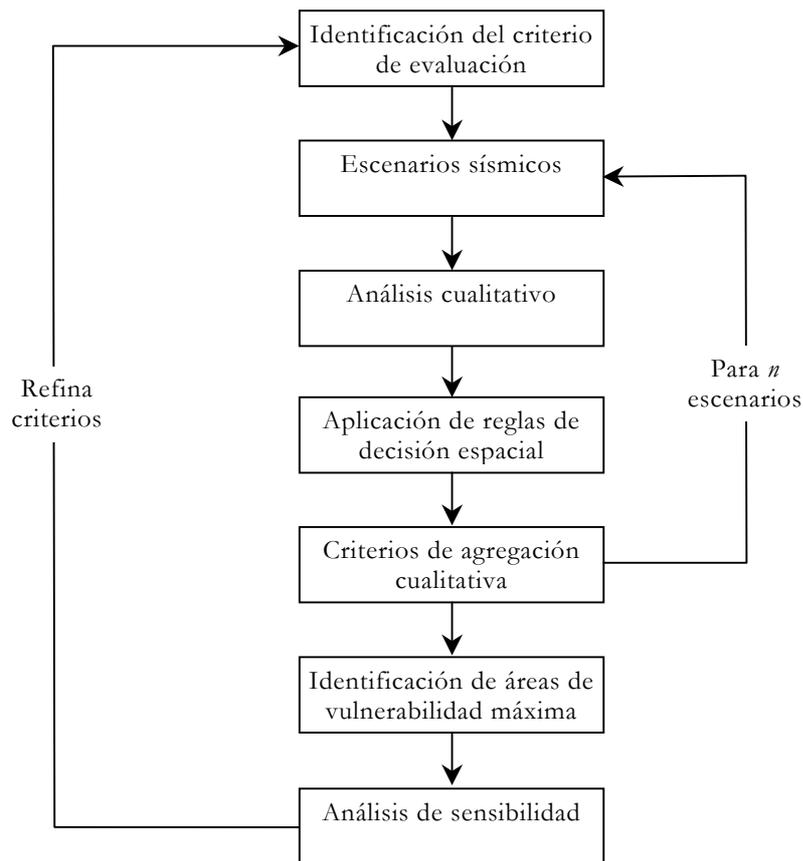
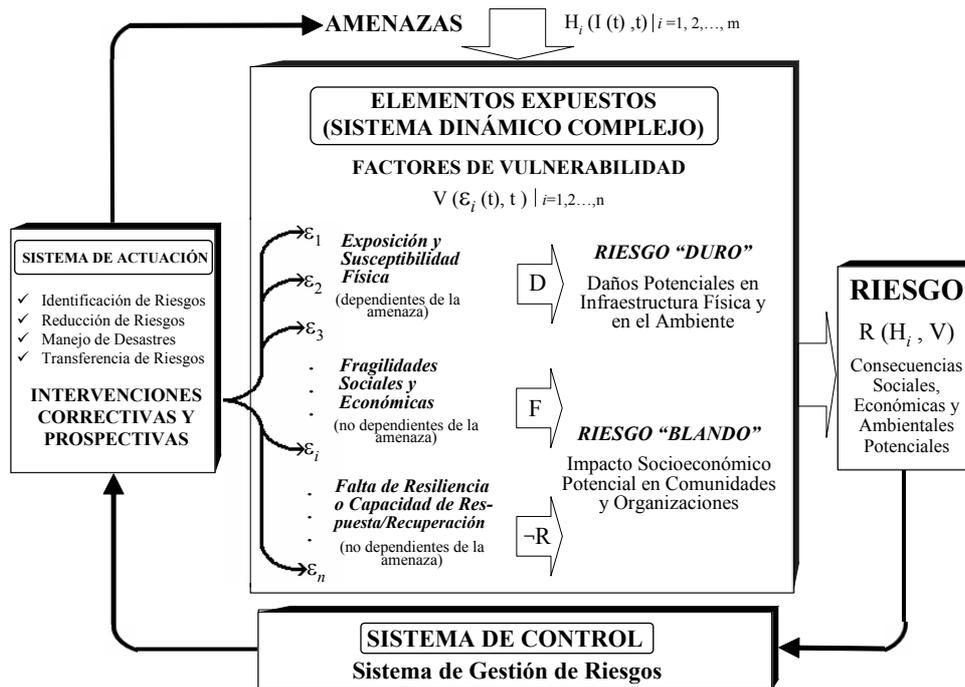


Figura 2.3. Proceso de evaluación de la vulnerabilidad (Rashed and Weeks 2003)

**2.1.3.3 Estimación holística del riesgo sísmico**

Teniendo en cuenta un marco conceptual integral, Cardona y Barbat (2000) plantearon un enfoque holístico para la evaluación del riesgo de desastre, que no sólo tiene en cuenta variables relacionadas con los efectos físicos y ambientales, sino también variables relacionadas con aspectos sociales, económicos, y de capacidad de respuesta o recuperación pos-desastre, o resiliencia, como lo ilustra la Figura 2.4.



**Figura 2.4. Marco teórico del enfoque holístico de evaluación y gestión del riesgo de desastre (Cardona y Barbat, 2000b)**

Desde esta perspectiva holística el riesgo,  $R$ , es una función de las amenazas,  $H_i$ , teniendo en cuenta las intensidades potenciales,  $I$ , de los fenómenos y de los factores,  $\epsilon_i$ , de la vulnerabilidad,  $V$ , en un período de tiempo  $t$ . El riesgo, por lo tanto, es función de los daños potenciales,  $D$ , del contexto material (riesgo duro) y de las fragilidades socioeconómicas,  $F$ , y de la falta de resiliencia,  $\neg R$ , del contexto social (riesgo blando); contextos que constituyen el sistema socio-técnico propenso a desastres. Desde el punto de vista de la teoría del control y los sistemas dinámicos complejos, para reducir el riesgo es necesario llevar a cabo intervenciones correctivas (o compensatorias sobre riesgo existente) y prospectivas (para evitar el riesgo futuro) de los factores de vulnerabilidad y, cuando es posible, intervenciones directas, de las amenazas. Por lo tanto, para la gestión del riesgo se requiere contar con un sistema de control (la estructura institucional) y un sistema de actuación (políticas públicas y acciones) que permitan implementar las

modificaciones necesarias sobre los elementos expuestos o el sistema complejo, en donde el riesgo es el resultado de un proceso social.

Para la modelización del riesgo sísmico bajo este enfoque, Cardona (2001) formula un índice de riesgo físico a partir de las estimaciones de los escenarios de daños por sismo, que son resultado de la convolución de la amenaza y la vulnerabilidad física. Por otra parte propone un índice de riesgo del contexto, a partir de la estimación de un descriptor de amenaza sísmica relativa y de su convolución con un descriptor de vulnerabilidad del contexto basado en indicadores de exposición, fragilidad social y resiliencia (Barbat 2003a/b).

Esta metodología evalúa en forma relativa las diferentes áreas o unidades que conforman un centro urbano, como distritos, localidades, alcaldías menores, o barrios que tengan alguna autonomía administrativa.

El índice de riesgo sísmico total,  $IRT_k$ , para cada unidad de análisis  $k$ , se obtiene de

$$IRT_k = IRH_k \times \delta IRH + IRS_k \times \delta IRS \quad (2.2)$$

donde  $IRH_k$  es el índice de riesgo sísmico físico (duro),  $IRS_k$  es el índice de riesgo sísmico del contexto (blando), y  $\delta IRH$  y  $\delta IRS$  son los factores de participación de cada índice en cada área de estudio. El índice de riesgo sísmico físico se calcula como la sumatoria

$$IRH_k = \sum_i XIR_i \times \delta IR_i \quad (2.3)$$

donde  $XIR_i$  es el valor de cada indicador  $i$  obtenido de los escenarios de pérdidas y  $\delta IR_i$  el factor de participación de cada indicador  $i$ , para cada área de análisis  $k$ . El índice de riesgo sísmico del contexto lo define como

$$IRS_k = \alpha((HS_k - \beta)(VS_k - \beta) + \beta) \quad (2.4)$$

donde  $HS_k$  es el descriptor de la amenaza sísmica del contexto,  $VS_k$  el descriptor de la vulnerabilidad del contexto y  $\alpha$  y  $\beta$  son “constantes de visualización” a los que se le asignan los valores de 0,8 y 4 respectivamente.<sup>2</sup>

El descriptor de amenaza sísmica del contexto es definido como

$$HS_k = \sum_i XH_i \times \delta H_i \quad (2.5)$$

donde  $XH_i$  es el valor del indicador de amenaza sísmica  $i$ , y  $\delta H_i$  el factor de participación para cada indicador  $i$ . El descriptor de vulnerabilidad del contexto lo calcula como

$$VS_k = EV_k \times \delta E + FV_k \times \delta F + RV_k \times \delta R \quad (2.6)$$

---

<sup>2</sup> Estos valores arbitrarios permiten que los resultados se puedan representar en gráficos de barras con valores siempre positivos.

donde  $EV_k$ ,  $FV_k$ , y  $RV_k$  son indicadores de exposición, fragilidad social y falta de resiliencia, y  $\delta E$ ,  $\delta F$  y  $\delta R$  son sus factores de participación para la unidad de análisis  $k$ , es decir, para cada unidad  $k$  el descriptor de vulnerabilidad se calcula como,

$$VS_k = \left( \sum_i XE_i \times \delta E_i \right) \delta E_k + \left( \sum_i XF_i \times \delta F_i \right) \delta F_k + \left( \sum_i XR_i \times \delta R_i \right) \delta R_k \quad (2.7)$$

donde  $XE_i$ ,  $XF_i$  y  $XH_i$  son los valores de los indicadores  $i$  de exposición, fragilidad social y falta de resiliencia, y  $\delta E_i$ ,  $\delta F_i$  y  $\delta R_i$  la participación de cada indicador  $i$ .

Como paso previo a la combinación lineal de los indicadores es necesario escalar sus valores brutos a valores conmensurables relativos, para lo cual se utiliza la media  $\bar{X}_i$  y la desviación estándar  $S_i$

$$X'_{ik} = \frac{X_{ik} - (\bar{X}_i - \beta S_i)}{\alpha S_i} \quad \text{ó} \quad X'_{ik} = \frac{-X_{ik} + (\bar{X}_i + \beta S_i)}{\alpha S_i} \quad (2.8)$$

donde  $X'_{ik}$  y  $X_{ik}$  son el valor escalado y el dato inicial para la localidad  $k$  y el indicador  $i$ ,  $\alpha$  y  $\beta$  son “constantes de visualización” que deben ser las mismas en todo el estudio. La ecuación cambia para el caso de los indicadores de falta de resiliencia que son inversos a la vulnerabilidad. Este proceso normaliza los indicadores expresándolos en forma relativa, es decir, que los resultados sólo pueden compararse entre ellos mismos.

Los factores de participación son calculados mediante el proceso analítico jerárquico (PAJ) explicado en el Apéndice B. La Figura 2.5 presenta el árbol de índices, descriptores e indicadores que se utilizó en esta metodología, los cuales están de acuerdo con la información disponible para la ciudad de Bogotá, Colombia, ciudad en la cual se aplicó esta metodología.

La Tabla 2.4 presenta los indicadores componentes utilizados para evaluar el riesgo sísmico físico y las unidades utilizadas para cada uno. La Tabla 2.5 presenta los correspondientes a la exposición del contexto, la Tabla 2.6 la fragilidad social, la Tabla 2.7 la falta de resiliencia y la Tabla 2.8 la amenaza sísmica.

Esta metodología es el punto de partida del método que aquí se propone y fue la primera en dimensionar el riesgo sísmico en forma holística y en términos relativos entre las localidades que componen una ciudad.

**Tabla 2.4. Indicadores componentes del riesgo sísmico físico**

Indicador	Unidades
Área destruida	% (área destruida / área construida)
Fallecidos	Número de muertos / km <sup>2</sup>
Heridos	Número de heridos / km <sup>2</sup>
Roturas red de acueducto	Número de roturas / km <sup>2</sup>
Roturas de la red de gas	Número de roturas / km <sup>2</sup>
Longitud de redes eléctricas caídas	Metros de longitud caída / km <sup>2</sup>
Centrales telefónicas afectadas	Índice de vulnerabilidad
Subestaciones eléctricas afectadas	Índice de vulnerabilidad

**Tabla 2.5. Indicadores componentes de la exposición del contexto**

Indicador	Unidades
Población	Número de habitantes
Densidad poblacional	Número de habitantes / Km <sup>2</sup> de Área construida
Área construida	Km <sup>2</sup> Área construida / Km <sup>2</sup> Área de la unidad de estudio
Área industrial	Km <sup>2</sup> Área industrial / Km <sup>2</sup> Área de la unidad de estudio
Área institucional	Km <sup>2</sup> Área institucional / Km <sup>2</sup> Área de la unidad de estudio

**Tabla 2.6. Indicadores componentes de la fragilidad social**

Indicador	Unidades
Área de barrios marginales	Km <sup>2</sup> de barrios marginales / Km <sup>2</sup> de la unidad de estudio
Tasa de mortalidad	Número de muertos cada 10,000 habitantes
Tasa de delincuencia	Número de delitos cada 1,000 habitantes
Índice de disparidad social	Índice de disparidad social

**Tabla 2.7. Indicadores componentes de la falta de resiliencia**

Índice	Unidades
Camas hospitalarias	Número de camas / Km <sup>2</sup> de la unidad de estudio
Recurso humano en salud	Número de personas / Km <sup>2</sup> Área de la unidad de estudio
Espacio público	Km <sup>2</sup> de espacio público / Km <sup>2</sup> Área de la unidad de estudio
Personal de rescate	Número de personas / Km <sup>2</sup> Área de la unidad de estudio
Nivel de desarrollo	Calificación de expertos (1-4)
Operatividad en emergencias	Calificación de expertos (0-2)

**Tabla 2.8. Indicadores componentes de la amenaza sísmica**

Índice	Unidades
Aceleración espectral en T cortos	Aceleración espectral en g
Área de suelos blandos	% (área de suelos blandos / área de la unidad de estudio)
Área con potencial de licuación	% (área con potencial / área de la unidad de estudio)
Susceptibilidad de deslizamiento	% (área de susceptible / área de la unidad de estudio)

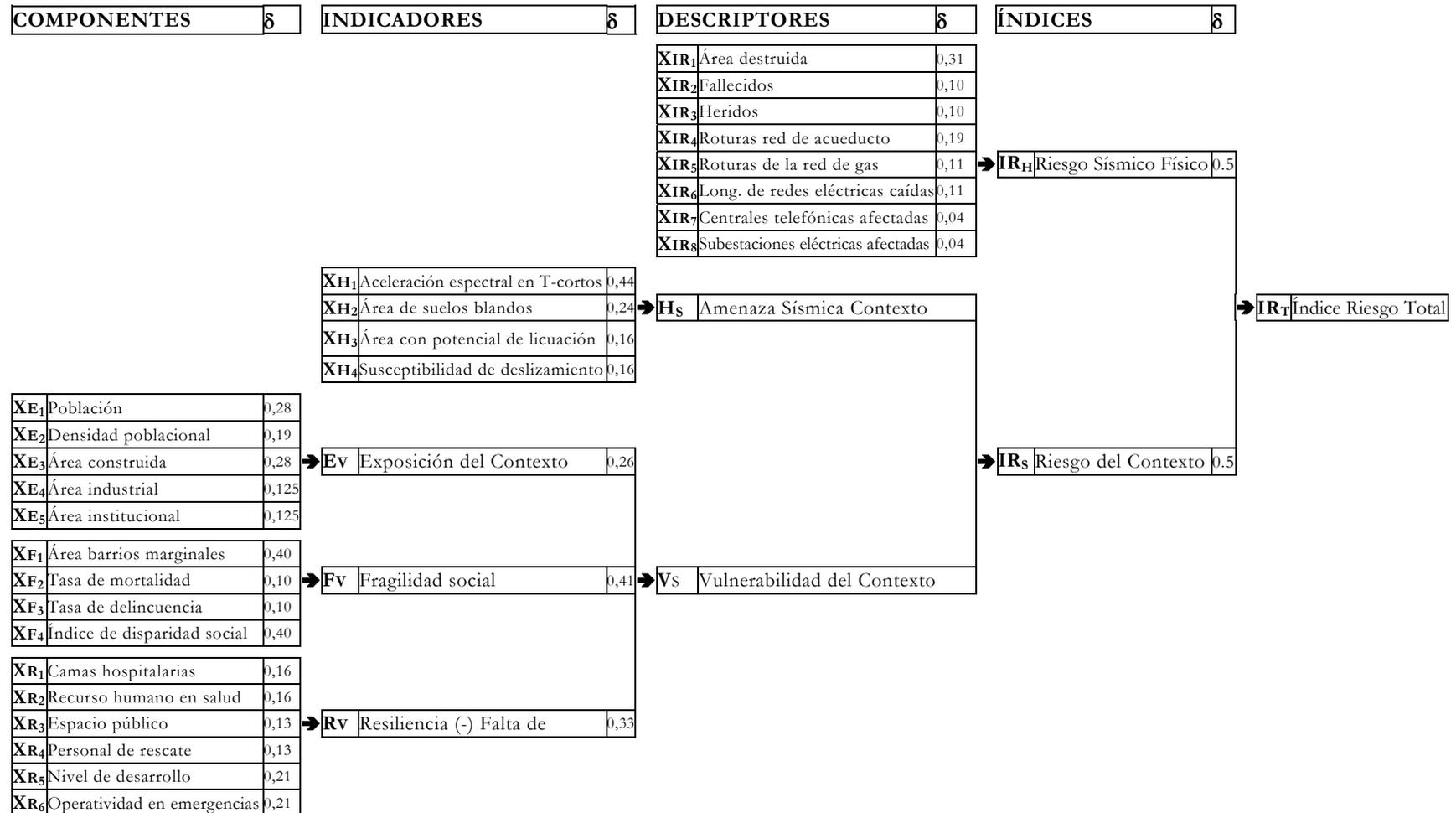


Figura 2.5. Índices de riesgo relativo y sus factores de participación

## 2.2 Gestión de riesgos

### 2.2.1 La gestión del riesgo colectivo

La situación ambiental de las ciudades está directamente relacionada con los problemas que conlleva el acelerado proceso de urbanización a través de la historia. El proceso del desarrollo y urbanización para el cual los países industrializados necesitaron muchos años se efectúa en los países en desarrollo en un lapso de tiempo mucho más corto, con características completamente diferentes. Este proceso comenzó a ser notable a partir de los años treinta y se acentuó en las décadas de los años cincuenta y sesenta, siendo su fenómeno más marcado el acelerado crecimiento demográfico y urbano generado por el proceso de industrialización a partir de la crisis mundial de los años treinta y la migración desde las zonas rurales hacia los centros urbanos. Las consecuencias del proceso en los países en desarrollo, tanto en lo social como en lo económico, son bien conocidas: desempleo, alto déficit de vivienda, carencia de servicios públicos y sociales, economía informal, violencia social, aumento de la vulnerabilidad ante fenómenos naturales y disminución de la calidad de vida.

En la evaluación de los riesgos urbanos, está claro que muchas ciudades tienen sitios propensos a desastres debido a tres razones principales. Primero, las ciudades se fundaron en lugares peligrosos porque en esa época las ventajas del sitio valían más que los riesgos. El desarrollo inicial de muchas ciudades en valles con ríos o deltas propensos a inundarse se vinculaba a la disponibilidad de agua o tierra fértil. Muchas ciudades también se establecieron en las costas o cerca de los ríos debido a la importancia económica, política y militar de los puertos y el transporte acuático. Segundo, el desarrollo de las ciudades no estaba conducido por una cultura de gestión de riesgos. La construcción de cualquier ciudad involucra modificaciones masivas del sitio natural, usualmente sin medidas que minimicen el riesgo. La explotación de los bosques y suelos para alimentos, leña y otros materiales, con frecuencia modifican el régimen de las cuencas. La exposición de los suelos para la construcción ocasiona la erosión, incrementando las cargas de sedimentos que bloquean los drenajes, levantan el fondo de los ríos y aumentan las inundaciones. La extracción de agua subterránea puede causar hundimientos e interfiere con los sistemas de drenaje, lo cual incrementa el riesgo de inundaciones. La expansión de áreas para construir incrementa los deslizamientos. A menudo, las medidas capaces de reducir todos estos riesgos se ejecutan de manera inadecuada o no se llevan a cabo. Tercero, las ciudades traspasaron lo que originalmente fueron sitios relativamente seguros. Muchas de las ciudades más grandes del mundo se fundaron siglos atrás en sitios que originalmente eran seguros y convenientes. Cuando estas ciudades eran relativamente pequeñas, no había necesidad de un desarrollo urbano en sitios peligrosos. Conforme éstas crecieron, la población no pudo ser ubicada en áreas seguras, o bien todos los sitios seguros se volvieron muy caros para los grupos de bajos ingresos.

Los términos prevención y mitigación se han utilizado para referirse a las actividades que pretenden reducir los factores de amenaza y vulnerabilidad en la

sociedad y así reducir la posibilidad o la magnitud de futuros desastres o daños en general. Los preparativos o la fase de preparación comprende actividades que promueven mejores opciones y prácticas durante la fase previa a un desastre o una vez impactada una sociedad por un evento físico determinado. La respuesta de emergencia o ayuda humanitaria pretende garantizar condiciones de seguridad y de vida para las poblaciones afectadas durante el período pos-evento. Finalmente, las actividades de rehabilitación y reconstrucción pretenden, óptimamente, restaurar, transformar y mejorar las condiciones económicas, sociales, infraestructurales y de vida en general de las zonas afectadas, dotándolas de mayores condiciones de seguridad en el futuro a través de esquemas de intervención que puedan reducir el riesgo. En este sentido la recuperación (rehabilitación y reconstrucción) se ha visto imbuida de la idea de la prevención y mitigación de futuros desastres.

La gestión de riesgos es el conjunto de elementos, medidas y herramientas dirigidas a la intervención de la amenaza o la vulnerabilidad, con el fin de disminuir o mitigar los riesgos existentes. Este concepto de prevención ha jugado un papel delimitador respecto a otro conjunto de elementos, medidas y herramientas cuyo objetivo es intervenir principalmente ante la ocurrencia misma de un desastre, es decir que conforman el campo de los preparativos para la atención de emergencias, la respuesta y la reconstrucción una vez ocurrido un suceso. La gestión de riesgos tiene como objetivo articular los tipos de intervención, dándole un papel principal a la prevención-mitigación, sin abandonar la intervención sobre el desastre, la cual se vincula al desarrollo de las políticas preventivas que en el largo plazo conduzcan a disminuir de manera significativa las necesidades de intervenir sobre los desastres ya ocurridos. La gestión de riesgos no sólo debe identificarse con lo que significa el Estado sino que debe estimular una convocatoria dirigida tanto a las fuerzas gubernamentales como no gubernamentales, con el propósito de enfrentar los desastres con en forma preventiva. En este sentido, una política de gestión de riesgos no sólo se refiere a la identidad territorial, sino por su propósito, a la articulación de las diversas fuerzas existentes: sociales, políticas, institucionales, públicas, privadas de todos los niveles territoriales. Esto permite planteamientos de participación democráticos, suma de esfuerzos y responsabilidades, de acuerdo con el ámbito de competencia de cada cual (Cardona 2001).

Los fenómenos de origen natural y antrópico que afectan severa y continuamente a los asentamientos humanos son el resultado no sólo de la ocurrencia de los fenómenos, sino también de la alta vulnerabilidad que ofrecen dichos asentamientos como consecuencia de su desordenado crecimiento y del tipo de tecnologías utilizadas en los mismos. El riesgo puede reducirse si se entiende como el resultado de relacionar la amenaza, o probabilidad de ocurrencia de un suceso, con la vulnerabilidad o susceptibilidad de los elementos expuestos. Medidas de protección, como la utilización de tecnologías adecuadas, no vulnerables, son la base para reducir las consecuencias de las amenazas o peligros naturales y tecnológicos.

El aumento y densificación de la población en grandes centros urbanos, el desarrollo de tecnologías vulnerables y el deterioro del medio ambiente hacen que cuando ocurren fenómenos naturales tales como sismos, erupciones volcánicas, inundaciones, deslizamientos, etc., se producen graves daños a las personas, bienes

e infraestructura, causando en muchos casos enormes pérdidas que, en ocasiones, pueden llegar a afectar en forma muy severa el desarrollo económico y social de regiones o países que posteriormente tardan muchos años en recuperarse (Cardona y Barbat 2000b).

La gestión de riesgos hace referencia a un complejo proceso social cuyo objetivo último es la reducción o control del riesgo en la sociedad. Toma como punto de partida la noción de que el riesgo como manifestación social es una situación dinámica. El cambio en las condiciones de riesgo de una sociedad o un subconjunto de la sociedad se relaciona con cambios paulatinos en las prácticas y la incidencia de las prácticas sociales a distintos niveles o con cambios graduales o abruptos en las condiciones ambientales (Lavell 2000). Dadas las condiciones dinámicas del riesgo, la sociedad requiere mecanismos diferenciados para gestionar las distintas condiciones de riesgo que existen o que pueden llegar a existir.

En el diseño de una política de gestión de riesgos pueden perfilarse una serie de áreas de intervención o acción que se deben considerar y contemplarse, a saber:

- a) Conocimiento sobre la dinámica, la incidencia, la causalidad y la naturaleza de los factores de riesgo, amenazas y vulnerabilidades y la capacidad de construir escenarios y mapas dinámicos de riesgo para el país y sus distintos territorios.
- b) El estímulo y promoción de diversos mecanismos y acciones adecuadas para la reducción de las condiciones de riesgo existentes incluyendo mecanismos de reordenamiento territorial, reasentamiento humano, recuperación y control ambiental, refuerzo de estructuras, construcción de infraestructura de protección ambiental, diversificación de estructuras productivas, fortalecimiento de los niveles organizacionales, etc.
- c) Capacidades para predecir, pronosticar, medir y difundir información fidedigna sobre cambios continuos en el ambiente físico y social y sobre la inminencia de eventos dañinos, destructivos o desastrosos.
- d) Mecanismos de preparación de la población, de instituciones y organizaciones para enfrentar casos inminentes de desastre y para responder eficazmente después del impacto de un determinado suceso físico, en el marco de esquemas que fortalecen y aprovechan las habilidades de la población.
- e) Mecanismos que garanticen la instrumentación, organización y control eficaz de esquemas de rehabilitación y reconstrucción que consideren, entre otras cosas, la reducción del riesgo en las zonas afectadas.
- f) La reducción en perspectiva del riesgo en futuros proyectos de desarrollo, a través del fomento de la incorporación del análisis de riesgo en los procesos de toma de decisiones y de inversiones y la utilización de mecanismos de ordenamiento del territorio, de control sobre construcciones, de gestión ambiental, etc.

- g) El fomento de procesos educativos a todo nivel que garanticen un entendimiento más adecuado del problema de riesgo y de las opciones para su control, reducción o modificación.

Los problemas del riesgo colectivo difieren de la dinámica que pueden llevar a cabo sistemas cerrados, como una industria o una empresa. En estos sistemas, la gerencia usa información para intervenir sus operaciones y para promover un cambio deseable, en la búsqueda de cierto comportamiento dentro de un rango de posibilidades de riesgo (pérdida) y de ingreso (ganancia). La meta del sistema es mantener el control. En contraste, en materia de riesgo público o colectivo, no sólo los problemas sino también las responsabilidades de la toma de decisiones son compartidos. Para los ciudadanos, las autoridades de las instituciones públicas son responsables de las decisiones que ellas toman (o no toman) en procura de la seguridad pública y del bienestar. Para resolver efectivamente estos problemas se requiere un proceso continuo de descubrimiento de elementos comunes entre diferentes grupos. Es necesario clarificar siempre aspectos para el entendimiento del público e integrar las diferentes perspectivas dentro de una base común de comprensión, que permita sustentar los diferentes tipos de acción. Las estrategias y métodos que se requieren para resolver los problemas de riesgo implican siempre un proceso continuo de aprendizaje colectivo, más que el simple control de la acción de la comunidad.

En una sociedad compleja, con mucha población y muchas instituciones y organizaciones manejando diversas responsabilidades para el sostenimiento de la comunidad, la eficiencia se logra cuando la organización esta en capacidad de usar la capacidad de la tecnología de la información para buscar, analizar y distribuir información para respaldar la toma de decisiones y los aspectos públicos que requieren acción conjunta. Los sistemas de gestión de riesgos son inevitablemente interdisciplinarios y, por lo tanto, son difíciles de diseñar, construir y mantener. Los componentes técnicos requieren conocimiento avanzado y habilidades en ingeniería e informática. Los componentes sociales requieren un entendimiento del diseño organizacional, de la política pública, de sociología y comunicaciones. Los sistemas de gestión de riesgos requieren un enfoque de equipo para operaciones efectivas, puesto que una persona no puede tener todo el conocimiento y las habilidades requeridas para gestionar tareas complejas. Un grupo de gerentes experimentados y capaces, cada uno con un conocimiento profundo y con habilidades específicas y con suficiente entendimiento de los campos complementarios, es más efectivo para orientar y mantener un sistema de gestión. Puesto que estos sistemas son interdependientes y funcionan con base en entendimiento mutuo, la comunicación efectiva es requisito para que cada miembro participe en la adecuada toma de decisiones. Es decir, los procesos de acción colectiva y voluntaria para reducir el riesgo, que implican comunicación, selección, retroalimentación y auto-organización, dependen de la información. Dado que la construcción de una base de conocimiento para la efectiva reducción del riesgo es un proceso colectivo, una apropiada inversión, tanto para el desarrollo técnico como organizacional, es fundamental para lograr que la base de

conocimiento llegue a ser el foco que facilite el aprendizaje organizacional continuo y la capacidad de la comunidad de monitorear su propio riesgo.

En materia de desastres y riesgos es claro que la velocidad del problema supera la velocidad de las soluciones y existe una alta frustración y preocupación científica a nivel internacional (Hayman *et al.* 1991; Rogge 92; Gilbert y Kraimer 1999; Munich RE 1999; UN-OCHA 2000). Aun cuando se reconoce que el problema es cada vez más grave en los países en desarrollo, los investigadores y gestores de los países más desarrollados ya empiezan a preocuparse por el aumento de la vulnerabilidad también en los países ricos. En los Estados Unidos, por ejemplo, la reciente evaluación de la investigación en el tema promovida por el Hazard Research and Applications Information Center de la Universidad de Colorado en Boulder, concluyó que era necesario que en ése país se estableciera formalmente una política de “prevención sostenible”, que asocie la gestión inteligente de los recursos naturales con la resiliencia económica y social a nivel local, divisando la reducción del riesgo como una parte integral de la política y dentro de un contexto mucho más amplio (Mileti 1999). Ya con anterioridad, un cuarto de siglo antes, un trabajo similar realizado por el geógrafo Gilbert White y el sociólogo J. Eugene Haas concluía implícitamente la necesidad de esa misma estrategia (White y Haas 1975). Durante estos años hubo un avance notable en el tema de la gestión de riesgos en los Estados Unidos y en el ámbito internacional se promovieron iniciativas que influyeron positivamente para explicitar el problema, sin embargo hoy la preocupación es mucho mayor y los desastres están aumentando en forma dramática. La última evaluación, en la cual participaron cientos de investigadores, dada a conocer por Dennis Mileti en 1999, indica que, a pesar de los avances, durante el nuevo milenio los desastres naturales y tecnológicos serán mayores que los experimentados hasta ahora, simplemente porque ese es el futuro de las acciones que han sido creadas en el pasado. El desarrollo en áreas peligrosas, por ejemplo, ha aumentado la exposición y la vulnerabilidad física y muchos de los métodos para enfrentar las amenazas han sido miopes, pues han dejado para después las pérdidas en vez de eliminarlas. El informe indica que desastres y riesgos no son problemas que puedan solucionarse aisladamente y que, más bien, son parte o parcelas de muchos procesos y circunstancias más amplias.

La experiencia de los últimos años en la consolidación de una adecuada gestión de riesgos y los nuevos paradigmas que se plantean en relación con la manera de llevar a cabo la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo, permite concluir que, para mejorar la efectividad y eficacia de la gestión, es necesario tener en cuenta que:

- a) El conocimiento de las amenazas naturales, su monitoreo y análisis es condición necesaria pero no es suficiente para disminuir el impacto de los fenómenos peligrosos.
- b) Las condiciones de vulnerabilidad de la población disminuyen con la mejora de sus condiciones de vida. Es decir, como condición esencial para disminuir la ocurrencia de desastres, debe ser superado el estado de subdesarrollo de los países y, en especial, las condiciones de pobreza.

- c) La reducción de riesgos al entenderse como parte del desarrollo de los países no puede darse bajo condiciones de deterioro del entorno que o bien acentúan o bien crean nuevos riesgos. Por lo tanto, no existe más alternativa que buscar el equilibrio entre el modelo de desarrollo que se adopte y la conservación del medio ambiente.
- d) Especial énfasis debe hacerse sobre el riesgo en las zonas urbanas, en especial en aquellos países donde las ciudades siguen creciendo a ritmos acelerados y la planificación y los controles de ese crecimiento son superados por la realidad, acentuándose y aumentando el riesgo de un cada vez mayor número de personas.
- e) La comunidad enfrentada a una amenaza natural cualquiera debe ser consciente de esa amenaza y debe tener el conocimiento suficiente para convivir con ella.
- f) El modelo de descentralización que se utiliza para análisis y toma de decisiones es condición necesaria para la real participación de la comunidad y de las autoridades locales. La responsabilidad de disminuir el impacto de los fenómenos naturales y tecnológicos es multisectorial e interinstitucional. La tarea debe comprometer a los gobiernos, a la comunidad, al sector privado, al sector político, a los organismos no gubernamentales y a la comunidad internacional. La autonomía de las comunidades locales y de sus propias autoridades debe ser una estrategia explícita para lograr resultados efectivos de intervención.
- g) La comunidad internacional y las agencias y organismos bilaterales y multilaterales deben apoyar las iniciativas nacionales y facilitar el intercambio de información así como promover la cooperación técnica horizontal entre los países que deben desarrollar estrategias similares en el análisis de sus amenazas y riesgos, la intervención de las vulnerabilidades y en la gestión del riesgo en general.

Riesgo colectivo significa la posibilidad de desastre en el futuro; que existe la posibilidad de que un fenómeno peligroso se manifieste y que existe la predisposición en los elementos expuestos a ser afectados. La gestión del riesgo colectivo involucra cuatro dimensiones o políticas públicas bien diferenciadas: la identificación del riesgo (que se relaciona con la percepción individual y colectiva y con su análisis y evaluación); la reducción del riesgo (que se relaciona con las acciones de prevención y mitigación); la gestión de desastres (que se relaciona con la respuesta a emergencias, la rehabilitación y la reconstrucción); y la transferencia y financiación del riesgo (que se refiere a los mecanismos de protección financiera para cubrir pasivos contingentes y riesgos residuales (Cardona *et al.* 2003a, Carreño *et al.* 2004). Estas políticas se explican en las siguientes secciones de este capítulo.

### 2.2.2 Política de identificación de riesgos

La reducción del riesgo colectivo requiere intervenir los factores que lo generan; la gestión de desastres significa responder eficientemente cuando el riesgo ya se ha materializado; y la transferencia del riesgo implica valorarlo en unidades

económicas. Por lo tanto, es necesario identificar el riesgo para poder implementar las otras políticas de la gestión. Identificar el riesgo es una acción *ex ante* que significa comprender cómo se percibe desde el punto de vista de la sociedad, cómo se representa (modelos, mapas, índices, etc.) y, finalmente, como se mide o se dimensiona.

El poder estimar los efectos potenciales y/o pérdidas que pueden presentarse en el contexto social y material permite que dentro de los planes de desarrollo y los programas de inversión se puedan definir medidas que eviten o atenúen las consecuencias de los futuros desastres, o bien mediante la intervención de la ocurrencia de suceso potencial, en el caso de que esto sea posible, o modificando las condiciones que propician que los efectos del mismo se presenten.

Uno de los temas centrales de la percepción del riesgo ha sido el concepto de “probabilidad psicológica” o subjetiva, que se diferencia de otros dos tipos de probabilidad, a las que se les ha denominado como clásica y de frecuencia relativa, y que los matemáticos denominan como “probabilidad objetiva”. La probabilidad subjetiva o personal ha sido, no obstante, íntimamente identificada con la escuela de estadística Bayesiana, que enfatiza la probabilidad como el grado de confianza o grado de creencia que tiene una persona en la ocurrencia de un suceso. Esta visión se refiere más a una actitud o comportamiento que a un concepto empírico y es más el resultado de un estado del conocimiento individual acerca del mundo que de una propiedad objetiva del mundo. Por lo tanto, la probabilidad subjetiva de cualquier suceso puede variar legítimamente a través de los individuos como una función de su propio conocimiento de dicho suceso (Pidgeon 1992).

Se han realizado estudios acerca del proceso de toma de decisiones y se sabe que la decisión de implantar medidas de reducción de riesgos puede ocurrir a nivel personal, organizacional o gubernamental; decisión que es diferente en cada caso debido a que el contexto es distinto. La evidencia científica, además preocupante, indica que habitualmente las personas no son conscientes de los riesgos a los que están sometidas; subestiman a los que reconocen y sobreestiman la capacidad que tienen para enfrentarlos. A menudo, la gente culpa a otros por sus pérdidas, no utiliza las estrategias preventivas disponibles y confía demasiado en la ayuda humanitaria cuando las necesidades la exigen (Mileti 1999). Ahora bien, la no adopción de medidas preventivas puede ser totalmente racional, en particular cuando existen limitaciones económicas, pero es muy común que la gente y las organizaciones con recursos suficientes escoja, igualmente, no protegerse a sí misma contra sucesos de alta probabilidad de ocurrencia. Se sabe que las decisiones de adoptar o no una actitud preventiva están relacionadas con muchos otros procesos de decisión. En el caso de las personas, es muy frecuente que las situaciones de riesgo se estimen de manera imperfecta; parece que existe una falta de visión y coherencia en relación con las preferencias presentes y futuras. Es común que se planifique sólo para el futuro inmediato y que se pronostique o se prevea el futuro, principalmente, con base en el pasado reciente. Varios modelos, desde diferentes disciplinas, han tratado de explicar la toma de decisiones a nivel individual y colectivo. Se han formulado propuestas que se fundamentan en la infravaloración de los beneficios sociales, o que se basan en la teoría clásica de la utilidad; también, hay estudios que se enfrentan al problema desde el punto de

vista heurístico o que están fundamentados en las expectativas sociales y el hábito. A nivel gubernamental, se ha encontrado que el temor de responsabilidades posteriores, en lo local, ha influenciado la decisión, pero se conoce poco acerca de la credibilidad que tienen los tomadores de decisiones en los especialistas y sus modelos de análisis y estimación del riesgo. En el nivel regional o nacional se ha podido identificar con claridad que el tema no se percibe como realmente importante. En resumen, la percepción y la representación del riesgo es un tema de especial importancia a nivel individual y colectivo, cuando de educación y cultura de la seguridad se trata.

Metodológicamente, la identificación y análisis de las amenazas de origen natural o antrópico y de la vulnerabilidad física, ambiental, social, económica, cultural, etc., constituyen una herramienta de diagnóstico que facilita clasificar los problemas y deficiencias y priorizar las acciones de carácter político, económico, social y ambiental que deben realizarse para lograr un desarrollo equilibrado. La amenaza está relacionada con la posibilidad de que se desencadene un fenómeno o suceso que pueda afectar a un sujeto o sistema en un sitio y durante un tiempo determinado. El concepto de amenaza significa, implícitamente, la evaluación del potencial de ocurrencia del fenómeno que caracteriza la amenaza, lo que diferencia el fenómeno mismo de la amenaza que implica. Aun cuando es común que en la literatura de los desastres se haga mención al fenómeno como si fuera la amenaza misma, en rigor existe una diferencia fundamental que está relacionada con la factibilidad de que ocurra el evento y su grado de severidad. De hecho, el grado de amenaza está vinculado tanto con la intensidad del evento como con el lapso de tiempo en que se espera pueda ocurrir o manifestarse el fenómeno que caracteriza la amenaza. La inminencia de un evento severo es relativa a la ventana de tiempo que se utilice como referencia y, por lo tanto, de ello depende el nivel de amenaza que ofrece el fenómeno considerado a una comunidad o población expuesta. Sin embargo, debido a la complejidad de los sistemas físicos, en los cuales un gran número de variables puede condicionar el proceso de ocurrencia de un fenómeno, la ciencia aún no cuenta con técnicas que le permitan modelizar con precisión dichos sistemas y, por lo tanto, tampoco los mecanismos generadores de las amenazas que estos fenómenos representan. Por esta razón, la evaluación de las amenazas, en la mayoría de los casos, se realiza combinando el análisis probabilista con el análisis del comportamiento físico de la fuente generadora, utilizando información de eventos que han ocurrido en el pasado y modelando con algún grado de aproximación los sistemas físicos involucrados.

La evaluación de la amenaza, en particular, es un insumo fundamental para el ordenamiento territorial o la planificación física, especialmente cuando se trata de determinar la aptitud ambiental de posibles zonas de expansión urbana o de localización de nueva infraestructura. Sin embargo, dicha evaluación es sólo una etapa para la determinación del riesgo; evaluación que se requiere necesariamente para la definición y aplicación de medidas de mitigación, debidamente justificadas en términos sociales y económicos dentro de la planificación física y sectorial. Debido a que no existen criterios unificados para este tipo de evaluaciones, no es raro encontrar metodologías diversas, muchas de ellas altamente cualitativas o de alcance parcial. Por esta razón, por ejemplo, es más común encontrar estudios

acerca de amenazas que estudios acerca de riesgos, o estudios de amenaza que no son consistentes con el nivel de resolución posible de aplicar en los análisis de vulnerabilidad. Esta situación se presenta por la definición unilateral del alcance de los estudios por parte de profesionales de una sola disciplina como la geología, la sismología, la hidrología, etc., sin tener en cuenta la participación de otros profesionales, tales como ingenieros, sociólogos, economistas, planificadores, etc., que deben contribuir en la definición de los objetivos para los cuales se llevan a cabo los estudios. Muchos estudios de amenaza no contribuyen en forma significativa a la evaluación del riesgo debido a que no permiten cuantificar realmente la factibilidad de ocurrencia del fenómeno. Un ejemplo de lo anterior son algunos mapas de amenaza volcánica o deslizamientos que, más bien, son mapas de zonificación de depósitos o de susceptibilidad relativa, debido a que no cuantifican en términos estocásticos la probabilidad de ocurrencia de un evento específico durante un período de exposición determinado o debido a que la valoración de las variables consideradas es altamente subjetiva.

La evaluación de la vulnerabilidad es un proceso mediante el cual se determina el grado de susceptibilidad y predisposición al daño de un elemento o grupo de elementos expuestos a una amenaza particular, contribuyendo al conocimiento del riesgo a través de interacciones de dichos elementos con el ambiente peligroso. Los elementos expuestos, o en riesgo, son el contexto social y material representado por las personas y por los recursos y servicios que pueden ser afectados por la manifestación de un suceso, es decir, las actividades humanas, los sistemas realizados por el hombre, tales como edificios, líneas vitales o infraestructura, centros de producción, utilidades, servicios y la gente que los utiliza.

En síntesis, para realizar un análisis de riesgo se deben seguir tres pasos: estimar la amenaza o peligro, evaluar la vulnerabilidad y llevar a cabo la evaluación del riesgo como resultado de relacionar los dos parámetros anteriores (Taylor *et al.* 1998). Cambios en uno o los dos parámetros modifican el riesgo en sí mismo.

### 2.2.3 Política de reducción de riesgos

Se reconocen, en general, como medidas de reducción del riesgo aquellas que se realizan con anterioridad a la ocurrencia de desastres con el fin de evitar que dichos desastres se presenten y/o para disminuir sus efectos. Es decir, la reducción del riesgo es una acción *ex ante*. Los términos prevención y mitigación se han utilizado para referirse a las actividades que pretenden reducir los factores de amenaza y vulnerabilidad en la sociedad y que permitan reducir la posibilidad o la magnitud de futuros desastres o daños en general. La fase de preparación comprende actividades que promueven mejores opciones y prácticas durante la fase previa a un desastre o una vez impactada una sociedad por un evento físico determinado. Esta fase incluye las alertas o notificaciones de un peligro inminente a la población en casos en que esto sea posible.

La reducción de riesgos debe entenderse de una manera amplia dado que incluye gestión relacionada con la educación, la investigación, la tecnología y la

planificación en todas sus modalidades: física, sectorial, territorial, socioeconómica, etc. Debido a su carácter multidisciplinar, la reducción del riesgo se lleva a cabo por funcionarios que ejecutan actividades relacionadas con el tema dependiendo del tipo de entidad a la que pertenecen. Instituciones en las cuales la reducción del riesgo no es, en la mayoría de los casos, el objeto primario de sus responsabilidades, pueden lograr el objetivo de eliminar o reducir las consecuencias de los fenómenos peligrosos en conjunto con otras entidades.

La prevención se podría definir como el conjunto de medidas y acciones dispuestas con anticipación con el fin de evitar que ocurra un fenómeno peligroso o para reducir sus efectos sobre la población, los bienes, los servicios y el ambiente.

La mitigación es la etapa o acción más eficiente de la reducción de riesgos en términos económicos y sociales. Debido a que es imposible evitar totalmente la ocurrencia de cierto tipo de fenómenos y que, en ocasiones, los costos de las medidas preventivas no pueden ser justificados dentro del contexto social y económico de la comunidad amenazada, solamente es posible disminuir las consecuencias de dichos fenómenos sobre los elementos expuestos. En cualquier caso, es importante destacar que no es posible garantizar que no ocurra un desastre. Pueden ocurrir fenómenos poco probables y de alta severidad que no podrían ser controlados y para los cuales resultaría injustificado realizar inversiones mayores. Es decir, dado que existen sucesos que no es posible prevenir y debido a que, ante la ocurrencia de eventos poco probables, las medidas de prevención no pueden garantizar totalmente que no ocurra un desastre, la etapa de mitigación resulta ser una de las más importantes, puesto que mediante medidas anticipadas de este tipo es posible reducir significativamente las consecuencias esperadas.

En general, la mitigación puede definirse como el conjunto de medidas de intervención dirigidas a reducir o disminuir el riesgo. La mitigación es el resultado de la aceptación de que no es posible controlar el riesgo totalmente; es decir, en muchos casos no es posible impedir o evitar los daños y sus consecuencias y sólo es posible atenuarlos. La mitigación es un proceso complejo ya que muchos de sus instrumentos, al igual que los de la prevención, hacen parte del desarrollo económico y social. La mitigación se lleva a cabo de la manera más eficiente a través del ordenamiento físico de los asentamientos humanos, la planificación de proyectos de inversión de carácter industrial, agrícola o de infraestructura, la educación y el trabajo con comunidades expuestas.

Cuando se hace referencia a obras de protección y control para la prevención de desastres, en la mayoría de los casos se está haciendo referencia a que mediante la intervención directa de la amenaza se puede impedir la ocurrencia del fenómeno que la caracteriza o controlar los efectos del mismo en el caso de que éste se presente. Estudios detallados acerca de las características de los fenómenos y análisis de la fuente generadora de eventos peligrosos permiten la concepción de obras de protección y control que pueden prevenir o mitigar desastres provocados por inundaciones fluviales o costeras, sequías, deslizamientos, flujos de lodo, etc. Las obras de protección y control más comúnmente conocidas son las construidas para la reducción del riesgo de

inundación, tales como presas de regulación, canales, diques, y otros tipos de trabajos de ingeniería relacionados con la adecuación de cauces. Estas obras pueden ofrecer protección sustancial en muchas áreas; sin embargo, en la mayoría de los casos, solamente pueden reducir parcialmente la amenaza y, en ocasiones, pueden llegar a causar impactos negativos en el medio ambiente.

En la mayoría de estos ejemplos la prevención se refleja en el hecho de pretender evitar que los fenómenos se presenten o de que se manifiesten sus efectos. En cualquier caso, es importante destacar que no es posible garantizar la no ocurrencia de un desastre dado que, incluso en aquellas situaciones donde parece tan obvio que medidas estructurales pueden impedir que se presente, siempre dichas medidas no cubren la totalidad de las posibilidades. Por ejemplo, las obras de ingeniería que se realizan para impedir o controlar ciertos fenómenos, siempre han sido diseñadas para soportar como máximo un evento cuya probabilidad de ocurrencia se considera lo suficientemente baja, así que las obras puedan ser eficientes en la gran mayoría de los casos, es decir, para los eventos más frecuentes. Lo que significa que pueden presentarse situaciones o sucesos poco probables que no podrían ser controlados y para los cuales resultaría injustificado realizar inversiones mayores.

Por otra parte, algunos fenómenos tales como los terremotos, los huracanes, las erupciones volcánicas y los tsunamis no pueden ser intervenidos directamente, razón por la cual es necesario procurar reducir sus efectos de una manera diferente. En estos casos y en otros en los cuales los costos de las obras de protección y control no pueden ser justificados dentro del contexto social y económico de la comunidad amenazada, solamente es posible reducir las consecuencias de su ocurrencia modificando las condiciones de vulnerabilidad física y/o funcional de los elementos expuestos. Algunos ejemplos de intervención de la vulnerabilidad física o funcional son:

- a) Modificación de la vulnerabilidad de la infraestructura de líneas vitales y de plantas industriales, mediante el refuerzo de sus estructuras existentes.
- b) Refuerzo de edificios vulnerables que no pueden ser reubicados.
- c) Desarrollo de normativas de construcción para reducir la vulnerabilidad física.
- d) Adecuación funcional de hospitales y de sus vías de acceso para la atención masiva de víctimas.
- e) Reubicación de viviendas, de infraestructura o de centros de producción que se encuentran en zonas de amenaza alta.

En resumen, las medidas estructurales para la intervención de la vulnerabilidad física y funcional tienen como objetivo mitigar el riesgo modificando los niveles de vulnerabilidad y/o de exposición de los elementos en riesgo.

La reubicación preventiva de asentamientos ubicados en zonas propensas es considerada como una de las labores más importantes de la reducción de riesgos.

Las zonas de alto riesgo, en general, coinciden con las áreas que presentan condiciones de informalidad de la construcción y sus habitantes tienen niveles de ingresos familiares que les imposibilita el acceso al crédito de vivienda institucional existente; de allí la necesidad de subsidiar, al menos en parte, la solución de vivienda. Los costos de las reubicaciones y, en general, la insuficiencia de recursos técnicos y financieros por parte de los municipios y la limitada capacidad económica de la población potencialmente beneficiada, implican el apoyo técnico y financiero por parte de las entidades del Estado. Por lo tanto, el desarrollo de nuevos proyectos de vivienda y de reubicación de asentamientos humanos en los países en desarrollo requiere, aparte del apoyo financiero, la asesoría técnica de las entidades del Estado o de ONGs especializadas que promuevan el uso de tecnologías constructivas adecuadas, que permitan garantizar la protección de la inversión del Estado y el patrimonio de las familias beneficiadas por este tipo de programas asociativos.

Las medidas no estructurales son de especial importancia para que, en combinación con las medidas estructurales, se pueda mitigar el riesgo de una manera efectiva y balanceada. Estas medidas pueden ser activas o pasivas. Ejemplos de medidas no-estructurales activas, es decir, aquellas en las cuales se promueve la interacción directa con las personas, son las siguientes:

- a) Organización para la atención de emergencias.
- b) Desarrollo y fortalecimiento institucional.
- c) Educación formal y capacitación.
- d) Información pública y campañas de difusión.
- e) Participación comunitaria y gestión a nivel local.

Medidas no estructurales pasivas son aquellas más directamente relacionadas con la legislación y la planificación, como las siguientes:

- a) Códigos y normas de construcción.
- b) Reglamentación de usos del suelo y ordenamiento territorial.
- c) Estímulos fiscales y financieros.
- d) Promoción de seguros.

Estas medidas no estructurales no requieren recursos económicos significativos y, en consecuencia, son muy propicias para consolidar los procesos de reducción del riesgo en los países en desarrollo.

Todas estas medidas estructurales y no estructurales de reducción del riesgo se promueven en los procesos de planificación del desarrollo en sus diferentes modalidades: planificación territorial, sectorial y socio-económica. Por esta razón se ha insistido en los últimos años en la necesidad de incorporar formalmente la reducción del riesgo (prevención-mitigación) en la planificación y en la cultura.

Ahora bien, la planificación del desarrollo sólo puede tener consistencia si se llevan a cabo unos programas económicos y sociales vertidos sobre un espacio geográfico respecto al cual se tiene una clara visión de su ordenamiento territorial a mediano y largo plazo. Es decir, si existe una compatibilización y simultaneidad de los diversos tipos de planificación y programación sectorial con las diversas escalas de ordenamiento del territorio. Desde el punto de vista de la planificación física (regional, urbana) los análisis geográficos, geológicos, ecológicos, de infraestructura, etc. y por lo tanto de amenaza, vulnerabilidad y riesgo deben ser los más completos posibles, puesto que son determinantes para la orientación de los usos potenciales del suelo y para la definición de intervenciones sobre el medio natural y los asentamientos humanos. Igualmente, desde el punto de vista de la planificación sectorial (administrativa, social, económica), es fundamental la definición de responsabilidades para contribuir a que se impongan ciertas medidas generales (legales, administrativas, fiscales, financieras, etc.) que permitan que la potencialidad de los usos del suelo sea respetada y que las intervenciones se ejecuten debidamente, de tal manera que se puedan alcanzar en grandes líneas los resultados proyectados.

#### **2.2.4 Política de gestión de desastres**

La gestión de desastres significa responder eficientemente cuando el riesgo ya se ha materializado; es decir, corresponde a las acciones ex post como la respuesta en caso de emergencia, la rehabilitación y la reconstrucción. La respuesta de emergencia o ayuda humanitaria pretende garantizar condiciones de seguridad y de vida para las poblaciones afectadas inmediatamente después de ocurrido el evento. Estas actividades pueden envolver acciones de evacuación de comunidades, de búsqueda y rescate, de asistencia y alivio a poblaciones afectadas y acciones que se realizan durante el tiempo en que la comunidad se encuentra desorganizada y los servicios básicos de infraestructura no funcionan. El período de emergencia es dramático y traumático; por esa razón, la mayor atención de los medios de comunicación y de la comunidad internacional está puesta en este período cuando se trata de un evento mayor. En la mayoría de los desastres este período pasa muy rápido, excepto en algunos casos como la sequía, la hambruna y los conflictos civiles.

La rehabilitación corresponde al período de transición que se inicia al final de la etapa de emergencia y en el cual se reestablecen los servicios vitales indispensables y el sistema de abastecimientos de la comunidad afectada. La reconstrucción se caracteriza por los esfuerzos que se realizan con el fin de reparar la infraestructura afectada y restaurar el sistema de producción con miras a revitalizar la economía y lograr alcanzar o superar el nivel de desarrollo previo al desastre.

Las actividades de reconstrucción pretenden, de una manera óptima, restaurar, transformar y mejorar las condiciones económicas, sociales, infraestructurales y de vida en general de las zonas afectadas, dotándolas de mayores condiciones de seguridad en el futuro a través de esquemas de intervención que puedan reducir el riesgo. En este sentido, la recuperación

(rehabilitación y reconstrucción) se ha visto imbuida de la idea de la prevención y mitigación de futuros desastres.

Debe tenerse en cuenta, en términos de gestión institucional, que en cada etapa se realizan actividades específicas y con esquemas de trabajo definidos. Además, existe una estrecha relación entre todas ellas. Por ejemplo, durante la etapa de respuesta a la emergencia se pueden tomar decisiones que contribuyan a promover una recuperación más rápida. Cada una de estas etapas, diferenciadas desde el punto de vista administrativo, incluye la ejecución de diversas medidas estructurales y no estructurales de gestión de riesgos.

Usualmente, el gobierno es responsable de reconstruir su infraestructura de inmuebles y servicios, por lo que debe estimar sus pérdidas esperadas o pasivos contingentes y acordar mecanismos o instrumentos de retención consciente y/o transferencia de dichas pérdidas. Estos instrumentos pueden obedecer a acuerdos entre los diferentes niveles de gobierno cuando su resiliencia económica así lo indique. En otras palabras el Estado es responsable de la reconstrucción de los inmuebles públicos o bienes de la colectividad y, por lo tanto, es tomador de riesgo en nombre de la sociedad. Por lo tanto, es deseable que en los casos que se considere conveniente se realice un contrato de transferencia de pérdidas y contar con fondos de reservas que le permitan acceder a recursos para reconstruir los bienes de la colectividad. En el caso de desastres extremos es usual que los gobiernos nacionales o federales apoyen la reconstrucción de los bienes públicos del nivel local y regional, dada la incapacidad de estos últimos para reconstruir su infraestructura. En algunos países, con el fin de evitar el riesgo moral (dilema del samaritano) de los niveles locales, los gobiernos nacionales exigen que éstos demuestren su esfuerzo para reducir el riesgo y que no obran negligentemente en cuanto a intervenir la vulnerabilidad en las zonas de riesgo. Con base en indicadores de gestión del riesgo se pueden establecer porcentajes de participación del gobierno nacional en el pago de primas de seguros y en la reconstrucción de los inmuebles públicos de propiedad del Estado a nivel local y regional.

Aunque no parece que deba ser una responsabilidad del Estado cubrir las pérdidas de los privados y que los mismos deben responsabilizarse de protegerse y proteger su patrimonio, por extensión de la protección de los más débiles en lo que corresponde a la atención y rehabilitación, es claro que hay situaciones en las cuales políticamente no es sostenible el no atender las necesidades de reconstrucción, por ejemplo, de las comunidades más pobres afectadas por un desastre notable para la sociedad. Por esta razón y, porque es una responsabilidad residual del Estado, es inevitable que en caso de desastres extremos el gobierno deba reconstruir vivienda para propietarios y posiblemente arrendatarios afectados de los estratos sociales de bajos ingresos. También habría la necesidad de apoyar circunstancialmente (es decir dependiendo del desastre) a las comunidades más pobres que pierden sus bienes y medios de sustento, con subvenciones o créditos blandos para la reposición de los mismos, e incluso subsidiar el empleo público y privado en casos extremos. También podría darse el caso de tener que apoyar al sector privado de mayores ingresos dado que su afectación puede causar un grave impacto social que es necesario mitigar o evitar por sus mayores implicaciones. Sin embargo, estos casos son muy dependientes de cada situación y no es conveniente

hacer estimaciones económicas de este tipo cuando son más bien una excepción y no una regla. Por lo tanto, con base en lo anterior, un principio de ordenamiento prioritario de la responsabilidad *ex post* del Estado en términos de una política de gestión de desastres es el siguiente:

- a) La vida y la integridad humana
- b) Los medios de supervivencia
- c) El medio ambiente
- d) El soporte ecosistémico de la vida y la subsistencia
- e) Los bienes públicos
- f) Los bienes privados de uso colectivo
- g) Los medios de producción soportantes del trabajo y la manutención
- h) Los bienes privados de uso individual

Se debe hacer énfasis en que el interés colectivo debe primar sobre el interés particular, identificable como una de las normas fundamentales de la convivencia democrática.

### **2.2.5 Política de gobernabilidad y protección financiera**

En relación con las actividades inherentes a la gestión de riesgos, es inevitable hacer la observación de que en los países en desarrollo no han existido organizaciones institucionales coherentes para llevarla a cabo. Por el contrario, en estos países existe una dispersión de entidades que, desde diversos sectores y a diferentes niveles, han venido ejerciendo una o varias funciones de administración de los recursos naturales renovables, de control de factores de deterioro ambiental y de prevención-mitigación de desastres.

Los medios tradicionales de análisis político y de planificación han sido usados en diversas ocasiones y en diferentes lugares para atender problemas de riesgo sin buenos resultados o con muy poco efecto. Usualmente, las comunidades son resistentes a soluciones impuestas de manera externa y, con frecuencia, no están en capacidad de reorientar sus propias energías de acción colectiva para lograr poner en marcha una estrategia constructiva y eficiente de prevención-mitigación. Aunque se han llevado a cabo muchos esfuerzos para impulsar políticas y planes de reducción del riesgo, los planificadores y quienes toman decisiones no han sido muy exitosos en reducirlo o, si alguna vez lo han logrado, ha sido una rara excepción y por un período muy breve (Comfort 1999).

El riesgo es un problema real de política pública que ilustra la necesidad de interdisciplinariedad, interinstitucionalidad y multisectorialidad que hacen que los problemas de riesgo mismo sean extraordinariamente difíciles de resolver. La coordinación voluntaria o la auto-organización dependen de la existencia de una adecuada organización interinstitucional, una infraestructura de información y una

base común de conocimiento con anterioridad a la manifestación de un fenómeno peligroso.

En otras palabras, se requiere una adecuada gobernabilidad y coordinación para la formulación de políticas y para su respectiva ejecución, entre el nivel nacional, provincial y municipal y los sectores comprometidos en el tratamiento de aspectos ambientales y de riesgo, con el fin de evitar contradicciones y vacíos que finalmente terminan por perjudicar tanto a los recursos como a sus usuarios. Los planificadores y quienes hacen la política pública, que deben diseñar y construir una base de conocimiento compartida, tienen más posibilidades de llevar a cabo una coordinación más eficiente a través de un proceso de aprendizaje conjunto que a través de procedimientos y reglas impuestas de manera externa.

Por otra parte, cambios rápidos en el sector financiero están permitiendo la aparición de nuevas alternativas para enfrentar las pérdidas causadas por fenómenos peligrosos como los terremotos, huracanes, inundaciones, entre otros. El mercado de capitales es global y permite la posibilidad que se puedan realizar inversiones en diferentes sitios del mundo. La combinación de los nuevos conocimientos y técnicas de la ingeniería y la ciencia, lo que incluye la modelización más precisa de pérdidas y un mejor entendimiento científico del riesgo, los avances en la computación y la tecnología de la información y las innovaciones en el mercado financiero, están abriendo nuevos horizontes y nuevas fuentes de capital para enfrentar las pérdidas debidas a desastres.

En los primeros desarrollos de la modelización de escenarios de riesgo, los científicos, ingenieros y analistas se preocuparon principalmente por las opciones de mitigación o reducción del riesgo a través de estrategias de ingeniería y planificación, dando relativa poca atención a las estrategias financieras y económicas. La reducción del riesgo desde la perspectiva de los ingenieros y planificadores ha tenido como objetivo, primordialmente, evitar o disminuir el daño potencial y, de esta manera, evitar que se produzcan pérdidas económicas pero, también, el impacto social y ambiental. Sin embargo, en los últimos años se ha visto una cada vez mayor comunicación entre las comunidades de ingenieros, aseguradores y analistas financieros y hay mayor conciencia de la importancia de su trabajo en conjunto para lograr una gestión integral del riesgo colectivo.

Desde el punto de vista financiero, la gestión de riesgos ha sido un proceso que involucra cinco pasos: *i)* identificar y analizar el riesgo; *ii)* examinar la factibilidad de alternativas o técnicas para su reducción; *iii)* seleccionar las mejores técnicas disponibles y factibles; *iv)* implementar las técnicas escogidas; y *v)* darle seguimiento al programa. Aunque aparentemente es un proceso similar al que se propone desde la perspectiva de las ciencias aplicadas y sociales, en realidad el riesgo desde el punto de vista financiero se refiere al potencial de pérdidas económicas y la reducción del mismo se basa en la implementación de medidas que permitan contar con recursos económicos en el momento en que se presente un desastre y se puedan cubrir total o parcialmente dichas pérdidas. En otras palabras, desde el punto de vista financiero, la gestión del riesgo tiene como objetivo identificar y analizar las exposiciones de pérdida, examinando las posibilidades de transferencia y retención de esas pérdidas, llevando a cabo las transacciones del

caso y estando atentos a los cambios o ajustes que deban realizarse. Esto involucra la industria de seguros y reaseguros, la titularización y otros esquemas financieros utilizados o que se podrían explorar para integrarlos a una gestión integral del riesgo colectivo desde una visión multisectorial, interinstitucional y multidisciplinar.

Los mecanismos disponibles en los mercados de seguros y de capitales no son sustituibles entre sí, sino que son complementarios y se deben usar simultáneamente en una estructura combinada que cubra diferentes capas de riesgo. Dentro de esta estructura participan distintos tipos de agentes, entre ellos, empresas aseguradoras, reaseguradoras, inversionistas privados, banca de inversión, intermediarios financieros y entidades multilaterales, lo cual implica que, aunque existe esta estructura institucional, el marco regulador del uso de este tipo de instrumentos está por fuera de la esfera nacional de los países. En resumen, mecanismos como el aseguramiento o la transferencia de pérdidas al mercado de capitales permiten disminuir la carga fiscal de los gobiernos una vez ha ocurrido un desastre.

A partir de la definición de las responsabilidades del Estado y de su capacidad fiscal, se pueden establecer acuerdos entre éste y las compañías aseguradoras y reaseguradoras por medio de los cuales se puedan cubrir los riesgos a través del diseño de instrumentos financieros adecuados. En este contexto, es importante desatacar que los Bonos de Catástrofe, a diferencia de otros instrumentos, actualmente son más transados en el mercado y por lo tanto son un instrumento adecuado y alternativo para cubrir las responsabilidades del Estado. En el caso de otros instrumentos, el problema básico es que por bajos niveles de negociación, algunos de ellos han dejado de circular en el mercado de capitales.

## **2.3 Evaluación de daños causados por sismo**

### **2.3.1 Daño sísmico**

Un terremoto es una transformación brusca de energía: la energía de deformación acumulada en la litosfera se convierte súbitamente en energía cinética; ésta se manifiesta por medio de movimientos ondulatorios que se transmiten en el interior y en la superficie de la tierra. Esta energía, atenuada por la distancia, debe ser absorbida por los edificios y, en caso de sismos severos, disipada. El conocimiento obtenido hasta ahora ha permitido desarrollar bases que facilitan efectuar un diseño de estructuras con razonable seguridad para la vida. Más aun, ha sido posible aplicar criterios económicos en el diseño sismorresistente optando por estructuras menos fuertes que lo necesario y, como consecuencia, de menor costo inicial; al ser éstas sometidas a un movimiento sísmico severo, deben sufrir daños controlados, sin colapsar, y disipar así una parte importante de la energía absorbida. Paradoja que significa que al degradarse la estructura existe la posibilidad de que se salve del colapso y por lo tanto las vidas que se encuentran en su interior.

De lo anterior se desprende que el comportamiento sísmico adecuado de una estructura depende, además de su resistencia, de su habilidad de disipar energía vibratoria a partir del instante en que sus deformaciones exceden el límite elástico, es decir, de su ductilidad. La vibración de la estructura en el rango plástico durante sismos fuertes significa, por lo tanto, la ocurrencia de daños estructurales y no estructurales. Esto no debe confundirse con el comportamiento deficiente que una estructura puede tener frente a un sismo incluso moderado, debido a un déficit de resistencia o a una ductilidad escasa, es decir, con su vulnerabilidad.

En general, los edificios se diseñen para resistir sismos fuertes sin colapso, aun cuando se produzcan daños estructurales severos; sismos moderados sin daño estructural, pero con algún daño en elementos no estructurales; y sismos leves sin daño. En otras palabras, el nivel de riesgo aceptable o admisible, implícito en las normas, considera que la capacidad máxima de los elementos del sistema sismorresistente puede ser excedida y que éstos pueden experimentar un comportamiento inelástico durante sismos muy fuertes, al producirse un incremento de las deformaciones por encima de las de fluencia. Además, se espera que en caso de sismos moderados se produzcan daños en los elementos no estructurales como tabiques, particiones, etc., y que, en general, sean fácilmente reparables. Sin embargo, este tipo de daños constituye una pobre imagen del estado de una estructura para el público no enterado, que desconoce que los mencionados daños son aceptables y por lo tanto legales en los tribunales. Las expectativas que tienen los propietarios distan en mucho de los objetivos convencionales de las normativas, pues en general el propietario espera que el edificio no tenga ningún daño. Los códigos de construcción fundamentalmente protegen la vida y, a partir de éste principio, protegen en forma indirecta la propiedad. Sin embargo, el hecho de que se admita que los elementos no estructurales se puedan dañar no deja de ser objeto de reflexión, puesto que fallas de muros divisorios y de fachadas también pueden, en algunos casos, comprometer la vida directamente; o también indirectamente, al no poder cumplir su función los edificios indispensables o esenciales, tales como los hospitales, en el momento en que más se les necesita.

Después de que un sismo fuerte afecta a un centro urbano vulnerable se producen diversos daños en los elementos expuestos, como edificios, instalaciones e infraestructura de líneas vitales. Los daños pueden concentrarse en algunas zonas de la ciudad y se presentan en diferentes niveles. La población y el gobierno usualmente están muy preocupados por su seguridad y ellos necesitan si los edificios son seguros para ser ocupados o no. Esta pregunta solo la puede responder ingenieros y arquitectos expertos en estructuras, mecánica de suelos, evaluación de daños y rehabilitación de edificios. La toma de decisiones en habitabilidad y reparabilidad de los edificios es algo urgente, una mala decisión puede poner en peligro la vida de personas.

La evaluación de daños es una tarea difícil, y sus resultados dependen de la experticia de los inspectores. En ocasiones, un edificio puede ser obviamente inseguro debido a los daños que se observan, pero en la mayoría de los casos es dudoso. Es necesario tener en cuenta no solo los diferentes niveles de daño que se presentan en los elementos, si no también su importancia para la estabilidad

estructural. Los elementos estructurales y no estructurales dañados pueden poner en peligro la seguridad de los ocupantes en diferentes formas, los daños pueden ser generalizados o localizados y, pero en ambos casos, pueden poner en peligro la estabilidad del edificio, dependiendo de la configuración estructural y las condiciones del suelo.

Los estudios sobre terremotos y daño sísmico en edificios han llevado a desarrollar normativas de diseño sismorresistente y nuevas técnicas de construcción, las cuales incluyen principios técnicos y económicos para obtener estructuras más dúctiles, pero menos fuertes que permiten controlar el daño sin que se presente colapso disipando parte de la energía sísmica que se absorbe.

Dowrick (1987) dice que una estructura tendrá una probabilidad máxima de sobrevivir a un terremoto si:

- los elementos portantes están uniformemente distribuidos;
- las columnas y muros son continuos y sin desplazamientos desde el techo hasta la cimentación;
- todas las vigas están libres de desplazamientos;
- columnas y vigas tienen los mismos ejes;
- columnas y vigas de concreto reforzado son casi el mismo ancho;
- los miembros no principales no tienen cambios repentinos de sección;
- la estructura es continua, redundante, y tan monolítica como sea posible.

El comportamiento sísmico de un edificio puede mejorar si se tienen en cuenta algunos criterios técnicos como evitar el efecto de piso blando, la esbeltez excesiva de las columnas, y muros divisorios frágiles en edificios aporricados. También es recomendable el uso de columnas más rígidas que las vigas, losas gruesas y una adecuada separación entre edificios.

El daño a elementos no estructurales representa una alta proporción de los daños totales causados por un terremoto; la mayoría no están relacionados con la estructura de los edificios (Coburn y Spence 2002). Usualmente estos daños ocurren debido a la mala conexión entre los muros divisorios, instalaciones y otros elementos no estructurales a la estructura, o debido a la falta de rigidez de la estructura, lo cual ocasiona derivas de piso excesivas y deformaciones laterales.

### **2.3.2 Evaluación de daños**

A raíz de importantes terremotos ocurridos en diferentes países ubicados en zonas de amenaza sísmica alta, ha sido necesario desarrollar métodos para evaluar el daño de los edificios que han sido afectados, con el fin de determinar en forma rápida si son seguros o deben ser evacuados para proteger la vida de sus ocupantes y evitar que el número de víctimas sea mayor en el caso de una réplica. Se ha demostrado

que no sólo es importante el estudio de vulnerabilidad de los edificios, si no que también es útil tener métodos para la evaluación de los daños causados por sismo.

Los procedimientos para la evaluación post-sísmica normalmente se aplican por medio de dos niveles o etapas de desarrollo: la evaluación rápida (o de habitabilidad) que se basa en el nivel de riesgo o peligro que representa un edificio para la población, y la evaluación detallada, que describe el nivel de daño estructural y su clasificación.

La formulación de una metodología y la elaboración de las herramientas necesarias para la evaluación de la habitabilidad de los edificios permite identificar, después de ocurrido un terremoto moderado o severo, los edificios que hayan sufrido daños graves y que puedan representar peligro para la comunidad, así como también edificios seguros que pueden servir como refugios temporales a personas que hayan perdido sus viviendas o que hayan sido evacuadas por estar comprometida la seguridad de los edificios que ocupaban. Este tipo de evaluación no sólo permite dar recomendaciones para la seguridad de la población definiendo la posible ocupación o no de las viviendas, sino que proporciona recomendaciones técnicas sobre el acordonamiento de áreas inseguras, el apuntalamiento de los edificios o elementos inestables o la demolición de elementos en peligro de caer, entre otros.

De manera complementaria, las evaluaciones detalladas de daño no sólo sirven para caracterizar los daños estructurales y no estructurales en los edificios, también permiten evaluar los efectos locales de los suelos, estimar de manera aproximada el impacto económico y social, y generar información para la toma de decisiones por parte de las autoridades, para la formulación posterior de proyectos para la reconstrucción y la definición de estrategias que permitan a largo plazo reducir los efectos de futuros eventos sísmicos. Permiten, hacer mejoras a las normas sismorresistentes vigentes, identificando las fallas en los sistemas estructurales y también posibilitan la construcción de curvas de vulnerabilidad empírica, útiles también para el estudio de los edificios.

En el desarrollo de metodologías para la evaluación de daños causados por terremotos se destacan las realizadas en la ex República Yugoslava de Macedonia, Estados Unidos (California), Japón, México, Italia, Turquía, Grecia y Colombia. Algunos de estos métodos propuestos se describen en forma resumida a continuación.

### **2.3.3 Metodologías y procedimientos existentes**

Se presenta una recopilación sobre varias metodologías existentes, dentro de las que se destacan la de la Ex-República Yugoslava de Macedonia, Italia, Turquía, Grecia, Estados Unidos, Japón, México, y Colombia por ser las más avanzadas. En el Apéndice E se hace aquí una comparación teniendo en cuenta diferentes aspectos como: sus objetivos y alcances, criterios para la descripción y localización de los edificios, criterios para la evaluación y clasificación de los daños, tipos de recomendaciones y medidas de emergencia propuestas, entre otros. El Apéndice E

presenta una comparación detallada de estas metodologías en sus aspectos fundamentales.

Los procesos realizados en los diferentes países no han sido independientes, por el contrario, los desarrollos de unos han servido de base para trabajos posteriores. Los primeros trabajos realizados en Japón y California, sirvieron como base para los trabajos del ATC 20 (1989a/b) y posteriormente el ATC 20i (2003) y el ATC 20-1 (2005) en Estados Unidos. Los trabajos de la Ex-República Yugoslava de Macedonia y Japón fueron utilizados en México en la evaluación de los daños del sismo de 1985 y sirvieron como base junto con el ATC-20 para las diferentes versiones realizadas posteriormente en 1995 y 1998.

Se considera, después de una lectura rigurosa de todos los documentos, que las metodologías más completas son la de la Ex-República Yugoslava de Macedonia, el ATC 20 de los Estados Unidos, la desarrollada por Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, la del Ministerio de la Construcción del Japón, el Servicio Sísmico Nacional de Italia, y los métodos desarrollados en Colombia por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS. Por esta razón se realiza un análisis más detallado de todo el proceso de evaluación y calificación sólo para estos métodos. Aunque los métodos de Turquía y Grecia se consideran bastante robustos, fueron analizados en menor detalle debido a que la mayoría de la bibliografía encontrada está en el idioma original (turco y griego).

Las metodologías en general son relativamente recientes, en casi todos los países los formularios y metodologías han sido sometidos a muchas revisiones debido al incremento de conocimientos después de cada sismo. Los procedimientos de evaluación de daños normalmente en algunos casos se aplican por medio de diferentes niveles o etapas de desarrollo, las cuales se han clasificado en evaluaciones rápidas y evaluaciones detalladas y evaluaciones de ingeniería, siendo las dos primeras el objeto de este estudio.

La evaluación rápida o de habitabilidad de los edificios se utiliza comúnmente para definir la posible ocupación y utilización del edificio a corto plazo. Después de la evaluación, los edificios pueden ser usados de manera segura después del sismo y adicionalmente se generan unas recomendaciones con el fin de reducir el riesgo de los habitantes.

Las metodologías detalladas o evaluaciones que describen el nivel de daño estructural y su clasificación pueden ser realizadas por muchos motivos, en general se hace con el objetivo de revisar la seguridad de aquellos edificios sobre los cuales se tiene alguna duda por los cortos alcances de la evaluación rápida y la poca experiencia de sus evaluadores. Este tipo de evaluación normalmente tiene otros objetivos que varían según el país, por ejemplo en Japón se hace con el fin de definir el uso a largo plazo de los edificios, por lo tanto el resultado de la evaluación es una sugerencia al propietario de que repare, refuerce o demuela su edificio, mientras que en Italia el propósito es evaluar globalmente las pérdidas económicas directas y calcular funciones de vulnerabilidad de edificios, ya que la decisión del uso a largo plazo del edificio se hace mediante una evaluación de ingeniería contratada independientemente por los propietarios, al igual que en Estados Unidos y México.

Los principales elementos para una metodología de evaluación de daños son: la clasificación de los daños, la definición de las posibilidades de uso de los edificios que sufrieron daños, la organización para la recogida de los datos y el análisis y procesamiento de la información. Por lo anterior se considera útil no sólo describir los diferentes métodos, sino comparar los formularios más recientes y criterios de evaluación de las diferentes metodologías con el fin de identificar las principales diferencias conceptuales, una comparación más completa de las metodologías existentes se presenta Carreño *et al.* (2005b).

### **2.3.3.1 Ex-República Yugoslava de Macedonia**

El Instituto de Ingeniería Sísmica y Sismología – IZIIS – de la Universidad “Kiril y Metodij”, después del sismo de Skopje en 1963 y de Montenegro en 1979 desarrolló una metodología para la evaluación de daños producidos por terremotos (Cardona 1985). Algunos de sus objetivos fundamentales fueron los siguientes:

- Disminución del número de víctimas y heridos que viven en edificios de baja resistencia o que han sido destruidas parcialmente y en el futuro pueden recibir réplicas del sismo principal que las lleven a un colapso total.
- Obtención de datos sobre la magnitud de la catástrofe en términos de viviendas utilizables, edificios destruidos o con peligro de colapso y edificios utilizables para acomodar la población.
- Creación de una base de datos para la predicción de futuras consecuencias en caso de terremotos en otras zonas sísmicas.
- Proveer datos para la planificación y organización de sistemas de protección civil y salvamento después de terremotos catastróficos.
- Identificar los principales elementos del daño sísmico y desarrollo de las funciones de vulnerabilidad para los diferentes tipos de edificios, con el propósito de planificar y definir acciones a corto y largo plazo que permitan la mitigación de las consecuencias en futuros terremotos.
- Mejoramiento de las especificaciones en los códigos de construcción y diseño sismorresistente.

Esta metodología cuenta con un solo formulario detallado bastante completo, por lo cual se presenta dentro de las evaluaciones detalladas en el Apéndice E.

### **2.3.3.2 Estados Unidos – ATC-20**

En el método propuesto por Applied Technology Council (ATC 1989a), el proceso de evaluación tiene tres etapas o procedimientos. El primero corresponde a una evaluación rápida en la cual se decide cuáles edificios son aparentemente seguros y cuales son obviamente inseguros. El segundo corresponde a la evaluación

detallada, en la cual a los edificios aparentemente seguros se les hace un examen visual más detallado por un ingeniero estructural.

Como resultado de la evaluación detallada se decide si las estructuras son seguras, potencialmente peligrosas o inseguras. Después de esta evaluación, cualquier evaluación más debe ser hecha por un ingeniero estructural con un estudio de vulnerabilidad más especializado.

La evaluación de ingeniería es más compleja y especializada. De acuerdo con los daños encontrados se recomiendan las reparaciones necesarias para que el edificio pueda tener una ocupación normal. Es posible también que como resultado de esta evaluación se recomiende su demolición. Esta debe ser realizada por un ingeniero consultor.

La Figura 2.6 muestra el proceso de evaluación que se sigue de acuerdo con el ATC 20.

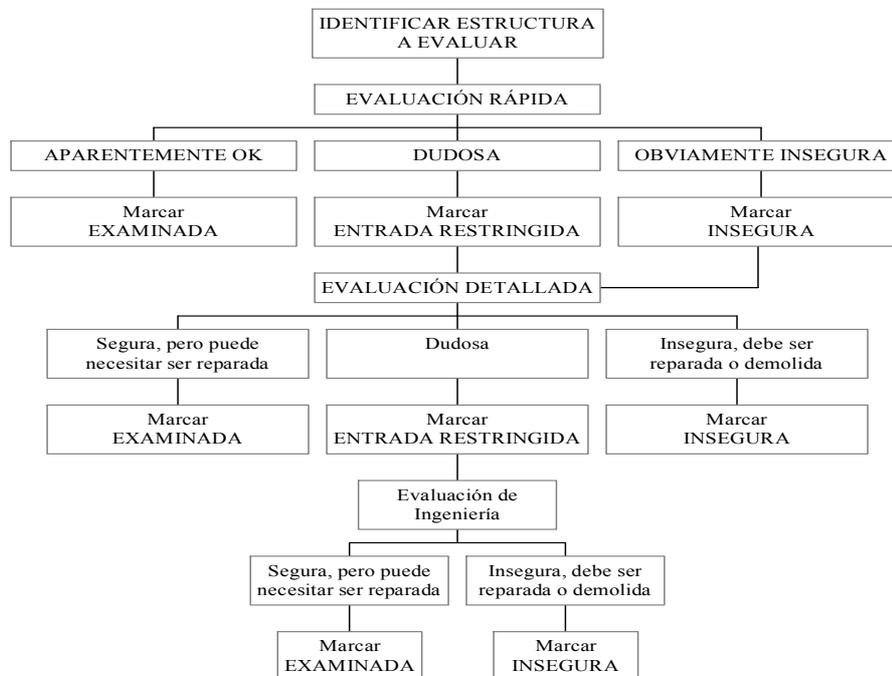


Figura 2.6. Proceso de evaluación de seguridad de edificios, método ATC- 20

El método se ha desarrollado en California desde 1978 con algunos procedimientos realizados por la Oficina de Servicios de Emergencia – OES que fueron posteriormente consolidados por Applied Technology Council, bajo el documento “Procedures for postearthquake safety evaluation of buildings” conocido como ATC 20 y publicado en 1989. Posteriormente en 1995, se realizó una segunda versión denominada “Addendum to the ATC 20 Postearthquake building safety evaluation procedures” y conocida como ATC 20-2 (ATC 1995). En 2003 se desarrolló un sistema para la recolección de datos en la evaluación de

daños, ATC 20i (2003). Además, en 2005 se publicó la segunda edición del “Field manual: postearthquake safety evaluation of buildings”, ATC 20-1 (2005).

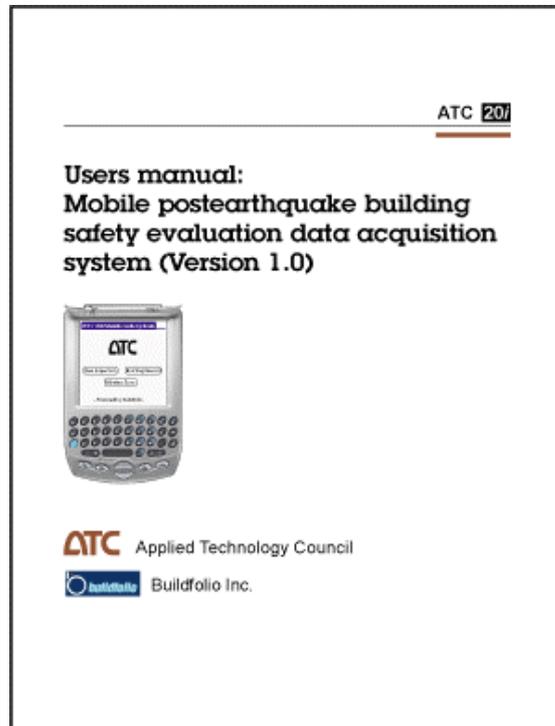


Figura 2.7. Manual del ATC 20i

El ATC 20i “Mobile Postearthquake Building Safety Evaluation Data Acquisition System” es una aplicación para un asistente personal digital (PDA en inglés) desarrollada para facilitar la recolección y gestión de seguridad y edificios dañados por sismos usando los procedimientos del ATC 20. Esta aplicación permite a los evaluadores completar los formatos de evaluación rápida y detallada del ATC 20 en campo, y además el envío de los datos electrónicamente al servidor del ATC, donde son guardados y tabulados para ser usados por las autoridades de la zona afectada por el terremoto.

### 2.3.3.3 Japón

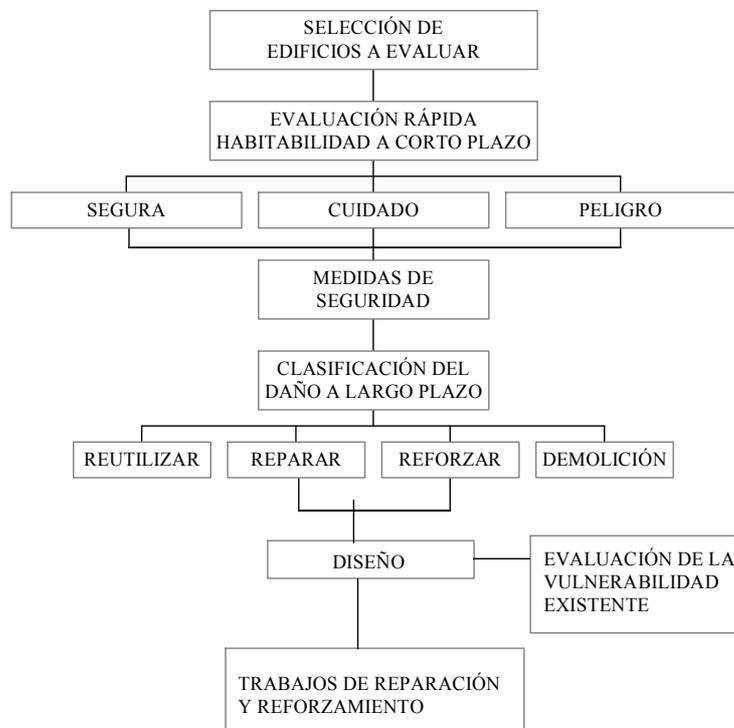
La experiencia en evaluación de daños en el Japón data desde 1978 después del terremoto de Miyagiken- Oki. En esa ocasión se vio la importancia de tener una metodología apropiada para la inspección de edificios después de un sismo.

Un programa de investigación se inició en 1981 llevando a la publicación en 1985 de las “Guías para inspección de daños después de un sismo y técnicas de restauración”. La metodología fue probada después del terremoto de 1983 Nihonkai- Chubu y después del terremoto de México de 1985. La metodología fue revisada en 1989 y publicada por la Asociación Japonesa para la Prevención de

Desastres en Edificios. La evaluación consiste en dos procedimientos a seguir: una evaluación inmediata del nivel de riesgo o habitabilidad y una evaluación del nivel de daño estructural y su clasificación. En el primero se define si la estructura dañada o una parte de ella representa peligro para la vida humana, ya sea por vuelco, fallo o desplome. En el segundo los resultados de la inspección se basan en las características de los daños que exhiba el edificio, en la Figura 2.8 se presenta un diagrama de este procedimiento.

El método de evaluación presenta dos etapas. En la primera, se determina el nivel de daño para cada concepto a investigar, en la que a cada uno de los puntos considerados por inspeccionarse se le asocia un nivel de daño (A, B o C). En la segunda, se obtiene el nivel de riesgo de inestabilidad estructural basado en los niveles de daño. El resultado de la evaluación permite emitir un dictamen sobre la necesidad de rehabilitación de la estructura (reparación, reforzamiento o demolición) el cual es sugerido al propietario. Se utiliza un sistema de avisos de clasificación de los edificios.

Las evaluaciones son desarrolladas sólo para edificios con dos o tres pisos y más de un propietario. Los edificios al ser evaluados son seleccionados mediante una inspección general después del sismo. Debido a la privacidad de los ciudadanos los resultados de inspección de habitabilidad son considerados sólo una sugerencia para éstos. Las recomendaciones sólo son obligatorias si está involucrada la seguridad de vecinos y transeúntes. Esta metodología fue traducida al español en CENAPRED(1996 a/b).



**Figura 2.8. Procedimiento de evaluación de daño por sismo en edificios, método japonés**

### 2.3.3.4 México

El Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México – UNAM desarrolló el “Manual de evaluación postsísmica de la seguridad estructural de edificaciones”, basado en investigaciones realizadas para el Departamento del Distrito Federal y publicado por el Instituto de Ingeniería como documento No 569 en septiembre de 1995 (Rodríguez y Castrillón 1995). Posteriormente, la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica y la Secretaría de Obras y Servicios del Gobierno del Distrito Federal publicaron una versión corregida bajo el mismo nombre “Manual de evaluación postsísmica de la seguridad estructural de edificaciones” en 1998 (SMIS 1998).

Al igual que el proceso propuesto por el ATC 20, en este método se proponen tres niveles de evaluación: una evaluación rápida, una detallada, y una evaluación especializada que debe ser hecha por una oficina de ingeniería. A diferencia del ATC 20, en el cual se proponen unos aspectos a evaluar, en este método se proponen niveles de daño dependiendo del sistema estructural del edificio; en esto se asemeja al método japonés, un diagrama de estos procedimientos se presenta en la Figura 2.9.

El objetivo principal de la primera fase de evaluación es dictaminar si los edificios que soportaron un sismo pueden mantener su uso o si el ingreso a ellas debe ser restringido o prohibido. Con esta información se intenta estimar la magnitud del desastre, identificando las características generales de los daños, lo que puede influir en mejoras o cambios en los reglamentos de construcción vigentes.

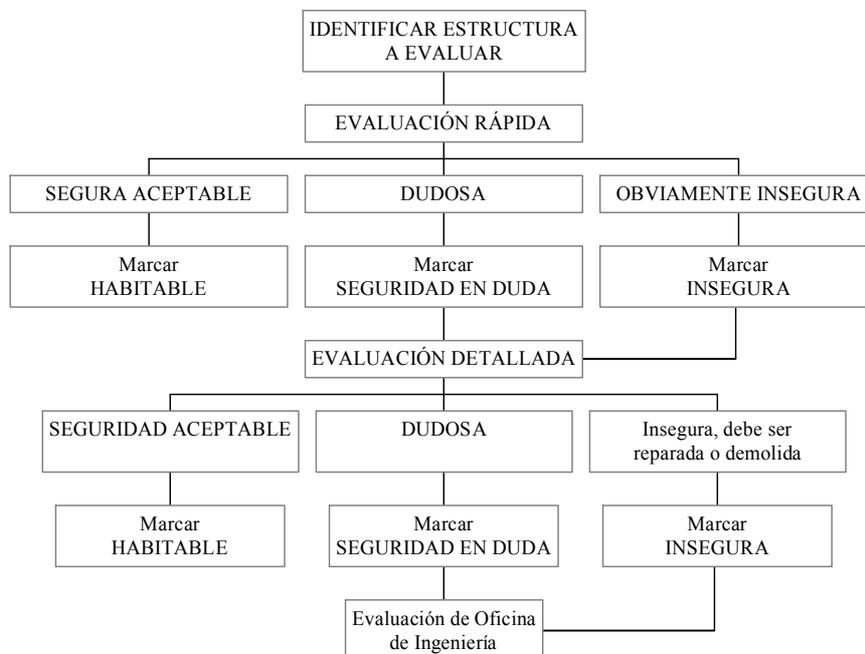


Figura 2.9. Procedimiento de evaluación de daño por sismo en edificios, método mexicano

### 2.3.3.5 Italia

En Italia el propósito principal de la evaluación realizada después del terremoto de Friuli en 1976 fue la evaluación de daños para la cuantificación de las pérdidas económicas. Después del terremoto de Irpinia en 1980 la necesidad de contar con procedimientos para la evaluación de la habitabilidad fue evidente, sin embargo después del sismo no se hizo ningún esfuerzo con relación a desarrollar una metodología apropiada y los procedimientos y formatos variaron de un sismo a otro. Algunas propuestas académicas fueron publicadas (Goretti 2001).

Un programa de investigación dirigido a introducir los primeros niveles de habitabilidad y de inspección de daños empezaron en 1995, pero en 1997 ocurrió el terremoto de Umbría- Marche y los formatos no estaban en su versión final pero fueron utilizados. Con lo ocurrido en este sismo el formato fue revisado y probado en el terremoto de 1998 en Pollino. La versión final, con el manual fue publicada en el 2000.

Las inspecciones de edificios son realizadas por solicitudes de los ciudadanos al alcalde de la ciudad quien la remite al Centro de Coordinación de Evaluación de Daños, normalmente localizado en la zona epicentral. Las evaluaciones de edificios son recopiladas en este centro. Si se sugiere por los evaluadores el alcalde promulga decretos de evacuación o de uso limitado. Las medidas de control o mitigación sugeridas por los evaluadores, cuando son incorporadas en los decretos se convierten en obligatorias. No se usa el sistema de avisos pegados en los edificios. La Figura 2.10 presenta un diagrama de los procedimientos que sigue esta metodología.

Los daños son evaluados nuevamente por los diseñadores cuando el gobierno apoya financieramente la reparación de los edificios, ya que estas dependen del nivel de daño y de la necesidad de reforzamiento (vulnerabilidad).

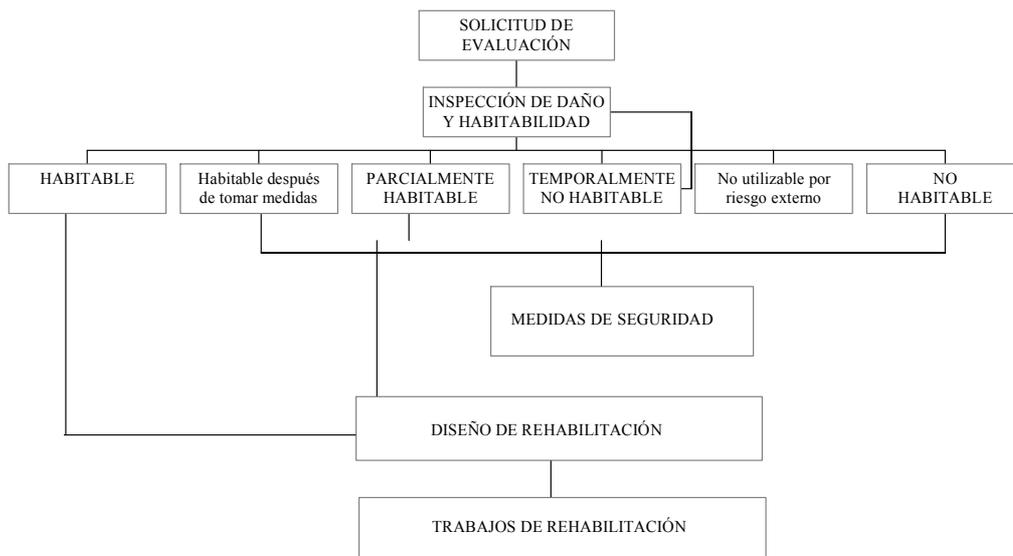


Figura 2.10. Procedimiento de evaluación de daños y habitabilidad, método italiano

Desde 1992, el Servizio Sismico Nazionale ha estado desarrollando un sistema de información y apoyo a la toma de decisiones llamado SIGE con el fin de apoyar la evaluación y reducción del riesgo sísmico y el manejo de emergencias en Italia (Soddu y Martini 2003). Con este sistema, actualmente, después de un sismo de magnitud mayor o igual a 5, la autoridad italiana de Protección Civil puede simular en tiempo real mediante un programa el escenario de pérdidas, utilizando como datos de entrada las coordenadas del epicentro y su magnitud. En poco tiempo el sistema describe el territorio en un radio de 50 km desde el epicentro y da una primera estimación de las pérdidas (población, viviendas y pérdidas económicas).

Además, el Servizio Sismico Nazionale está implementando los resultados del proyecto europeo EGERIS (European Generic Emergency Response Information System). El objetivo de este proyecto es proveer a las organizaciones de protección civil y a las autoridades nacionales y regionales relacionadas con el manejo de emergencias la tecnología más reciente en información y comunicación (Information and Communication Technologies, ICT) para apoyar sus operaciones en campo. Este objetivo se busca en tres niveles: *a)* dotar a los equipos en campo de dispositivos portátiles (PDA con receptores GPS); *b)* crear centros de comando móviles en vehículos, cerca de los “puntos críticos” y que coordinen los equipos en campo, dotados a bordo con dispositivos como ordenadores portátiles y receptor de GPS; y *c)* una sala de mando que albergue la dirección local y las interfases con funciones auxiliares (apoyo técnico y científico, asistencia médica, evaluación de daños, etc.) incluyendo reporte al nivel superior de la organización<sup>3</sup>.

En este proyecto se realizaron pruebas para tres escenarios: incendios forestales (Francia), inundaciones (República Checa) y un escenario sísmico (Italia). Las pruebas se enfocaron en tres puntos: *a)* el estado de las vías, *b)* encuesta macro sísmica para producir en tiempo real un mapa de intensidad macrosísmica actualizado, y *c)* la evaluación de daños en edificios (Soddu y Martini 2003).

Por otro lado en Italia se ha desarrollado una herramienta multimedia llamada MEDEA, *Manuale di Esercitazioni sul Danno Ed Agibilità*. (Papa y Zuccaro 2003; Zuccaro y Papa 2002). El MEDEA fue desarrollado como: *a)* un manual para la categorización de los elementos estructurales en edificios de mampostería y concreto reforzado y de sus tipologías de daño; *b)* herramienta de enseñanza para el entrenamiento de técnicos involucrados en las evaluaciones de daños y seguridad después de un sismo; *c)* herramienta de apoyo para completar un formulario de inspección mas detallada que los usados normalmente en Italia; *d)* herramienta guía para una evaluación macro sísmica en campo; *e)* una herramienta de enseñanza para se utilizada en diferentes niveles en cursos universitarios en el campo de la ingeniería sísmica o la gestión de emergencias.

---

<sup>3</sup> Ver la página Web <http://www.egeris.org/>



Figura 2.11. Presentación del MEDEA<sup>4</sup>

La parte más importante del MEDEA la constituye un catálogo de los principales daños en elementos estructurales y no estructurales de edificios en mampostería, ayuda a la clasificación de estos daños por su interpretación como posibles mecanismos de colapso.

### 2.3.3.6 Colombia

En Colombia se han realizado trabajos en este campo en varias ciudades que se han ido ajustando con los diferentes sismos ocurridos. A raíz de los decretos expedidos por el gobierno nacional como consecuencia del terremoto de enero de 1999 en el Eje Cafetero del país, se dictaron disposiciones para la elaboración de un censo de inmuebles afectados. El censo buscaba la evaluación de los inmuebles para la adjudicación de subsidios de reparación y reconstrucción. Se especificó el nivel de la información y se definió la necesidad de un reconocimiento técnico especializado de la calificación y cuantificación de los daños estructurales, arquitectónicos y de servicios, en cada una de las viviendas e inmuebles afectados. Para este censo se desarrolló una metodología seis meses después de ocurrir el sismo. Se propusieron dos niveles de evaluación: una evaluación general y una detallada. La primera permitió hacer una revisión rápida del total de inmuebles existentes en el Eje Cafetero (320.000). La segunda permitió conocer con precisión el grado de afectación de aquellos inmuebles que habían sufrido daños. A diferencia de los anteriores, esta metodología fue diseñada para evaluar la afectación individual de cada inmueble y después del conjunto del edificio.

En los últimos años se han realizado trabajos importantes, con el fin de mejorar el conocimiento de la peligrosidad sísmica y para reducir el riesgo sísmico

<sup>4</sup> Ver detalles en la página Web <http://www.carprogetti.it/>

en los edificios, por lo que además del cumplimiento de los requisitos de diseño y construcción sismorresistente para edificios nuevos, se han llevado a cabo estudios de vulnerabilidad sísmica de edificios de importancia especial e instituciones educativas, con el fin de definir las necesidades y criterios de reforzamiento de sus estructuras. Dentro de esta política de reducción del riesgo sísmico, la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS, desarrolló un nuevo método que es de uso oficial en las ciudades de Bogotá y Manizales. Esta metodología incluyó un formulario único y una guía de campo diseñada para evaluar de manera específica cada uno de los edificios afectados, con el objetivo principal de determinar la seguridad de las construcciones, identificar aquellas que son obviamente peligrosas, las que pueden ser habitables, las que deben tener un uso restringido, las que no son habitables o presentan peligro de colapso por la presencia de daños severos o de elementos que amenazan la vida en un sector específico del edificio. Después de revisar y conocer las virtudes y deficiencias de todas las metodologías desarrolladas hasta la fecha, se concluye que la metodología implementada por la de AIS en Colombia es la más moderna y más depurada. Por esta razón muchos de sus aportes y enfoques han sido considerados en el desarrollo de este trabajo (AIS 2003).



### **3 EVALUACIÓN *EX ANTE* DEL RIESGO SÍSMICO. EVALUACIÓN HOLÍSTICA DEL RIESGO EN CENTROS URBANOS**

#### **3.1 Propuesta de evaluación holística del riesgo sísmico en centros urbanos utilizando indicadores**

##### **3.1.1 Enfoque metodológico utilizando indicadores**

El primer paso para una adecuada gestión de riesgos es identificar y estudiar el riesgo al que se está expuesto. En este capítulo se propone, para el caso de un centro urbano, una metodología de evaluación del riesgo sísmico desde una perspectiva integral u holística que incluye, además del riesgo físico, variables económicas, sociales y de capacidad de respuesta a una emergencia. Esta metodología puede ser utilizada para orientar la toma de decisiones en la gestión de riesgos identificando zonas de la ciudad que pueden ser especialmente problemáticas en caso de un evento catastrófico, no sólo por el daño físico que pueden presentar, sino también por las características socio-económicas y la falta de capacidad para la responder y recuperarse en caso de desastre que pueden agravar la situación.

Teniendo en cuenta el nivel espacial al cual se trabaja cuando se hacen evaluaciones de riesgo sísmico a escala urbana es necesario contar con información acerca de daños y pérdidas en los elementos expuestos que caracterizan la ciudad (edificaciones, infraestructura, instalaciones, etc.).

Esta metodología identifica las circunstancias que favorecen que un fenómeno intenso se convierta en un desastre, con el fin de anticiparse y poder intervenir dichas circunstancias y así disminuir el impacto de los futuros eventos peligrosos. El enfoque de esta técnica de evaluación del riesgo, tiene una gran

influencia en la efectividad de la gestión del riesgo. Si la evaluación, por ejemplo, identifica aspectos factibles de intervenir, es mucho más eficaz que si sus resultados se limitan a identificar la existencia de debilidades o deficiencias.

Esta metodología está planteada para que pueda ser utilizada en la evaluación del riesgo debido a otras amenazas naturales, también es posible su adaptación al caso de evaluaciones de riesgo multi-amenaza.

### **3.1.2 Desarrollo de la metodología**

El método propuesto tiene como punto de partida el modelo de Cardona (2001), explicado en la sección 2.1.3.3 de esta tesis. Para el desarrollo de esta metodología se partió de un estudio crítico del modelo de Cardona, se identificaron sus virtudes y debilidades, y con los resultados obtenidos la metodología pudo ser modificada.

El modelo de Cardona permite tener una visión más completa de la situación de riesgo sísmico de un centro urbano. Permite tener en cuenta características importantes relacionadas con el riesgo físico, la amenaza sísmica, la exposición física, la fragilidad socio-económica y la falta de resiliencia, identificando así las características de la ciudad que contribuyen al empeoramiento del nivel de riesgo e identificando también las zonas más críticas. Este método permite el análisis conjunto de información de diferente naturaleza mediante el uso de indicadores. El modelo aplica procesos de normalización utilizando la media y la desviación estándar para cada indicador y posteriormente para cada índice que calcula. Esto hace imposible que sus valores sean comparables a los obtenidos para otra ciudad, es decir, los valores resultantes sólo pueden ser vistos en conjunto y de forma relativa entre ellos, comparando así las diferentes zonas de un centro urbano. Este método tiene en cuenta la amenaza sísmica, la exposición física y el riesgo físico como tres elementos separados, pero el riesgo físico es calculado como la convolución entre la exposición y la amenaza, por esto es posible que tanto la amenaza como la vulnerabilidad estén siendo tenidas en cuenta dos veces.

El método aquí propuesto conserva el enfoque basado en indicadores, se eliminan los procesos de normalización, utilizando la media y desviación estándar, para cada descriptor y cada índice calculado, haciendo que los resultados obtenidos sean absolutos y no relativos, y se pueda comparar así el riesgo en diferentes ciudades. En este método, la amenaza sísmica y la exposición física han sido eliminadas debido a que se considera que estas están contempladas dentro del cálculo del riesgo físico. En el modelo de Cardona la densidad de población era incluida como descriptor componente de la exposición del contexto (Figura 2.5), pero se consideró que debía formar parte de la fragilidad social y no eliminarla como parámetro del estudio. La metodología propuesta mejora aspectos metodológicos y conceptuales y refina las técnicas matemáticas utilizadas, logrando una herramienta más versátil. Las mejoras conceptuales hacen que el modelo propuesto sea más sólido teóricamente y analíticamente, eliminando pasos que se consideran innecesarios. Cardona (2001) sugiere también el uso de un sistema neuronal difuso como herramienta para la evaluación del riesgo sísmico en centros urbanos desde la perspectiva holística, utilizando los conjuntos difusos para

identificar las calificaciones lingüísticas para cada descriptor, el modelo propuesto conserva el uso de los conjuntos difusos, pero ahora en una forma diferente. Otro cambio en el modelo aquí propuesto son las unidades en que se expresan los descriptores utilizados, prefiriendo en algunos casos tener su relación respecto a la población de la zona de estudio y no respecto al área como se utilizaba en el modelo de Cardona.

La evaluación holística del riesgo sísmico se realiza a partir de variables de entrada que describen tanto al riesgo físico como la fragilidad socio-económica y la falta de resiliencia del centro urbano, que aquí se denominarán descriptores. Los descriptores de riesgo físico se obtienen a partir de información existente de riesgo físico (como escenarios de daños) y los de fragilidad socio-económica y la falta de resiliencia a partir de información existente de la ciudad. Estas últimas son factores que agravan el riesgo físico, o impacto directo de un evento, y que serán llamadas condiciones de agravamiento, así el riesgo total puede expresarse

$$R_T = R_F(1 + F) \quad (3.1)$$

Esta expresión se conoce como la *ecuación de Moncho*, donde  $R_T$  es el riesgo total,  $R_F$  es el riesgo físico y  $F$  es un coeficiente de agravamiento que depende de la fragilidad socio-económica,  $FS$ , y de la falta de resiliencia del contexto,  $FR$ . El riesgo total, para el caso sísmico puede ser llamado también  $USRi$  por su denominación en inglés, Urban Seismic Risk Index.

$$USRi = R_F(1 + F) \quad (3.2)$$

El riesgo físico  $R_F$  se obtiene mediante la suma ponderada de factores de riesgo físico,

$$R_F = \sum_{i=1}^p w_{RFi} \times F_{RFi} \quad (3.3)$$

donde  $F_{RFi}$  son los factores de riesgo físico,  $w_{RFi}$  es el peso para cada factor y  $p$  es el número total de descriptores de riesgo físico. Los pesos suman 1 y se obtienen utilizando el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) que es descrito en el Apéndice B. La Tabla 3.1 presenta los descriptores propuestos para el riesgo físico y las unidades en las cuales se utilizan.

Tabla 3.1. Descriptores de riesgo físico, sus unidades e identificadores

Descriptor		Unidades
$X_{RF1}$	Área destruida	% (área destruida / área construida)
$X_{RF2}$	Muertos	Número de heridos cada 1 000 habitantes
$X_{RF3}$	Heridos	Número de muertos cada 1 000 habitantes
$X_{RF4}$	Roturas red de acueducto	Número de roturas / Km
$X_{RF5}$	Roturas red de gas	Número de roturas / Km
$X_{RF6}$	Longitud de redes eléctricas caídas	m de longitud caída / Km
$X_{RF7}$	Vulnerabilidad de centrales telefónicas	Índice de vulnerabilidad
$X_{RF8}$	Vulnerabilidad subestaciones eléctricas	Índice de vulnerabilidad
$X_{RF9}$	Daño en la red vial	Índice de daño

Los factores de riesgo físico se obtienen utilizando funciones de transformación, con las que conocido el valor bruto de cada descriptor (número de fallecidos, área destruida, etc.) se obtiene el valor de cada factor de riesgo físico, el cual toma un valor entre 0 y 1. Estas funciones son explicadas en detalle en la sección 3.1.3.

En forma similar se calcula el coeficiente de agravamiento,  $F$ , de la suma ponderada de los factores de agravamiento por fragilidad social,  $F_{FSj}$ , y por falta de resiliencia,  $F_{FRj}$

$$F = \sum_{i=1}^m w_{FSi} \times F_{FSi} + \sum_{j=1}^n w_{FRj} \times F_{FRj} \quad (3.4)$$

donde  $w_{FSi}$  y  $w_{FRj}$  son pesos que toman en consideración su importancia relativa, suman 1 y son calculados utilizando el Proceso Analítico Jerárquico,  $m$  y  $n$  indican el número total de descriptores para fragilidad socio-económica y falta de resiliencia respectivamente.

$$\sum_{i=1}^m w_{FSi} + \sum_{j=1}^n w_{FRj} = 1 \quad (3.5)$$

La Tabla 3.2 presenta los descriptores propuestos para conformar el coeficiente de agravamiento por fragilidad social y falta de resiliencia. En la Tabla 3.3 y la Tabla 3.4 se observan los descriptores con las unidades utilizadas.

Los factores de agravamiento son calculados mediante las funciones de transformación de la Figura 3.3 y la Figura 3.4, que relacionan los valores brutos de las variables o descriptores que representan la fragilidad social y la resiliencia con los valores correspondientes del agravamiento. El peso  $w_{FS}$  o  $w_{FR}$  de cada factor  $F_{FSi}$  o  $F_{FRj}$  se calcula utilizando el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) que es explicado en el Apéndice B.

La Figura 3.1 ilustra el esquema de cálculo del riesgo total a partir de los factores de riesgo físico y de agravamiento, así como los pesos utilizados en cada caso (Carreño *et al.* 2006a).

**Tabla 3.2. Descriptores utilizados para estimar el coeficiente  $F$**

Aspecto	Descriptor
Fragilidad social	Área de barrios marginales
	Tasa de mortalidad
	Tasa de delincuencia
	Índice de disparidad social
	Densidad de la población
Falta de resiliencia	Camas hospitalarias
	Recurso humano en salud
	Espacio público
	Personal de socorro
	Nivel de desarrollo de la localidad
	Operatividad en emergencias

**Tabla 3.3. Descriptores de agravamiento por fragilidad social, sus unidades e identificadores**

	Descriptor	Unidades
$X_{FS1}$	Área de barrios marginales	Área barrios marginales / Área localidad
$X_{FS2}$	Tasa de mortalidad	Número de muertos cada 10 000 habitantes
$X_{FS3}$	Tasa de delincuencia	Número de delitos cada 100 000 habitantes
$X_{FS4}$	Índice de disparidad social	Índice entre 0 y 1
$X_{FS5}$	Densidad de población	Habitantes / Km <sup>2</sup> de área construida

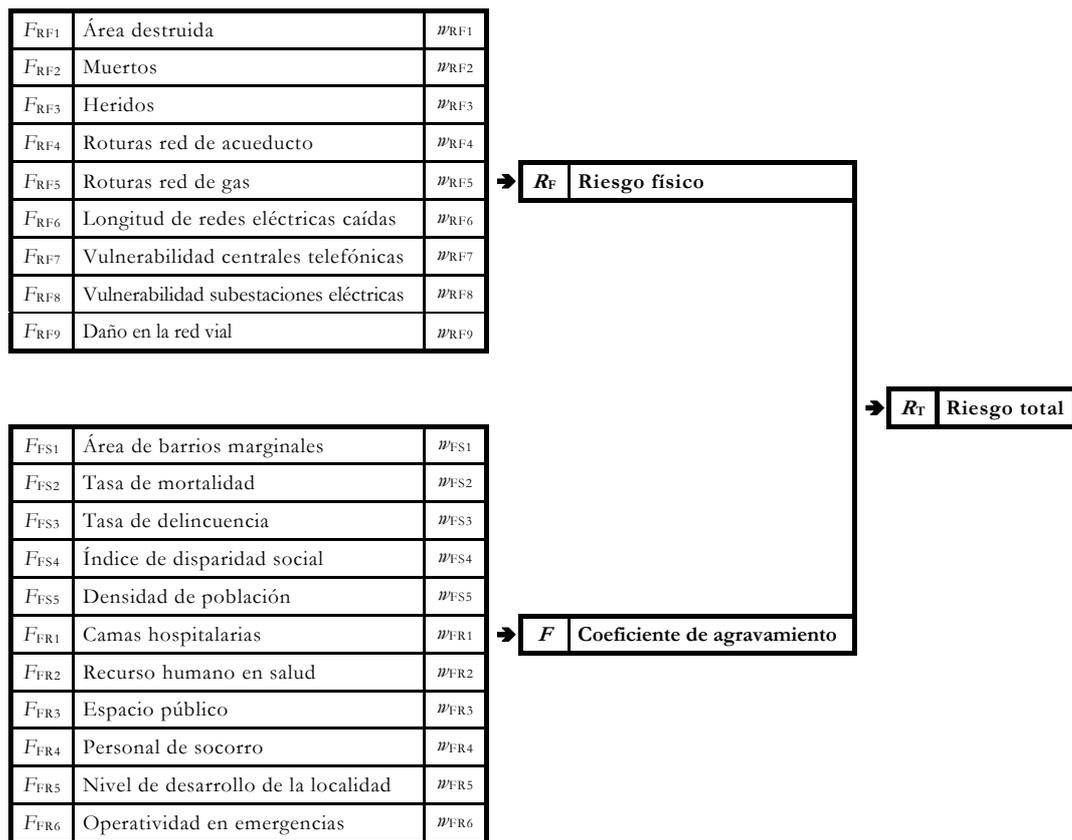
**Tabla 3.4. Descriptores de agravamiento por falta de resiliencia, sus unidades e identificadores**

	Descriptor	Unidades
$X_{FR1}$	Camas hospitalarias	Número de camas cada 1 000 habitantes
$X_{FR2}$	Recurso humano en salud	Recurso humano en salud cada 1 000 habitantes
$X_{FR3}$	Espacio público	Área de espacio público/ Área total
$X_{FR4}$	Personal de socorro	Personal de socorro cada 10 000 habitantes
$X_{FR5}$	Nivel de desarrollo de la localidad	Calificación de 1 a 4
$X_{FR6}$	Operatividad en emergencias	Calificación de 0 a 2

Según Zapata (2004) de acuerdo con la experiencia de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, aunque los efectos económicos indirectos de un desastre natural dependen del tipo de fenómeno (CEPAL 2003), se puede considerar apropiado que si se trata de desastre “húmedo” (por ejemplo, causado por una inundación) los efectos económicos indirectos podrían llegar a ser del orden del 50% al 75% de los efectos directos. Por otra parte, en el caso de un

desastre “seco” (por ejemplo, un sismo), los efectos indirectos podrían llegar a ser del orden de 75% al 100% de los efectos directos. La diferencia radica en el tipo de daños que ocasionan (destrucción de cultivos, de medios de sustento, infraestructura, vivienda, etc.). Esto significa que el impacto total podría ser del orden de 1.5 y 2 veces el impacto directo. Teniendo en cuenta esta apreciación general y para simplificar aquí se asume que el impacto indirecto de un evento, representado por  $F$  en la ecuación (3.1), puede llegar a ser del mismo orden que el impacto directo. Es decir, que como máximo, el impacto total –que aquí corresponde al índice de riesgo total  $R_T$ – corresponde al doble del impacto directo –que aquí se representa con el índice de riesgo físico  $R_F$ –. Esto se ve reflejado en la ecuación (3.1) donde el coeficiente de agravamiento  $F$  toma un valor entre 0 y 1, y por lo tanto se asume que  $R_T$  podría ser máximo 2 veces  $R_F$ .

Mediante el procedimiento descrito, para un centro urbano conformado por un conjunto de áreas suburbanas, tales como alcaldías menores, distritos, localidades o comunas, la evaluación holística del riesgo para cada una de las unidades de análisis se hace a partir de la estimación de los factores de riesgo sísmico físico y de agravamiento por fragilidad social y falta de resiliencia.



**Figura 3.1.** Factores de riesgo físico, fragilidad social y falta de resiliencia y sus pesos

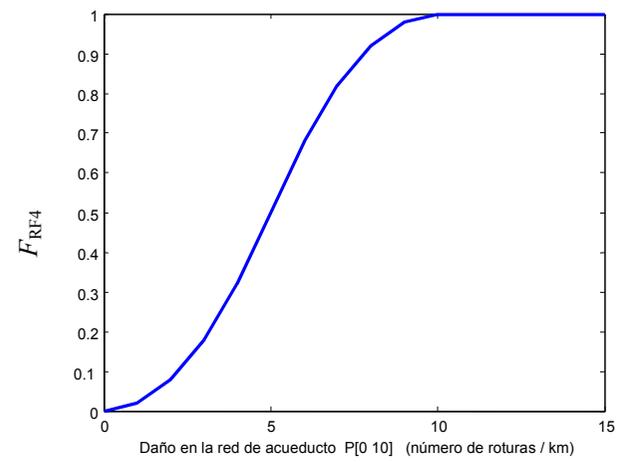
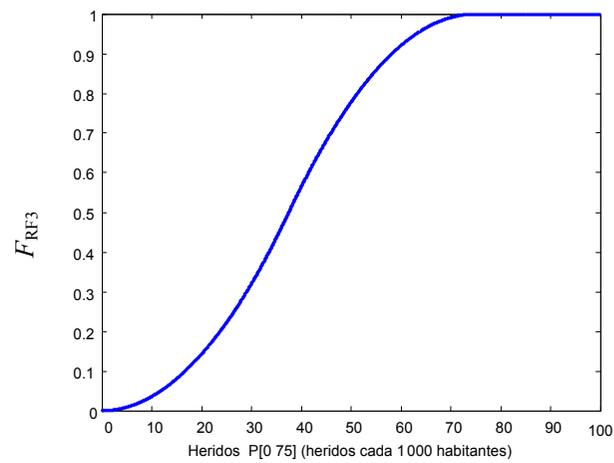
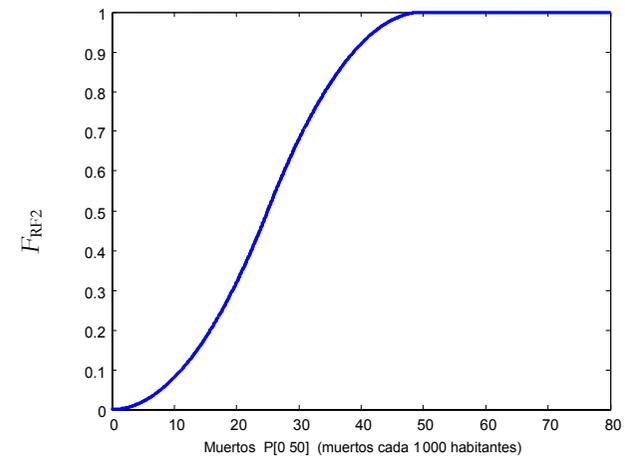
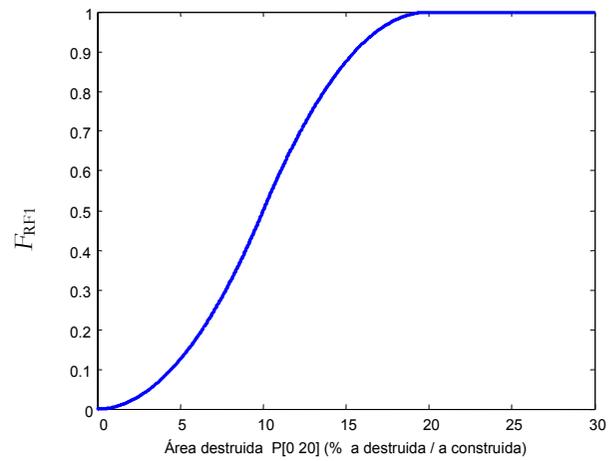
### 3.1.3 Funciones de transformación

Estas funciones de transformación pueden ser entendidas como funciones de distribución de probabilidad del riesgo y del agravamiento o como las funciones de pertenencia de las calificaciones lingüísticas *alto riesgo* o *alto agravamiento* (conjunto difuso, Apéndice C). En el caso de las funciones para los factores de riesgo, estas también pueden verse como funciones de riesgo aceptable para un centro urbano.

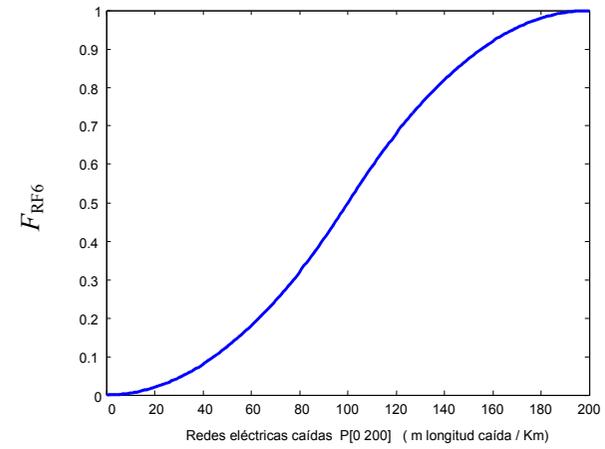
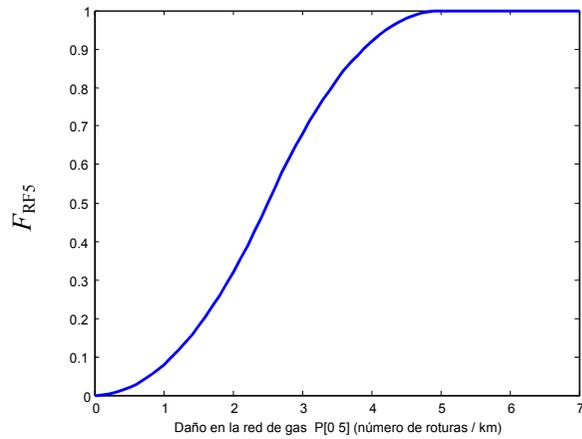
Expresar el resultado del índice  $R_F$  y de  $F$  como una combinación lineal de indicadores relativos implica que no existe interacción entre los mismos o entre dichas variables y los pesos que se utilizan en la ponderación. Esto no es muy realista pero en ocasiones se ha considerado aceptable teniendo en cuenta las incertidumbres e imprecisiones inherentes de los datos y para efectos de simplificación. Obtener índices de riesgo mediante funciones no lineales que se vayan perfeccionando paulatinamente puede llegar a ser más adecuado y deseable, dada la complejidad asociada con la noción de riesgo y debido a que permite hacer comparaciones entre los resultados. Esto no se podría realizar si éstos son sólo valores relativos al interior del área geográfica analizada. Para este efecto es necesario asumir ciertas formas de las funciones y sus valores extremos con el apoyo de expertos, teniendo en cuenta la información existente sobre desastres anteriores.

En el caso del riesgo, la mayoría de estas funciones –que tendrían un papel normativo o referencial– podrían adoptar formas sigmoideas, dado que se considera que son las formas más apropiadas y que se han utilizado ampliamente en la estimación de la vulnerabilidad física. El uso del mismo grupo de funciones para obtener los factores del índice  $R_F$  y de  $F$  resuelve el problema de la inconmensurabilidad de las unidades de los descriptores y establece un esquema normativo unificado para la valoración del riesgo (Carreño *et al.* 2005d).

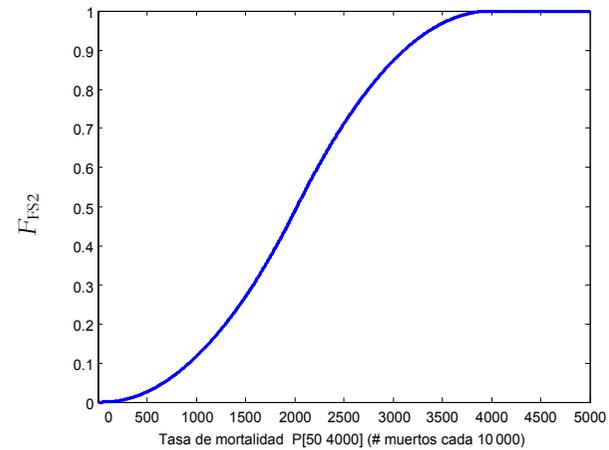
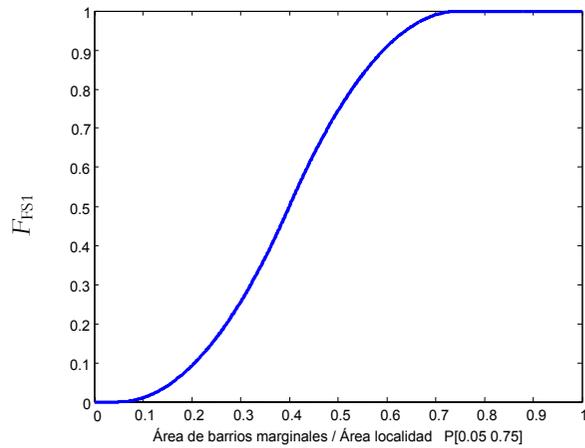
Para determinar las funciones que dan origen a los valores de los factores de riesgo físico y de agravamiento se utilizaron en su mayoría funciones sigmoideas (véanse la Figura 3.2 a la Figura 3.4). En estas figuras se indican, en la parte inferior de cada curva, los valores a partir de los cuales el factor toma el valor máximo o mínimo (1 ó 0). Los valores límites se determinaron teniendo en cuenta información de desastres causados por fenómenos naturales anteriores y apreciaciones de expertos. En el *eje x* de las funciones de transformación están los valores de los descriptores y en el *eje y* el respectivo factor de riesgo o agravamiento.



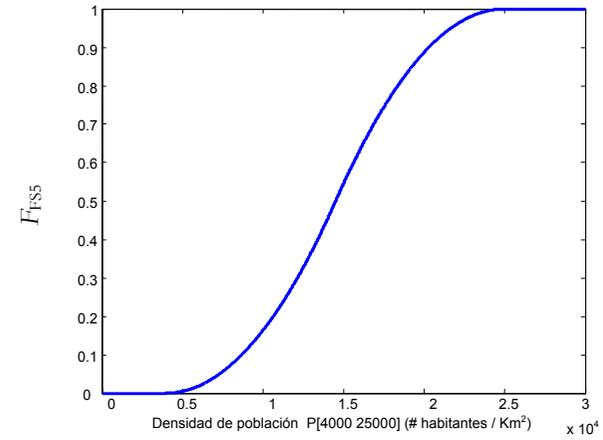
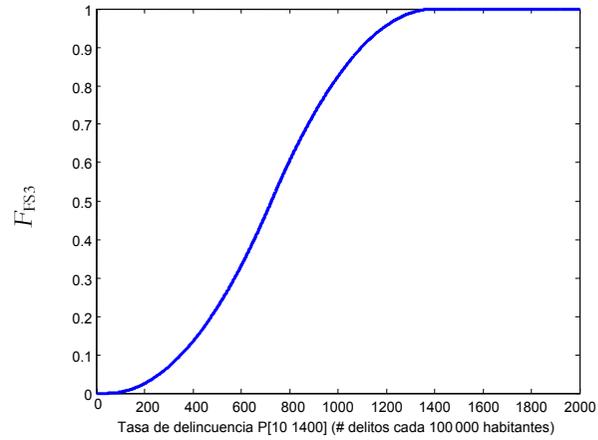
**Figura 3.2a. Funciones de transformación utilizadas para obtener los factores de riesgo físico**



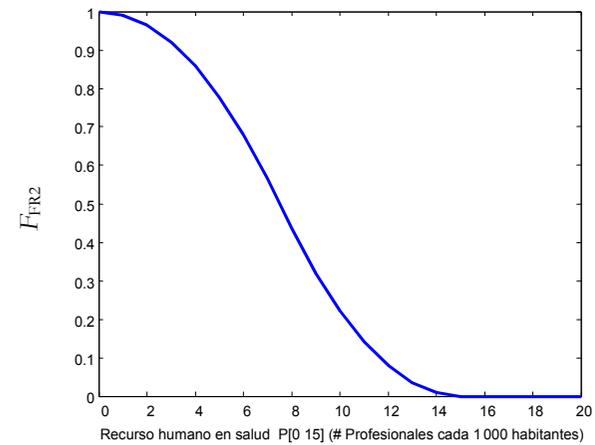
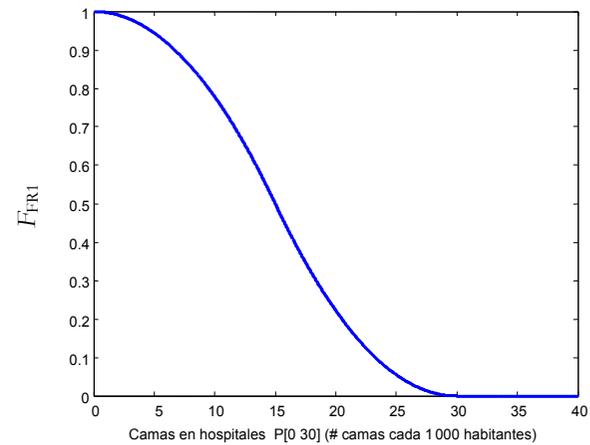
**Figura 3.2b. Funciones de transformación utilizadas para obtener los factores de riesgo físico**



**Figura 3.3a. Funciones de transformación utilizadas para obtener los factores de agravamiento por fragilidad social**



**Figura 3.3b. Funciones de transformación utilizadas para obtener los factores de agravamiento por fragilidad social**



**Figura 3.4a. Funciones de transformación utilizadas para obtener los factores de agravamiento por falta de resiliencia**

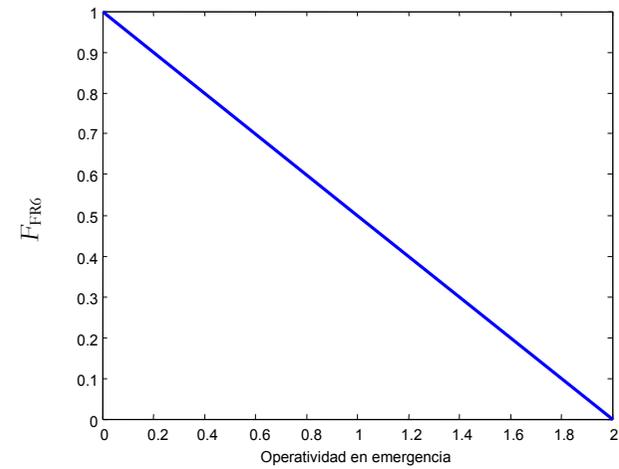
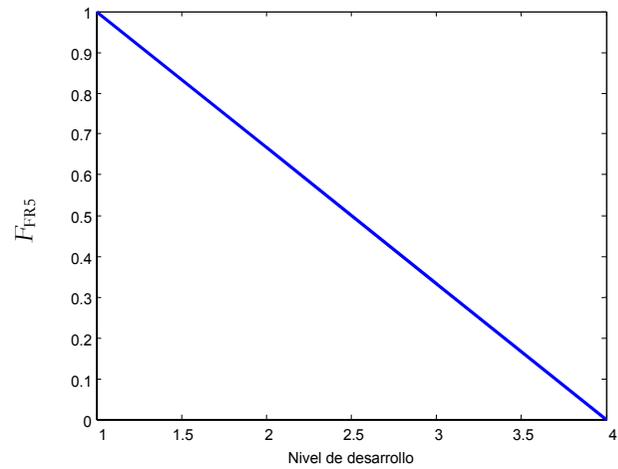
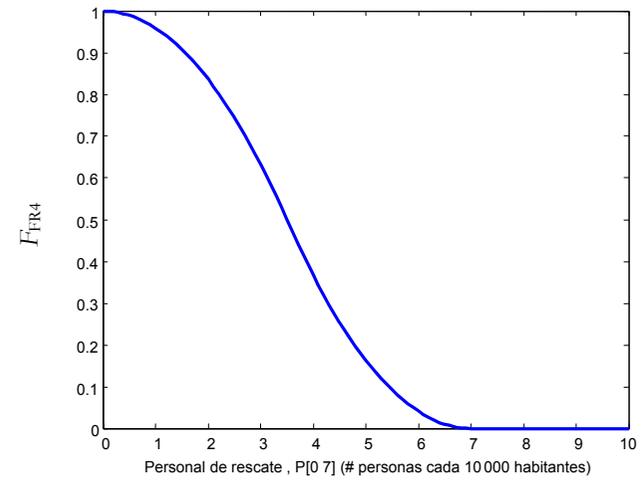
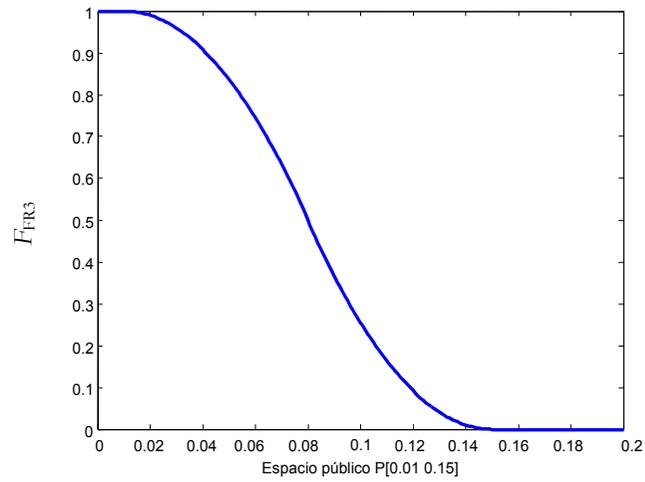


Figura 3.4b. Funciones de transformación utilizadas para los factores de agravamiento por falta de resiliencia

### 3.1.3.1 *Descriptores de riesgo físico*

Para determinar los valores máximos y mínimos de las curvas de riesgo físico sísmico se utilizaron valores existentes de efectos de sismos ocurridos, como el número de fallecidos en diversos terremotos (Tabla 3.5).

**Tabla 3.5. Terremotos más letales del siglo XX (Coburn y Spence 2002)**

Ranking	Fallecidos	Año	Terremoto	País	Magnitud
1	242 800	1976	Tangshan	China	7.8
2	234 120	1920	Kansu	China	8.5
3	142 807	1923	Kanto	Japón	8.3
4	83 000	1908	Messina	Italia	7.5
5	66 794	1970	Ancash	Perú	7.7
6	60 000	1935	Quetta	Pakistán	7.5
7	40 912	1927	Tsinghai	China	8.0
8	35 500	1990	Mandil	Irán	7.3
9	32 700	1939	Erzincan	Turquía	8.0
10	32 610	1915	Avezzano	Italia	7.5
11	28 000	1939	Chillan	Chile	7.8
12	25 000	1988	Armenia	USSR	6.9
13	23 000	1976	Guatemala	Guatemala	7.5
14	20 000	1905	Kangra	India	8.6
15	19 800	1948	Ashkhabad	USSR	7.3
16	17 118	1999	Kocaeli	Turquía	7.0
17	15 620	1970	Yunnan	China	7.5
18	15 000	1998	Afganistán	Afganistán	6.1
19	15 000	1917	Indonesia	Indonesia	N/A
20	15 000	1978	Tabas	Irán	7.4
21	15 000	1907	Tajikistan	USSR	8.1
22	12 225	1962	Buyin Zhara	Irán	7.3
23	12 100	1968	Dasht-e-Biyaz	Irán	7.3
24	12 000	1960	Añadir	Marruecos	5.9
25	10 700	1934	Kathmandhu	Nepal	8.4

*Área destruida.* Definida como el porcentaje de área construida que es destruida, que puede ser estimada utilizando metodologías como el ATC-13 (ATC 1985), o HAZUS u otras similares. Se fija como punto de mínimo riesgo cuando el área destruida es nula (0% del área construida) y como punto de máximo riesgo cuando el área destruida es el 20% del área construida.

*Fallecidos.* Corresponde al número probable de muertos, calculado de acuerdo con técnicas como las propuestas en el ATC 13, el HAZUS o por Coburn y Spence (1992) u otras similares. Se normaliza con el número de habitantes de la zona de estudio. Se fijan como puntos de mínimo y máximo riesgo cuando los muertos son 0 y 50 por cada 1 000 habitantes respectivamente.

*Heridos.* Corresponde al número probable de personas heridas, calculado de acuerdo con técnicas como las propuestas en el ATC 13, el HAZUS (FEMA 1999) por Coburn y Spence (1992) u otras similares. Se fijan como puntos de riesgo mínimo y máximo cuando los heridos son 0 y 75 cada 1 000 habitantes.

*Daño en la red de acueducto.* Definido como el número de roturas que se presentarían en la red de abastecimiento de agua por kilómetro de red. Este número puede ser estimado de acuerdo con metodologías como ATC 13 o HAZUS, entre otras. Se definieron los límites de mínimo y máximo riesgo como 0 y 10 roturas por kilómetro de red.

*Daño en la red de gas.* Definido como el número de roturas que se presentarían en la red de abastecimiento de gas por kilómetro de red. Este número puede ser estimado de acuerdo con metodologías como el ATC 13 o el HAZUS entre otras. Se definieron los límites de mínimo y máximo riesgo como 0 y 5 roturas por kilómetro de red.

*Redes eléctricas caídas.* Definido como la longitud caída de redes eléctricas que se presentaría por kilómetro de red. Esta longitud puede ser estimada de acuerdo metodologías como el ATC 13 o el HAZUS entre otras. Se definieron los límites de mínimo y máximo riesgo como 0 y 200 metros caídos por kilómetro de red.

### **3.1.3.2** *Descriptorios de fragilidad social*

Para definir las funciones de transformación para los descriptorios de fragilidad social fue necesaria la búsqueda de información de diferentes ciudades alrededor del mundo. Con base en el criterio de expertos consultados se acordaron los valores límite que podían ser considerados para representar el nivel máximo y mínimo de agravamiento en cada caso.

*Área de barrios marginales.* Definida como el área de asentamientos humanos informales y/o ilegales con deficiencia de servicios públicos y de baja estratificación socioeconómica en el área que cubre la jurisdicción del distrito o localidad. La marginalidad y la pobreza representan normalmente fragilidad social. Teniendo en cuenta la relación entre el área de barrios marginales y el área de la zona de estudio se definieron los límites de mínimo y máximo agravamiento como 0,05 y 0,75. Es decir, el agravamiento se considera mínimo cuando el área marginal es menor al 5% del área total y es máximo cuando se supera el 75%.

*Tasa de mortalidad.* En zonas donde ocurre mayor incidencia de enfermedades y mortalidad por falta de saneamiento se puede afirmar que hay mayor fragilidad social. Esta tasa se define como el número de fallecidos por enfermedades debido a falta de saneamiento básico o causas naturales cada 10 000 habitantes anualmente, se fijaron los límites de mínimo y máximo agravamiento como 50 y 4000 fallecidos cada 10000 habitantes.

*Tasa de delincuencia.* Descartando ciertos delitos, como atentados a la propiedad que ocurren en cualquier lugar, se considera que donde se presentan mayores problemas de lesiones personales y conflictos por descomposición social existe mayor fragilidad. Esta tasa se define como el número de delitos anuales cada

100 000 habitantes, se definieron los límites de mínimo y máximo agravamiento como 10 y 1 400 delitos cada 100 000 habitantes.

*Índice de disparidad social.* Equivalente a necesidades básicas insatisfechas o el inverso de calidad de vida o de desarrollo humano. Para este descriptor no fue necesaria la construcción de una función de transformación, ya que este índice es calculado para las distintas zonas de la ciudad, y corresponde a un número entre 0 y 1.

*Densidad poblacional.* Definida como el número de habitantes dividido por el área construida representa hacinamiento en algunos casos y mayor dificultad para la movilización, por lo que se considera también un descriptor de fragilidad social. En este caso se revisó información acerca de la densidad poblacional en diferentes ciudades en el mundo y se definieron los límites mínimo y máximo de agravamiento en 4 000 y 25 000 habitantes por kilómetro cuadrado.

### 3.1.3.3 *Descriptores de falta de resiliencia*

En el caso de los indicadores de falta de resiliencia es importante resaltar que las funciones sigmoidales son inversas. Esto se debe a la naturaleza de los descriptores, que se expresan en forma positiva pero es necesario valorar su influencia en forma negativa, como la *falta de*. Teniendo en cuenta la información existente en diferentes ciudades y la opinión de expertos los descriptores de falta de resiliencia se presentan a continuación:

*Camas en hospitales.* Definido como el número de camas de hospital por cada 1 000 habitantes. Un mayor número de camas en los hospitales representa una mayor capacidad para atender personas heridas. Teniendo en cuenta información estadística existente como la presentada en la Tabla 3.6 y la Tabla 3.7 (Coburn y Spence 2002) se definieron los puntos de agravamiento mínimo y máximo como 30 y 0 camas por cada 1 000 habitantes.

**Tabla 3.6. Tipos de lesiones más comunes que requieren tratamiento después de un terremoto y su porcentaje (Coburn y Spence 2002)**

Tipos de lesión	Porcentaje
Lesiones de tejido blando (heridas y contusiones)	30 – 70%
Fractura de extremidades	10 – 50%
Lesiones de cabeza	3 – 10%
Otros	5%

**Tabla 3.7. Porcentaje de lesiones típicas que presenta la población afectada por un sismo severo (Coburn y Spence 2002)**

Lesiones	Porcentaje
Fallecidos	20 – 30%
Lesionados que requieren primeros auxilios/pacientes de tratamiento externo	50 – 70%
Lesionados que requieren hospitalización	5 – 10%
Lesionados que requieren cirugía mayor	1 – 2%

*Recurso humano en salud.* Definido como el número de personal médico por cada 1 000 habitantes. A mayor cantidad de personal de salud mayor es la capacidad que existe para enfrentar una crisis mayor. Teniendo en cuenta la información estadística encontrada se definieron los límites de agravamiento mínimo y máximo como 15 y 0 profesionales por cada 1 000 habitantes.

*Espacio público.* Definido como el área de espacio que puede utilizarse como alojamiento temporal o para atención masiva en caso de emergencia dividido por el área total de la zona. Se definieron los límites de agravamiento mínimo y máximo como 0,15 y 0,01.

*Personal de rescate.* Definido como el número de bomberos cada 1 000 habitantes. Se definieron como valores para agravamiento mínimo y máximo como 7 y 0 bomberos por cada 1 000 habitantes. Para fijar estos puntos se tuvo en cuenta el número de bomberos en diferentes ciudades del mundo. Algunas cifras se presentan en la Tabla 3.8 (información tomada de las páginas Web oficiales de los servicios de bomberos en cada ciudad).

**Tabla 3.8. Personal de bomberos en algunas ciudades del mundo**

Ciudad	Población (millones de habitantes)	Bomberos
Hong Kong	6,88	8 640
Londres	7,5	6 800
Los Ángeles	4	3 382
Madrid	2,98	1 261
París	7,5	6 965

*Nivel de desarrollo.* Definido como la calificación de la calidad de vida, organización y planificación urbana de la zona. Esta calificación es dada por expertos conocedores de la ciudad y está dada por un entero 1, 2, 3 ó 4. Donde uno es el mínimo y 4 el máximo desarrollo. Para esta función de transformación se escogió una función lineal entre el nivel de desarrollo y el agravamiento.

*Operatividad en emergencia.* Calificación dada para la preparación y capacidad de respuesta en emergencias. Es deseable que este punto sea evaluado por la dirección de prevención y atención de emergencias de la ciudad y está dada por un entero 0, 1 ó 2. Para esta función de transformaciones también se escogió una relación lineal entre la operatividad en emergencias y el agravamiento.

### 3.1.4 Ponderación de factores

Una vez los descriptores se han escalado y se han convertido en factores (conmensurables) se debe realizar su ponderación según sea su importancia relativa al interior del índice del cual hacen parte. La participación de cada factor ilustra que tan importante es frente a los demás en la composición del índice de riesgo físico o en el coeficiente de agravamiento. Una variedad de técnicas de

ponderación ha sido usada para la construcción de índices o indicadores compuestos (JRC-EC 2002; 2003), sin embargo todos aquellos propuestos con base en técnicas estadísticas requieren o que las variables dependientes puedan ser medidas directamente (por ejemplo, mediante una regresión) o que los indicadores estén bien correlacionados (por ejemplo, mediante un análisis de componentes principales). Dado que el riesgo no puede ser medido directamente y los indicadores no están bien correlacionados, cualquiera de las técnicas con esos prerrequisitos no es más efectiva. La única opción que queda para la ponderación es la evaluación subjetiva por parte de expertos de las importancias relativas de los factores que componen un índice. Aunque esta técnica parece ser indeseable por algunos por la falta de una base explícitamente replicable, en evaluaciones características dentro de lo que se conoce como ciencia pos-normal (Funtowicz y Ravetz 1992), como es el caso del riesgo de desastre, ésta es la única opción factible y razonable para capturar el criterio, la experiencia y el juicio de expertos. Existen varias posibilidades, desde la más sencilla, conocida como la asignación de puntajes o presupuesto, hasta las técnicas Delphi cuyo objetivo es lograr resultados por consenso mediante procesos de interacción en forma anónima. Como alternativa a estas técnicas se ha propuesto el Proceso Analítico Jerárquico que facilita el análisis multicriterio basado en importancias relativas. Es una técnica útil para asignar los factores de importancia de los componentes de un índice de una manera más rigurosa que la directa apreciación utilizando el juicio de los expertos (Hyman 1998). Una descripción resumida de esta técnica se presenta en el Apéndice B. La Tabla 3.9 presenta los resultados de los pesos para los factores de riesgo físico. La Tabla 3.10 presenta los resultados de los pesos para los factores de agravamiento por fragilidad social y falta de resiliencia.

**Tabla 3.9. Factores de riesgo físico y su importancia relativa**

	<b>Factor</b>	<b>Peso</b>
$F_{RF1}$	Área destruida	31
$F_{RF2}$	Muertos	10
$F_{RF3}$	Heridos	10
$F_{RF4}$	Roturas red de acueducto	19
$F_{RF5}$	Roturas red de gas	11
$F_{RF6}$	Longitud de redes eléctricas caídas	11
$F_{RF7}$	Vulnerabilidad de centrales telefónicas	4
$F_{RF8}$	Vulnerabilidad subestaciones eléctricas	4

**Tabla 3.10. Factores de agravamiento por fragilidad social y falta de resiliencia y su importancia relativa (peso)**

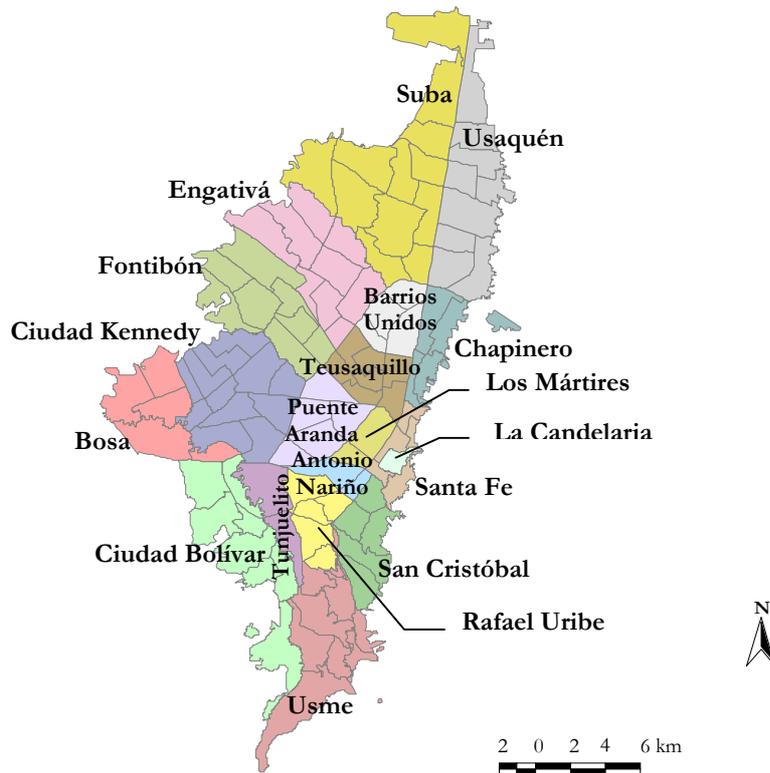
	<b>Factor</b>	<b>Peso</b>
$F_{FS1}$	Área de barrios marginales	18
$F_{FS2}$	Tasa de mortalidad	4
$F_{FS3}$	Tasa de delincuencia	4
$F_{FS4}$	Índice de disparidad social	18
$F_{FS5}$	Densidad de población	18
$F_{FR1}$	Camas hospitalarias	6
$F_{FR2}$	Recurso humano en salud	6
$F_{FR3}$	Espacio público	4
$F_{FR4}$	Personal de socorro	3
$F_{FR5}$	Nivel de desarrollo de la localidad	9
$F_{FR6}$	Operatividad en emergencias	9

### 3.2 Aplicación a Bogotá, Colombia

Bogotá, capital de Colombia, esta dividida político-administrativamente en localidades o alcaldías menores. Una localidad es una división política, administrativa y territorial municipal, con competencias claras y criterios de financiación y aplicación de recursos, creada con el fin atender de manera más eficaz las necesidades de esa porción del territorio. Desde 1992 Bogotá esta dividida en 20 localidades así: Usaquén, Chapinero, Santafé, San Cristóbal, Usme, Tunjuelito, Bosa, Ciudad Kennedy, Fontibón, Engativá, Suba, Barrios Unidos, Teusaquillo, Mártires, Antonio Nariño, Puente Aranda, Candelaria, Rafael Uribe, Ciudad Bolívar y Sumapaz. En este estudio se tienen en cuenta solo 19 de estas debido a que la localidad de Sumapaz al sur corresponde fundamentalmente a área rural. A su vez estas localidades se encuentran subdivididas en 117 unidades de planeamiento zonal (UPZ). En la Figura 3.5 puede observarse la división político administrativa de la ciudad.

En el caso de Bogotá se cuenta con escenarios de riesgo sísmico realizados en 1997 para la microzonificación sísmica de la ciudad (Universidad de los Andes 1997) y escenarios desarrollados en 2005 (Universidad de Los Andes 2005). También se cuenta con información referente a la fragilidad socio-económica y la falta de resiliencia de la ciudad para los años 2001 y 2005. Así que es posible hacer la evaluación holística del riesgo sísmico y la observar la evolución de los resultados.

La información sobre el riesgo sísmico físico para el año 1997, y la fragilidad socio-económica y la falta de resiliencia para el año 2001 es la misma que fue utilizada por Cardona (2001) en la aplicación de su modelo a la ciudad de Bogotá, así que con este ejemplo se pueden comparar los dos modelos.



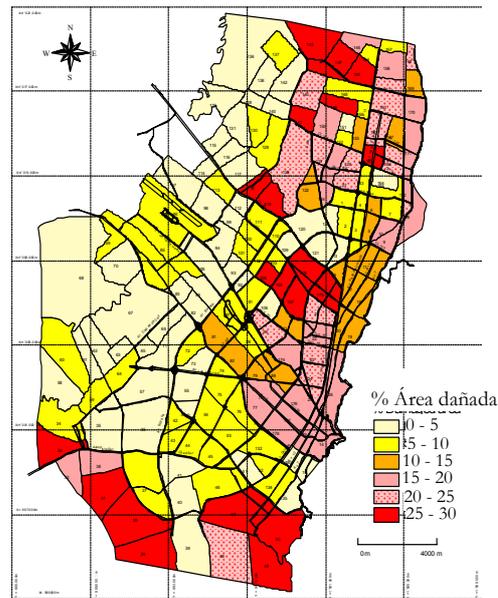
**Figura 3.5. División político-administrativa de la ciudad de Bogotá, Colombia**

### 3.2.1 Evaluación para el año 2001

Se utilizó como punto de partida el escenario de riesgo sísmico de la Figura 3.6. Este mapa representa el área destruida en celdas o grupos de manzanas en caso de presentarse un sismo cercano fuerte de 0.2g de aceleración en roca, que corresponde a uno de los escenarios de pérdidas estimados como base para la microzonificación sísmica de Bogotá, Universidad de los Andes (1997).

En el Apéndice F (Tablas F.1 y F.2) se presentan los valores de los descriptores utilizados para la evaluación que representan el riesgo físico, y las condiciones de agravamiento (fragilidad social y la falta de resiliencia) respectivamente, todo según las unidades e identificadores de la Tabla 3.1, la Tabla 3.3 y la Tabla 3.4. Las Tablas F.3 y F.4 presentan los valores de los factores resultantes de riesgo físico, y de agravamiento, obtenidos con la aplicación de las funciones de transformación, así como el índice de riesgo físico,  $R_F$ , y el coeficiente de agravamiento,  $F$ . Además se presentan los valores promedio normalizados, utilizando la densidad de población, para la ciudad.

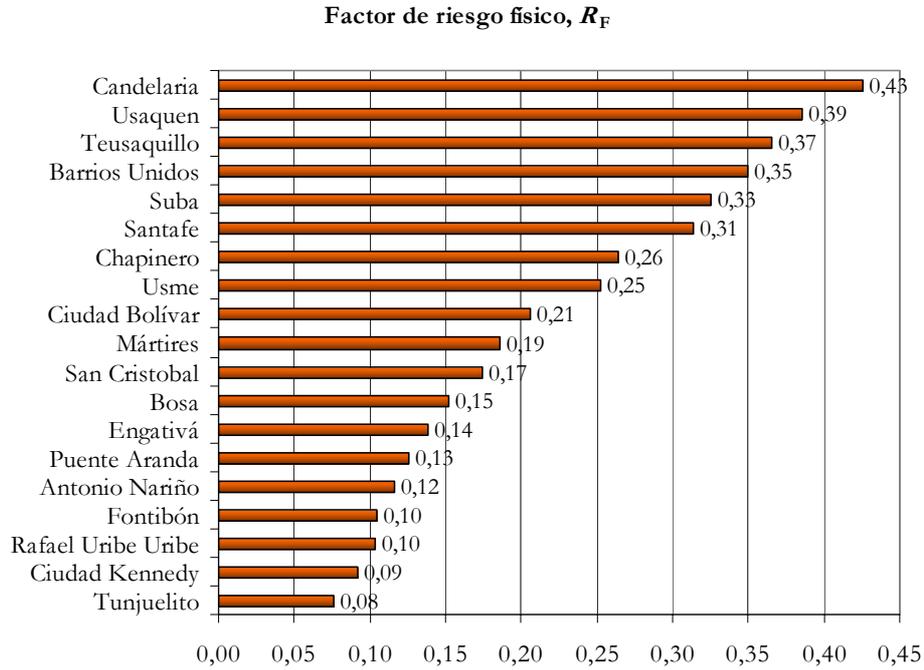
La Tabla 3.11 muestra los resultados del riesgo físico, el coeficiente de agravamiento y el riesgo total de cada localidad y el promedio para la ciudad.



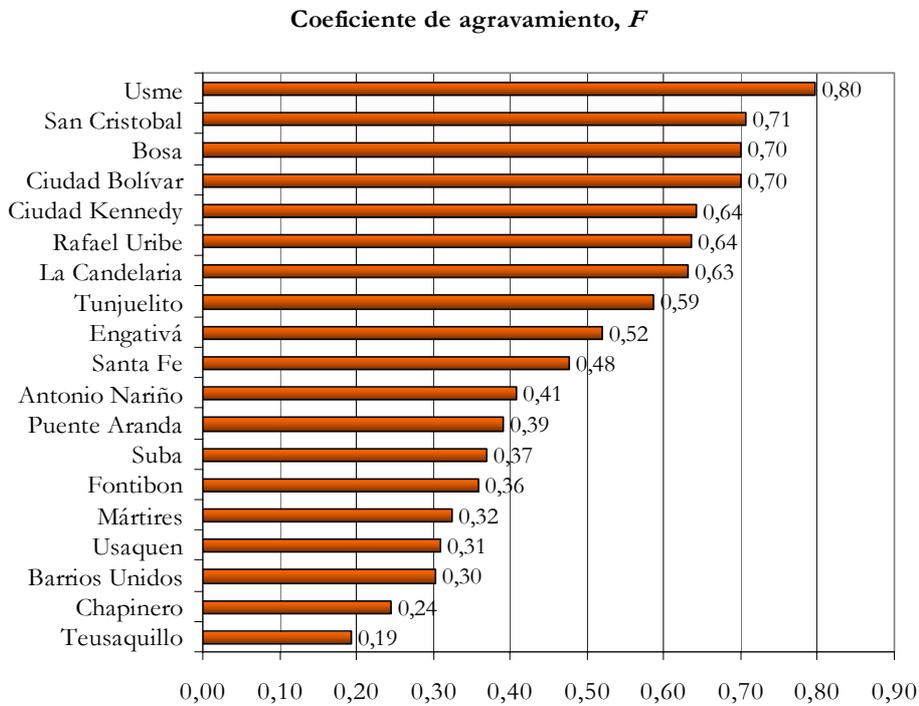
**Figura 3.6. Escenario de riesgo físico sísmico, Universidad de los Andes (1997)**

La Figura 3.7 presenta los resultados obtenidos para el riesgo sísmico físico para las localidades de Bogotá, la Figura 3.8 el coeficiente de agravamiento, y la Figura 3.9 los resultados para el riesgo total, todos en orden descendente. La Figura 3.10 y la Figura 3.11 presentan los mapas de resultados de la evaluación holística del riesgo sísmico de Bogotá, para el riesgo físico y el riesgo total respectivamente. En ellas se observa como la localidad de La Candelaria presenta la situación más crítica en cuanto al riesgo físico y al riesgo total, ya que su coeficiente de agravamiento, aunque no es el más alto de la ciudad, es considerable. Las localidades con mayor coeficiente de agravamiento son Usme, San Cristóbal, Bosa y Ciudad Bolívar, mientras que los valores más bajos pertenecen a Barrios Unidos, Chapinero y Teusaquillo. El mayor riesgo físico lo presentan las localidades de La Candelaria, Usaquén, Barrios Unidos y Teusaquillo, mientras que el menor riesgo físico es el de Ciudad Kennedy y Tunjuelito. Como resultado, los mayores valores de riesgo total lo presentan las localidades de La Candelaria, Usaquén, Santa Fe y Barrios Unidos, y los menores valores se presentan en Ciudad Kennedy, Fontibón y Tunjuelito.

Como se comentó en el Capítulo 2, la ciudad de Bogotá fue estudiada con el modelo de Cardona, así que es posible comparar los resultados obtenidos. A pesar de la naturaleza relativa de los resultados obtenidos con el método de Cardona, que hace que estos solo sean numéricamente comparables entre sí, es posible hacer un análisis general de estos resultados y los obtenidos por el método propuesto. Si se organizan las localidades de acuerdo con el índice de riesgo total en orden descendente obtenido con cada método, los resultados obtenidos para Bogotá de evaluación holística del riesgo sísmico son similares en cuanto al orden de las localidades, aunque en localidades como Santa Fe, Suba, y San Cristóbal presentan grandes cambios en su posición. Esto puede verse si se comparan la Figura 3.9 y la Figura 3.12.



**Figura 3.7. Valor del índice de riesgo físico para las localidades de Bogotá D.C., ordenado descendientemente**



**Figura 3.8. Valor del coeficiente de agravamiento para las localidades de Bogotá D.C., ordenado descendientemente**

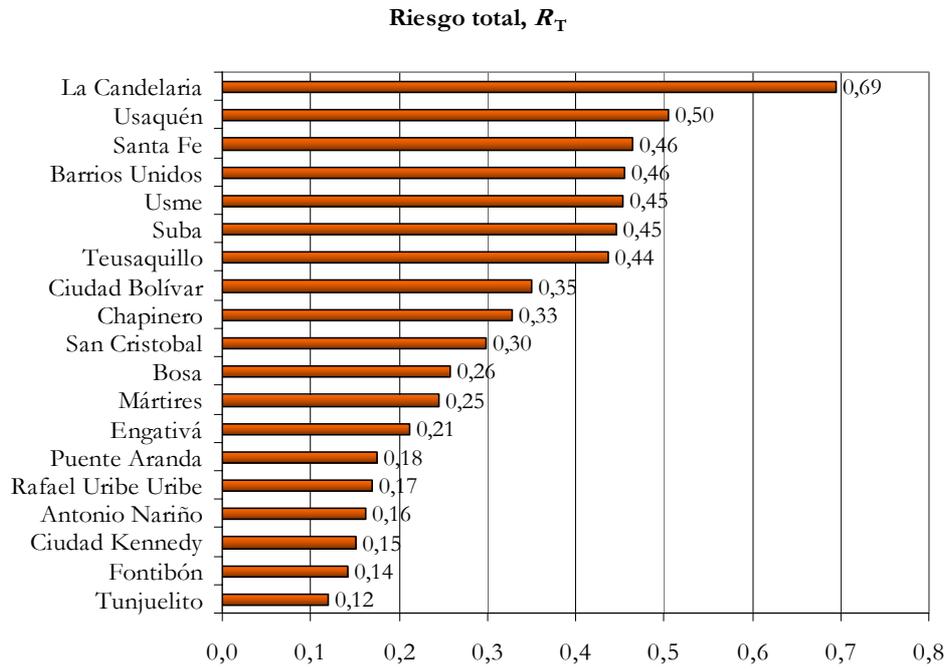


Figura 3.9. Valor del índice de riesgo total para las localidades de Bogotá D.C., ordenado descendientemente

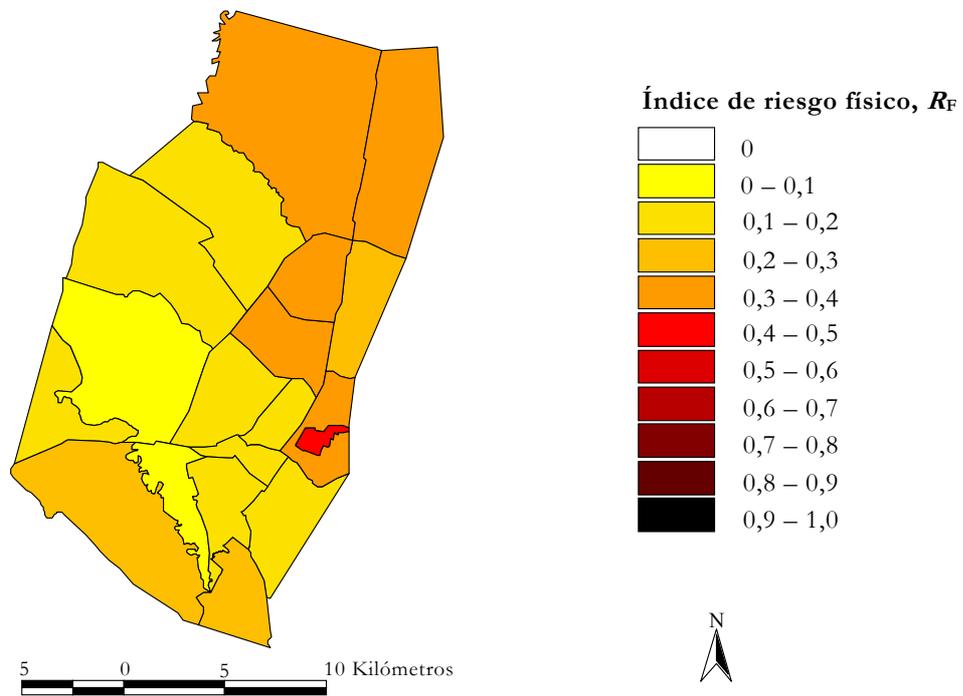


Figura 3.10. Índice de riesgo físico,  $R_F$ , para las localidades de Bogotá D.C.

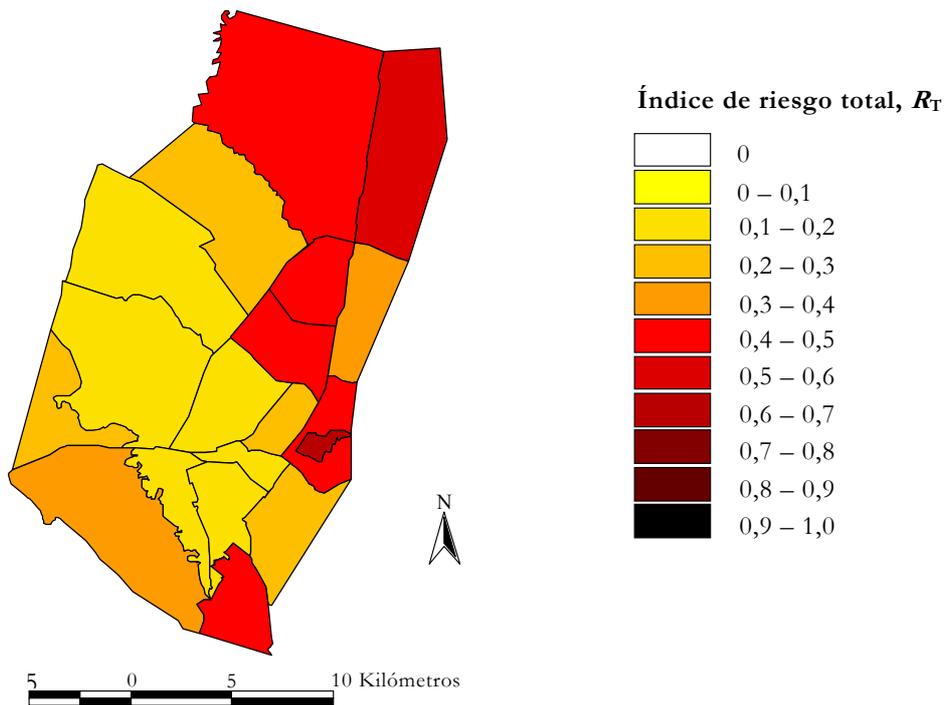


Figura 3.11. Índice de riesgo total,  $R_T$ , para las localidades de Bogotá D.C.

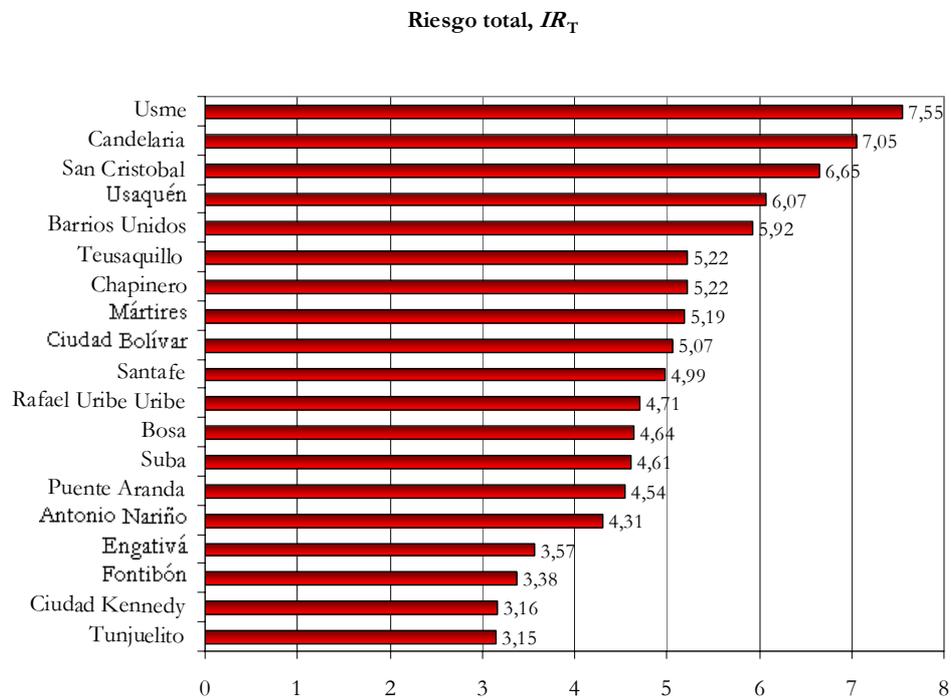


Figura 3.12. Valor del índice de riesgo total para las localidades de Bogotá D.C., ordenado descendientemente, calculado con el modelo de Cardona (2001)

Tabla 3.11. Riesgo total para la ciudad de Bogotá D.C.

Localidad	$R_F$	$F$	$R_T$
Usaquén	0,386	0,309	0,505
Chapinero	0,264	0,245	0,329
Santa Fe	0,314	0,478	0,464
San Cristóbal	0,175	0,707	0,298
Usme	0,253	0,797	0,454
Tunjuelito	0,076	0,587	0,121
Bosa	0,152	0,701	0,258
Ciudad Kennedy	0,092	0,643	0,150
Fontibón	0,105	0,358	0,142
Engativá	0,139	0,521	0,211
Suba	0,326	0,369	0,446
Barrios Unidos	0,350	0,302	0,456
Teusaquillo	0,366	0,193	0,436
Mártires	0,186	0,325	0,246
Antonio Nariño	0,116	0,407	0,163
Puente Aranda	0,126	0,391	0,175
Candelaria	0,426	0,631	0,694
Rafael Uribe Uribe	0,103	0,635	0,169
Ciudad Bolívar	0,206	0,700	0,350
<i>Bogotá D.C.</i>	<i>0,225</i>	<i>0,663</i>	<i>0,374</i>

### 3.2.2 Evaluación para el año 2005

De recientes estudios (Universidad de Los Andes 2005) se obtuvieron escenarios de riesgo sísmico para cuatro fuentes sísmicas diferentes, las cuales se indican en la Tabla 3.12, y se representa su ubicación en la Figura 3.13. Por la resolución empleada en el cálculo de los escenarios, simulación edificio por edificio, fue posible obtener los descriptores del riesgo físico por UPZs (117). Para todos los escenarios de riesgo físico sísmico mencionados se emplea información de los descriptores de agravamiento correspondiente al año 2005.

Los descriptores de agravamiento utilizados están dados por localidades (19) debido a que estas son las que tienen criterios para la toma de decisiones de financiación y pueden aplicar recursos. En el caso del descriptor de agravamiento de operatividad en emergencia,  $X_{FR6}$ , se utilizaron los resultados obtenidos aplicando la metodología para la evaluación de la eficiencia de la gestión de riesgos que se propone en el Capítulo 4 de esta tesis a las localidades de la ciudad de Bogotá.

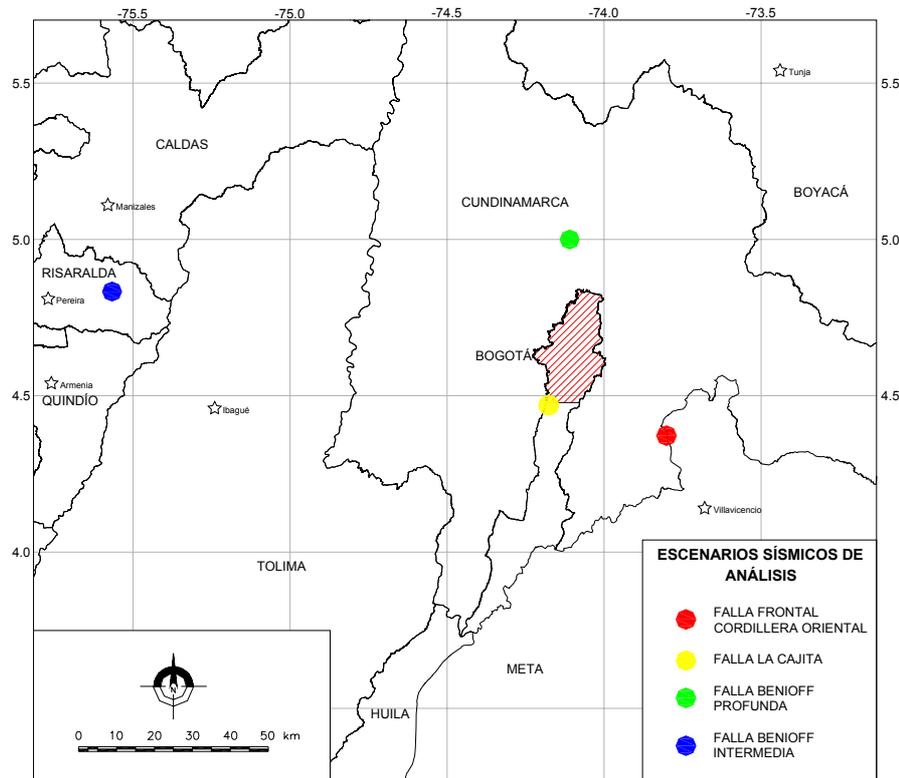


Figura 3.13. Ubicación de epicentros de los escenarios de análisis (Universidad de Los Andes 2005)

Tabla 3.12. Escenarios de riesgo físico disponibles para Bogotá

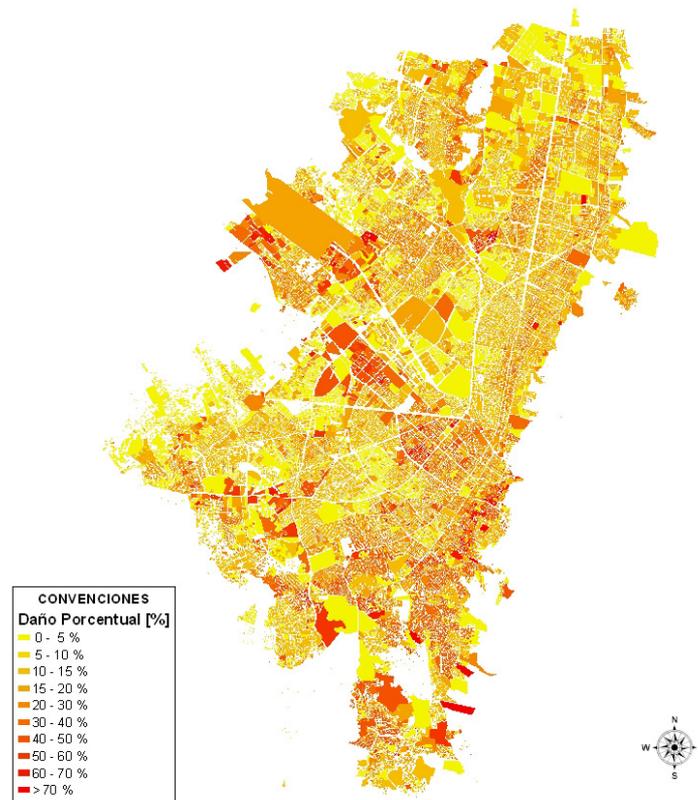
Escenario	Fuente sísmica	Magnitud (Ms)	Periodo de retorno (años)	Profundidad (Km)	Distancia epicentral promedio (Km)
1	Frontal cordillera oriental	7.4	500	23	43
2	La Cajita	5.8	*	15	19
3	Benioff profunda	8	500	180	41
4	Benioff intermedia	7.5	500	107	163

\* Según Universidad de Los Andes (2005), para la fuente de la Cajita no se tiene suficiente información para determinar el periodo de retorno con base en el catálogo sísmico existente, por lo cual se escogieron eventos de magnitudes representativas (Ms = 5.8 sismo máximo esperado).

### 3.2.2.1 Falla Frontal de la Cordillera Oriental

La Figura 3.14 representa el escenario de riesgo físico correspondiente a un sismo en la Falla Frontal de la Cordillera Oriental de 500 años de periodo de retorno y que es la base para esta evaluación. Los resultados para el riesgo físico se obtuvieron edificio por edificio y en forma agregada para cada UPZ y localidad (la representación gráfica es a nivel de manzana). Por lo tanto ha sido posible calcular

el índice de riesgo físico para cada UPZ en la ciudad; resolución que no se había obtenido en los estudios realizados previamente.

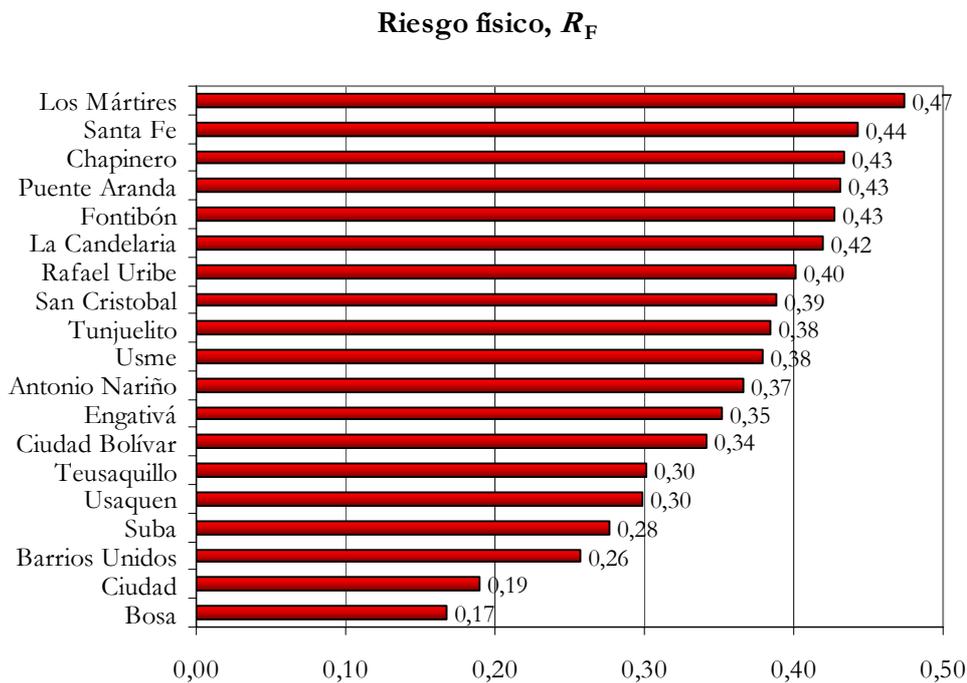


**Figura 3.14. Porcentaje de daño correspondiente a un sismo en la falla Frontal de  $T_r = 500$  años**

En el Apéndice F pueden encontrarse los valores de los descriptores de riesgo físico para las UPZs, Tabla F.5, según lo indicado en la Tabla 3.1, y los valores de los descriptores de las condiciones de agravamiento por fragilidad socio-económica y falta de resiliencia, Tabla F.6 según lo indicado en la Tabla 3.4 para cada una de las localidades de la ciudad. También se presentan los valores los factores de riesgo físico y los factores de agravamiento después de aplicar las funciones de transformación (Tablas F.7 y F.8).

En la Figura 3.15 están representados los resultados medios obtenidos por localidad para el riesgo físico en orden descendente. Los resultados para el coeficiente de agravamiento son indicados en la Figura 3.16 también en orden descendente. La Figura 3.17 representa los valores medios de riesgo total para las localidades de Bogotá. Los valores medios de riesgo físico y riesgo total son obtenidos a partir de los resultados obtenidos para las UPZs. El riesgo total es el resultado de afectar el riesgo físico de cada UPZ por el coeficiente de agravamiento de la localidad correspondiente. El mapa de la Figura 3.18 presenta los resultados obtenidos para el riesgo físico, y la Figura 3.19 representa los resultados del riesgo total.

En la Figura 3.16 se observa como el coeficiente de agravamiento máximo lo presentan las localidades de Usme, Ciudad Bolívar, Ciudad Kennedy , Bosa y Santa Fé, mientras que los menores valores los tienen las localidades de Chapinero, Teusaquillo, Barrios Unidos, Usaquén y Los Mártires. La Tabla 3.13 indica las diez UPZs con mayor índice de riesgo físico y la Tabla 3.14 las de mayor riesgo total. La Tabla F.9 del Apéndice F presenta los resultados para todas las zonas de la ciudad.



**Figura 3.15. Riesgo físico medio por localidad**

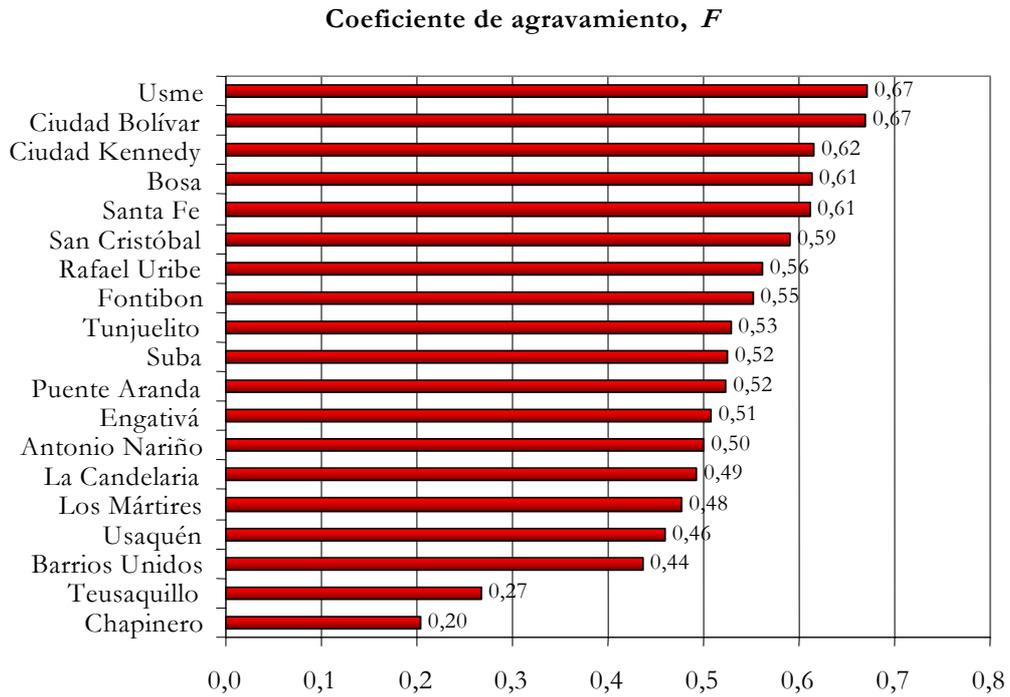


Figura 3.16. Coeficiente de agravamiento,  $F$ , Bogotá, 2005

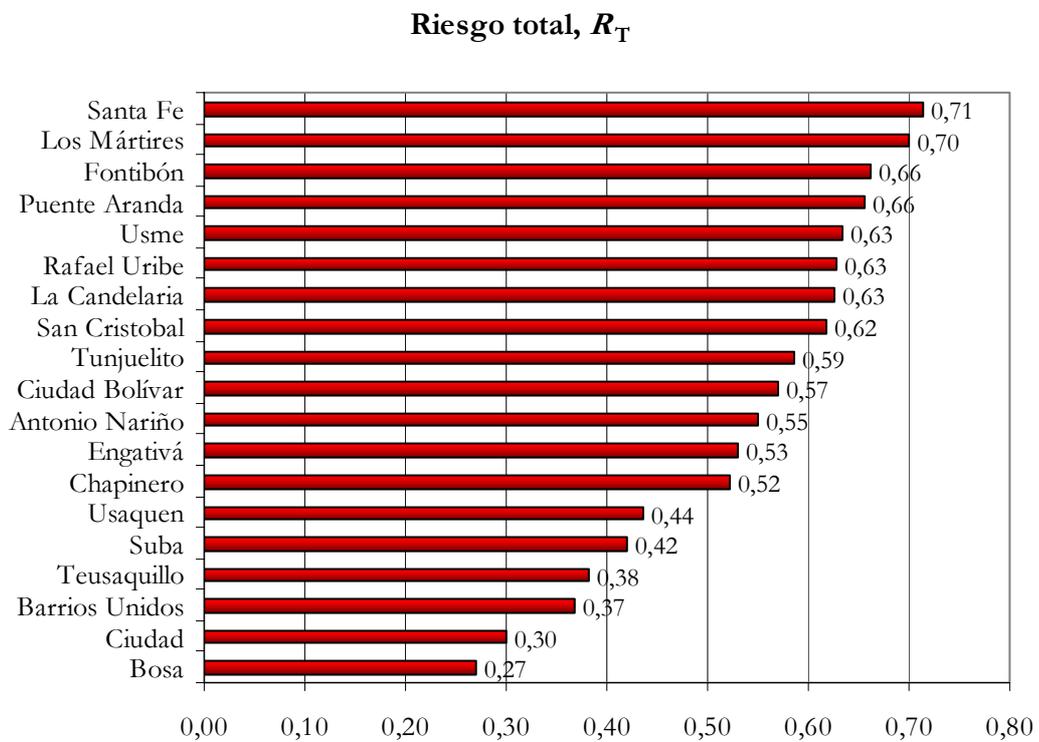


Figura 3.17. Riesgo total medio por localidades

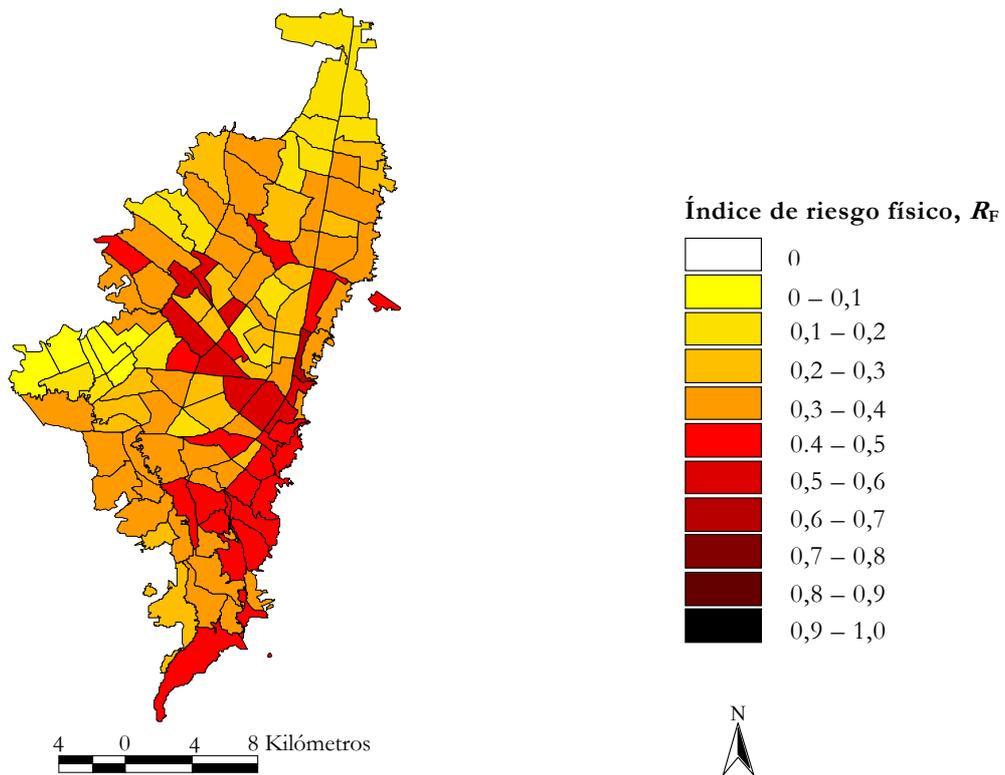


Figura 3.18. Índice de riesgo físico,  $R_F$ , Bogotá, 2005

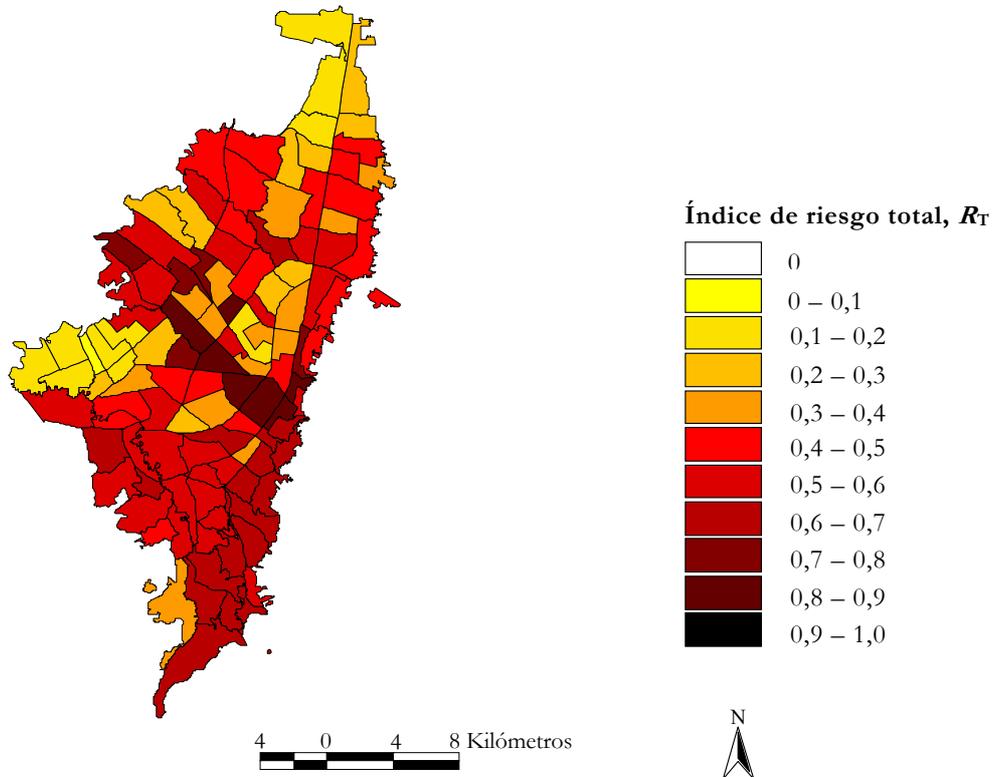


Figura 3.19. Índice de riesgo total,  $R_T$ , Bogotá, 2005

Tabla 3.13. UPZs con mayor riesgo físico para el sismo de la falla frontal

UPZ	Localidad	$R_F$
Chapinero	Chapinero	0,602
Las Nieves	Santa Fe	0,584
Jardín Botánico	Engativá	0,582
Puente Aranda	Puente Aranda	0,582
Zona Industrial	Puente Aranda	0,581
La Sabana	Los Mártires	0,578
Granjas Techo	Fontibón	0,577
Sagrado Corazón	Santa Fé	0,572
Capellania	Fontibón	0,519
Álamos	Engativá	0,511

Tabla 3.14. UPZs con mayor riesgo total para el sismo de la falla frontal

UPZ	Localidad	$R_T$
Las Nieves	Santa Fe	0,893
Sagrado Corazón	Santa Fe	0,874
Granjas Techo	Fontibón	0,843
Puente Aranda	Puente Aranda	0,838
Zona Industrial	Puente Aranda	0,837
La Sabana	Los Mártires	0,829
Jardín Botánico	Engativá	0,816
Capellania	Fontibón	0,758
Bavaria	Ciudad Kennedy	0,722
Fontibón San Pablo	Fontibón	0,722

### 3.2.2.2 Falla de La Cajita

La Figura 3.20 representa el escenario de riesgo físico correspondiente a un sismo en la falla de La Cajita de  $M_s = 5.8$ , punto de partida para la evaluación holística del riesgo.

En el Apéndice F pueden encontrarse los valores de los descriptores de riesgo físico para las UPZs, Tabla F.10, según lo indicado en la Tabla 3.1, y los valores del coeficiente de agravamiento son los mismos de la Tabla F.6 para cada una de las localidades de la ciudad. También se presentan los valores los factores de riesgo físico y los factores de agravamiento después de aplicar las funciones de transformación (Tablas F.11).

La Figura 3.21 presenta los resultados de riesgo físico medio por localidad en orden descendente. Afectando el riesgo físico de cada UPZ por el coeficiente de agravamiento, Figura 3.16, de la localidad correspondiente, se obtiene el riesgo total. La Figura 3.22 presenta los valores medios de riesgo total para las localidades de Bogotá. El mapa de la Figura 3.23 presenta los resultados obtenidos para el riesgo físico y la Figura 3.24 representa los resultados del riesgo total.

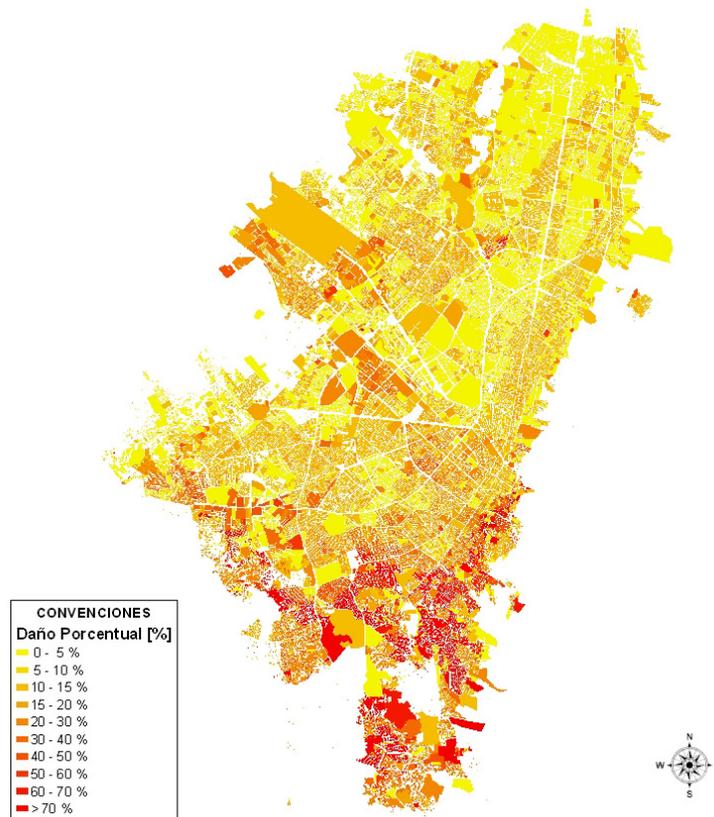


Figura 3.20. Porcentaje de daño correspondiente a un sismo en la falla La Cajita

### Riesgo físico, $R_F$

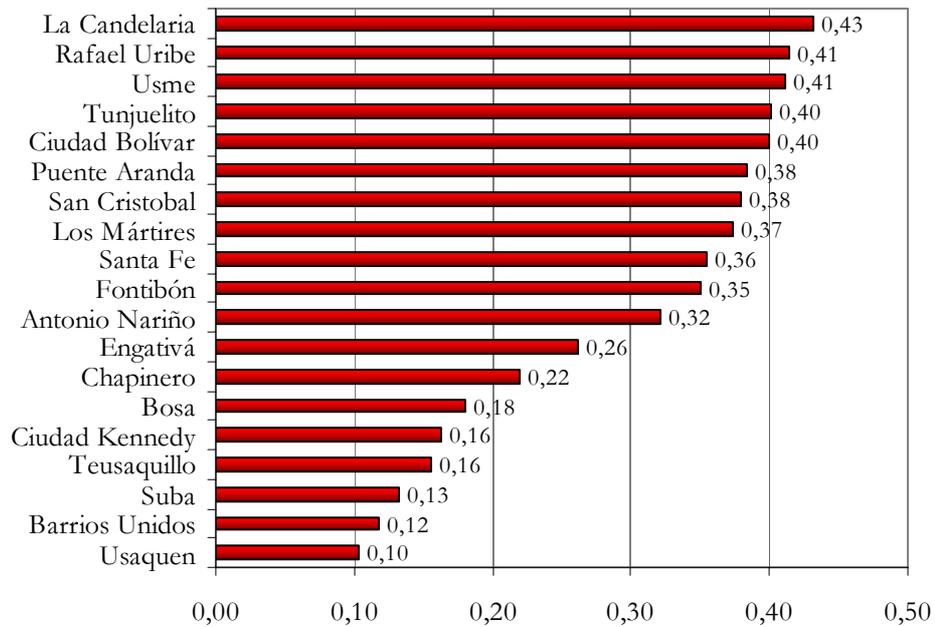


Figura 3.21. Riesgo físico medio por localidad

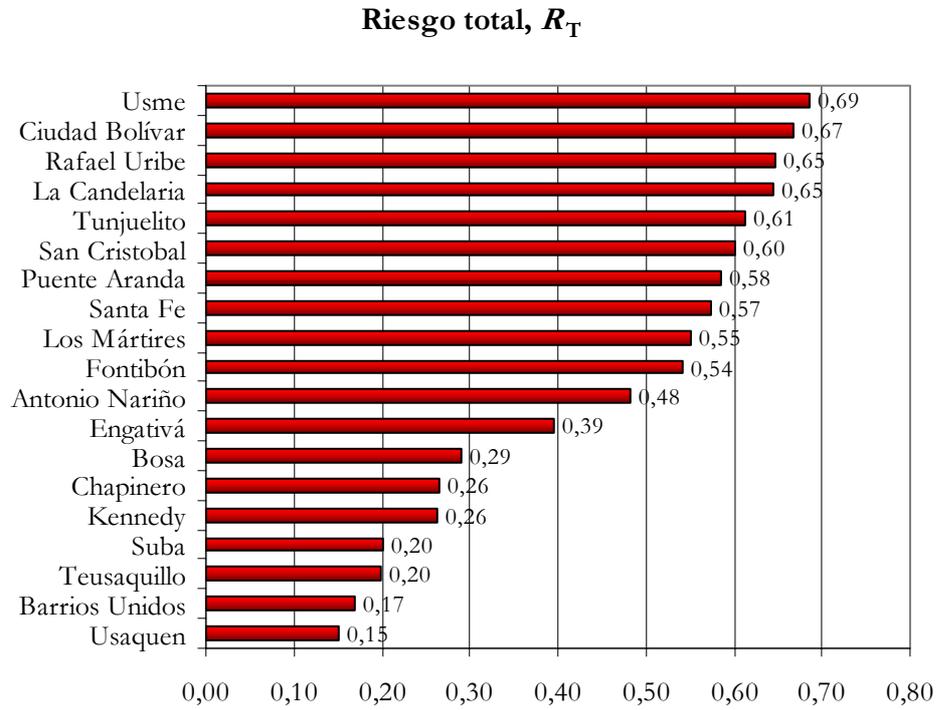


Figura 3.22. Riesgo total medio por localidad

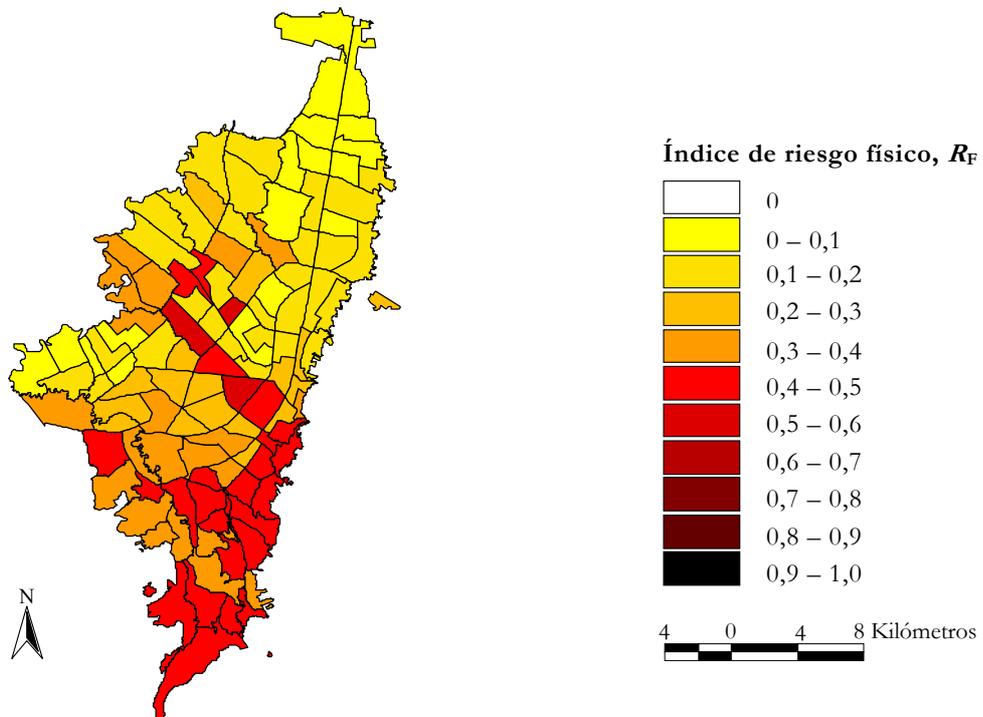


Figura 3.23. Índice de riesgo físico,  $R_F$ , para el sismo en la falla La Cajita de  $M_S=5.8$

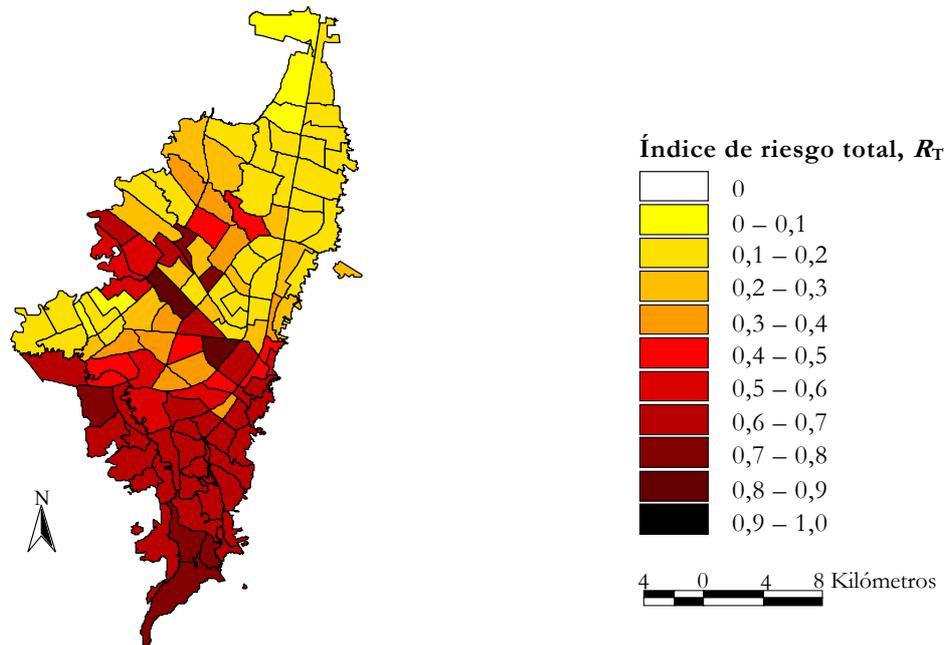


Figura 3.24. Índice de riesgo total  $R_T$ , para el sismo en la falla La Cajita

La Tabla 3.15 indica las diez UPZs con mayor índice de riesgo físico y la Tabla 3.16 las de mayor riesgo total. En el Apéndice F, la Tabla F.12 presenta los resultados para todas las UPZ.

Tabla 3.15. UPZs con mayor riesgo físico para el sismo de la falla La Cajita

UPZ	Localidad	$R_F$
Zona Industrial	Puente Aranda	0,578
Granjas Techo	Fontibón	0,572
Jardín Botánico	Engativá	0,529
Álamos	Engativá	0,472
Ciudad Usme	Usme	0,458
La Sabana	Los Mártires	0,450
Tunjuelito	Tunjuelito	0,435
Ismael Perdomo	Ciudad Bolívar	0,432
Candelaria	La Candelaria	0,432
Marruecos	Rafael Uribe	0,427

Tabla 3.16. UPZs con mayor riesgo total para el sismo de la falla La Cajita

UPZ	Localidad	$R_T$
Granjas Techo	Fontibón	0,888
Zona Industrial	Puente Aranda	0,881
Jardín Botánico	Engativá	0,798
Ciudad Usme	Usme	0,765
Ismael Perdomo	Ciudad Bolívar	0,720
Álamos	Engativá	0,712
Alfonso López	Usme	0,708
Comuneros	Usme	0,703
La Gloria	San Cristóbal	0,675
Parque Entre Nubes	Usme	0,675

### 3.2.2.3 *Benioff profunda*

La Figura 3.25 representa el escenario de riesgo físico correspondiente a un sismo en la Zona Benioff profunda, punto de partida para la evaluación holística del riesgo.

En el Apéndice F pueden encontrarse los valores de los descriptores de riesgo físico las UPZs, Tabla F.13, según lo indicado en la Tabla 3.1, y los valores del coeficiente de agravamiento son los mismos de la Tabla F.6 para cada una de las localidades de la ciudad. También se presentan los valores los factores de riesgo físico y los factores de agravamiento después de aplicar las funciones de transformación (Tablas F.14).

La Figura 3.26 presenta los resultados de riesgo físico medio por localidad en orden descendente. Afectando el riesgo físico de cada UPZ por el coeficiente de agravamiento, Figura 3.16, de la localidad correspondiente, se obtiene el riesgo total. La Figura 3.27 presenta los valores medios de riesgo total para las localidades de Bogotá. El mapa de la Figura 3.28 presenta los resultados obtenidos para el riesgo físico, y la Figura 3.29 representa los resultados del riesgo total.

La Tabla 3.17 indica las diez UPZs con mayor índice de riesgo físico y la Tabla 3.18 las de mayor riesgo total. La Tabla F.15 presenta los resultados para todas las UPZs.

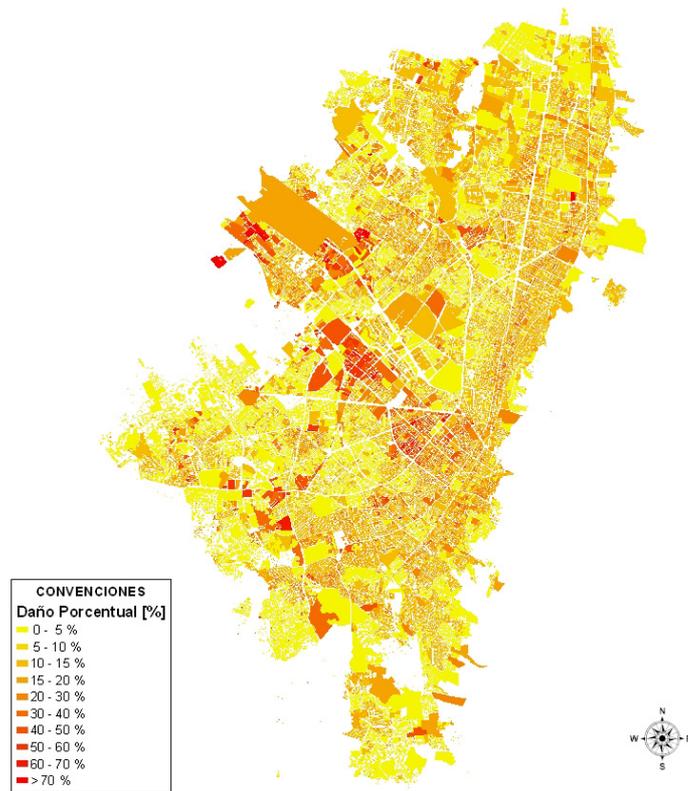


Figura 3.25. Porcentaje de daño correspondiente a un sismo en la zona Benihoff profunda

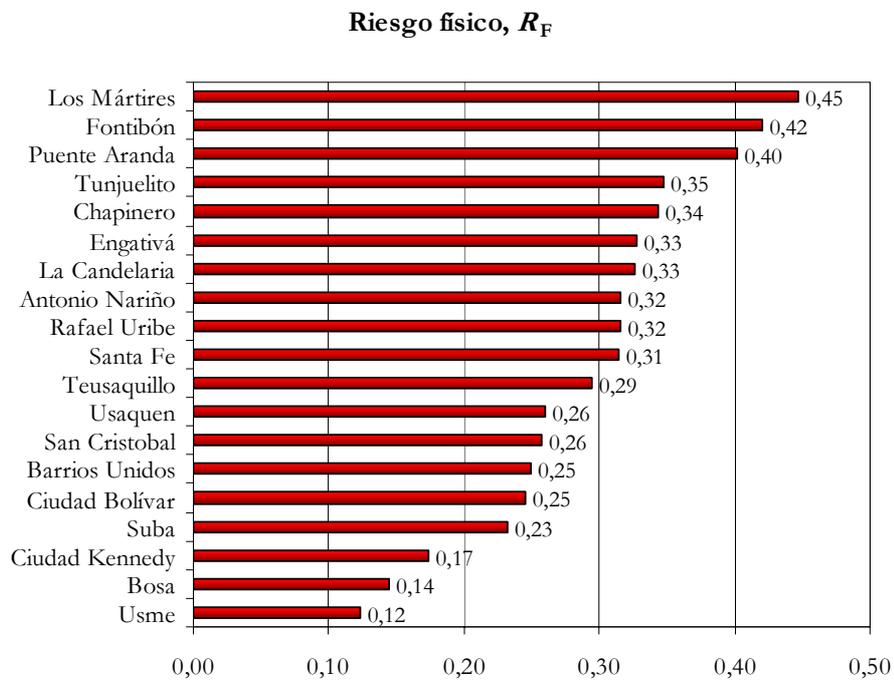


Figura 3.26. Riesgo físico medio por localidad

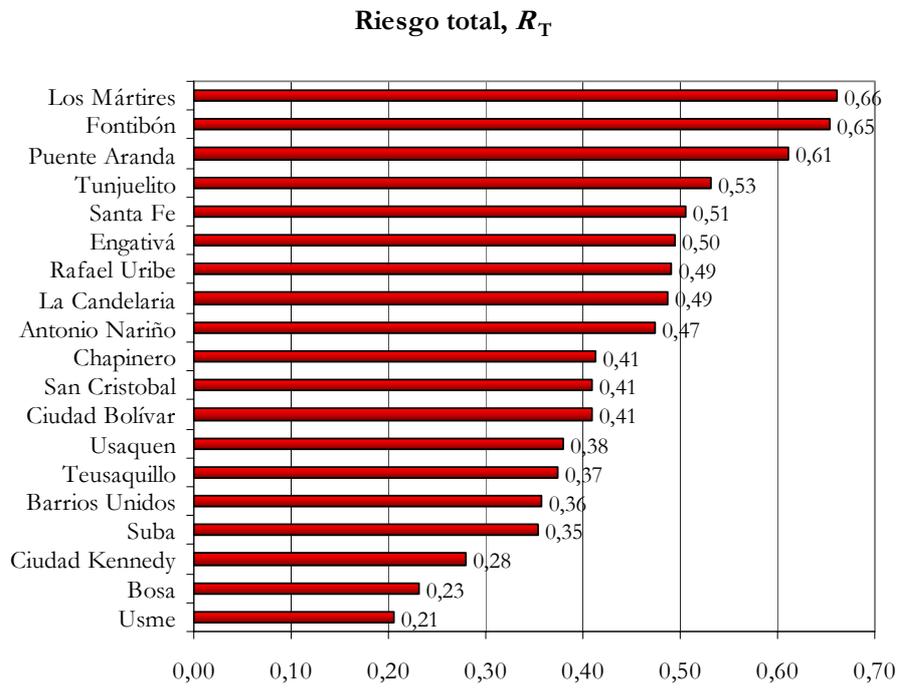


Figura 3.27. Riesgo total medio por localidad

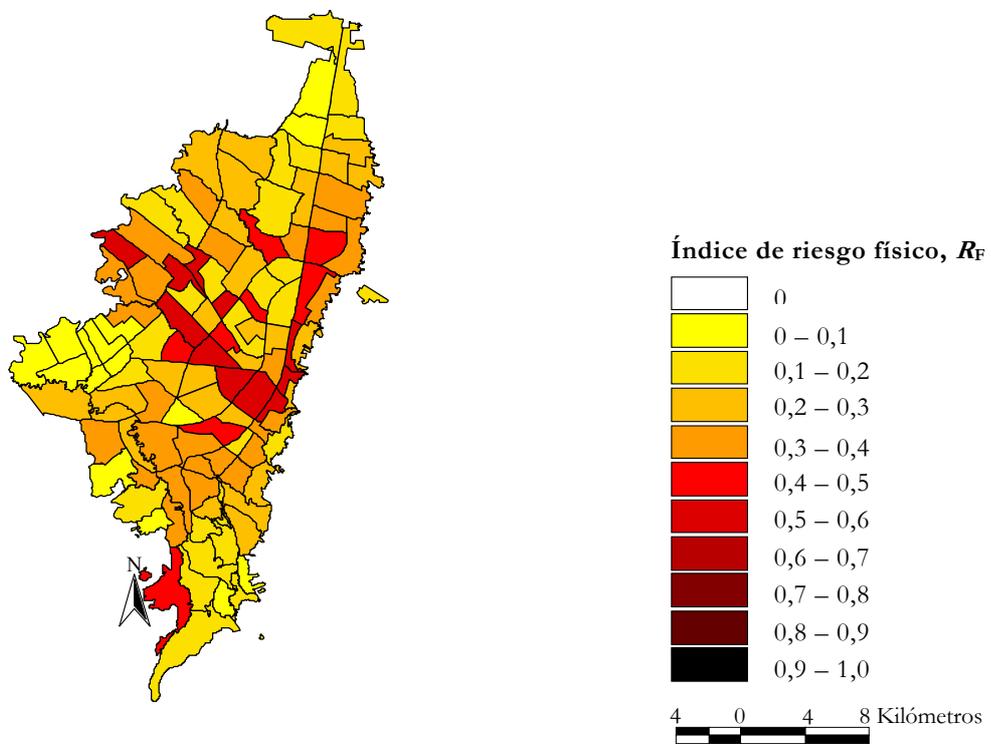


Figura 3.28. Índice de riesgo físico,  $R_F$ , para el sismo en la zona Benioff profunda

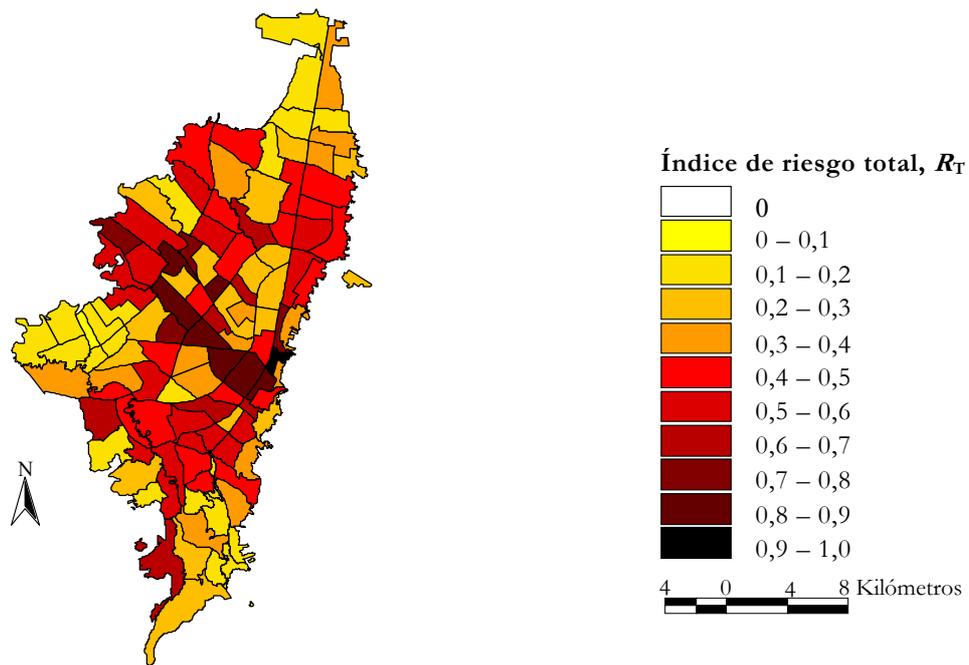


Figura 3.29. Índice de riesgo total,  $R_T$ , para el sismo en la zona Benioff profunda

Tabla 3.17. UPZs de mayor riesgo físico para el sismo de la zona Benioff profunda

UPZ	Localidad	$R_F$
Chapinero	Chapinero	0,589
Puente Aranda	Puente Aranda	0,584
Jardín Botánico	Engativá	0,583
Zona Industrial	Puente Aranda	0,582
Granjas Techo	Fontibón	0,580
La Sabana	Los Mártires	0,578
Sagrado Corazón	Santa Fe	0,560
Las Nieves	Santa Fe	0,538
Capellania	Fontibón	0,524

Tabla 3.18. UPZs de mayor riesgo total para el sismo de la zona Benioff profunda

UPZ	Localidad	$R_T$
Sagrado Corazón	Santa Fe	0,903
Granjas Techo	Fontibón	0,899
Puente Aranda	Puente Aranda	0,889
Zona Industrial	Puente Aranda	0,886
Jardín Botánico	Engativá	0,880
Las Nieves	Santa Fe	0,867
La Sabana	Los Mártires	0,853
Capellania	Fontibón	0,813
Bavaria	Kennedy	0,795
Fontibón San Pablo	Fontibón	0,783

### 3.2.2.4 *Benioff intermedia*

La Figura 3.30 representa el escenario de riesgo físico correspondiente a un sismo en la Zona Benioff intermedia, punto de partida para la evaluación holística del riesgo.

En el Apéndice F pueden encontrarse los valores de los descriptores de riesgo físico para algunas de las UPZs, Tabla F.16, según lo indicado en la Tabla 3.1, y los valores del coeficiente de agravamiento son los mismos de la Tabla F.6 para cada una de las localidades de la ciudad. También se presentan los valores los factores de riesgo físico después de aplicar las funciones de transformación (Tabla F.17).

La Figura 3.31 presenta los resultados de riesgo físico medio por localidad en orden descendente. Afectando el riesgo físico de cada UPZ por el coeficiente de agravamiento, Figura 3.16, de la localidad correspondiente, se obtiene el riesgo total. La Figura 3.32 presenta los valores medios de riesgo total para las localidades de Bogotá. El mapa de la Figura 3.33 presenta los resultados obtenidos para el riesgo físico, y la Figura 3.34 representa los resultados del riesgo total.

La Tabla 3.19 indica las diez UPZs con mayor índice de riesgo físico y la Tabla 3.20 las de mayor riesgo total. La Tabla F.18 presenta los resultados para todas las UPZ.

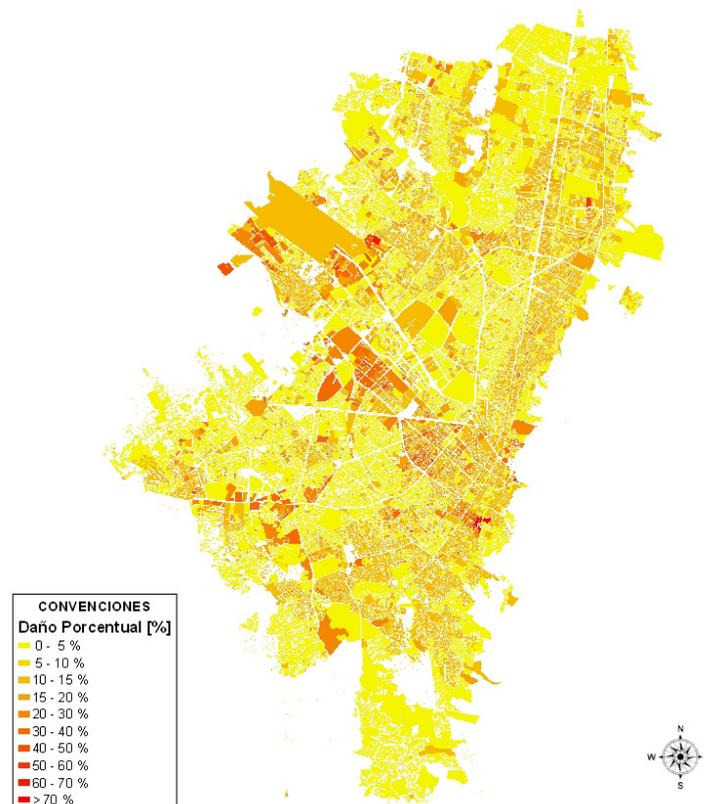
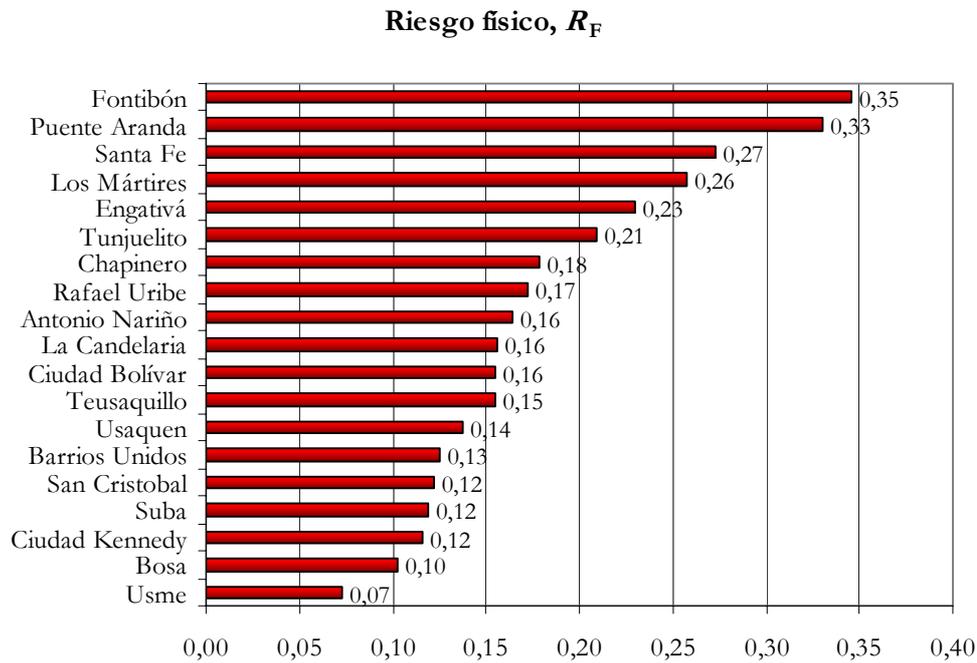
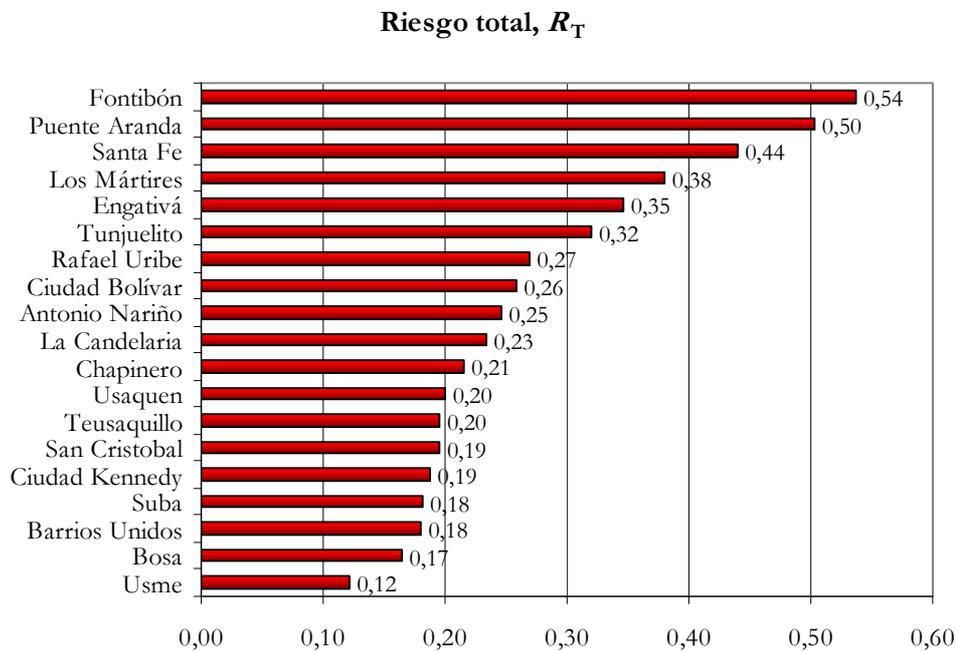


Figura 3.30. Porcentaje de daño correspondiente a un sismo en la zona Benioff intermedia



**Figura 3.31. Riesgo físico medio por localidad**



**Figura 3.32. Riesgo total medio por localidad**

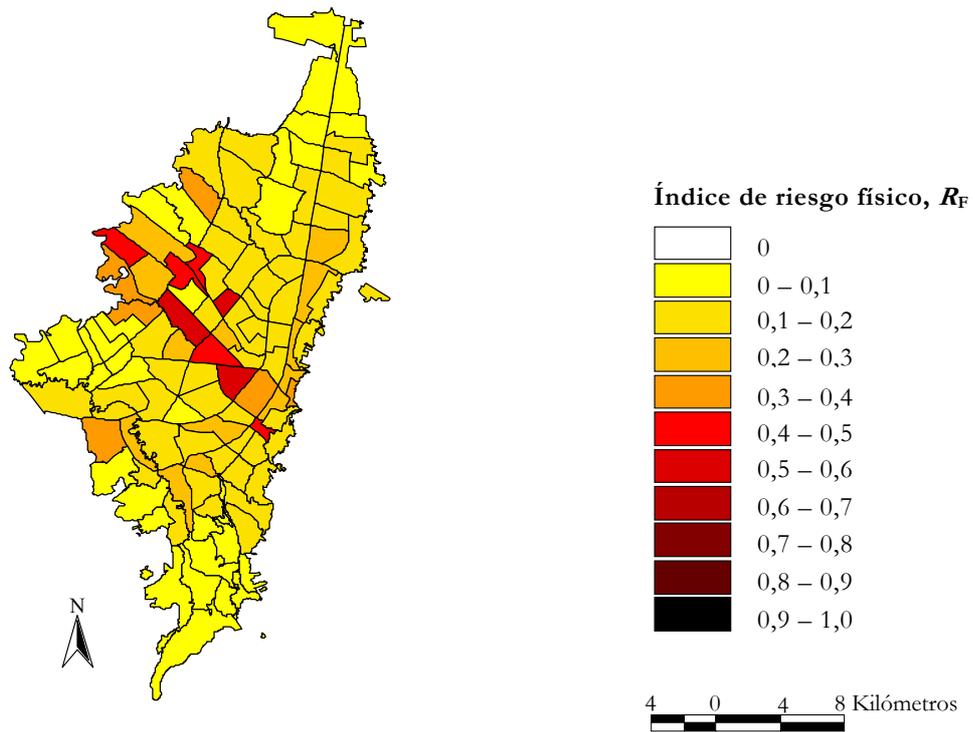


Figura 3.33. Índice de riesgo físico,  $R_F$ , para el sismo en la zona Benioff intermedia

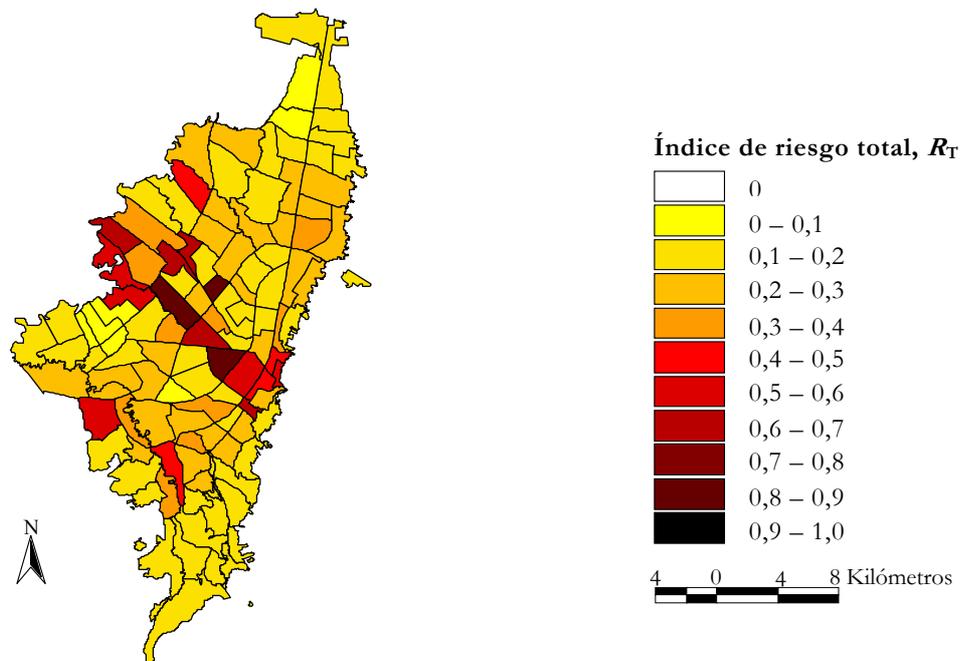


Figura 3.34. Índice de riesgo total,  $R_T$ , para el sismo en la zona Benioff Intermedia

**Tabla 3.19. UPZs con mayor riesgo físico para el sismo en la zona Benioff Intermedia**

UPZ	Localidad	$R_F$
Zona Industrial	Puente Aranda	0,578
Jardín Botánico	Engativá	0,577
Granjas Techo	Fontibón	0,577
Puente Aranda	Puente Aranda	0,453
Fontibón San Pablo	Fontibón	0,443
Álamos	Engativá	0,431
Capellania	Fontibón	0,424
Las Cruces	Santa Fe	0,415
Zona Franca	Fontibón	0,368
Tintal Norte	Ciudad Kennedy	0,366

**Tabla 3.20. UPZs con mayor riesgo total para el sismo en la zona Benioff Intermedia**

UPZ	Localidad	$R_T$
Granjas Techo	Fontibón	0,895
Zona Industrial	Puente Aranda	0,881
Jardín Botánico	Engativá	0,870
Puente Aranda	Puente Aranda	0,690
Fontibón San Pablo	Fontibón	0,687
Las Cruces	Santa Fe	0,669
Capellania	Fontibón	0,657
Álamos	Engativá	0,651
Tintal Norte	Ciudad Kennedy	0,592
Zona Franca	Fontibón	0,572

### 3.3 Aplicación a Barcelona, España

La ciudad de Barcelona está formada por diez distritos, Figura 3.35. Los distritos tienen competencias en temas de urbanismo, vía pública, mantenimiento de infraestructuras, servicios personales, población, etc. y son: Ciutat Vella, Eixample, Sants-Montjuïc, Les Corts, Sarrià-Sant Gervasi, Gràcia, Horta-Guinardó, Nou Barris, Sant Andreu y Sant Martí. Los distritos a su vez se subdividen en 38 barrios o zonas estadísticas grandes (ZEG). Barcelona también está subdividida en 248 zonas estadísticas pequeñas (ZRP).

En este caso para riesgo físico se tienen dos escenarios como puntos de partida, el primero corresponde a un sismo probabilista y el segundo a un sismo determinista, los dos fueron calculados en el marco del proyecto RISK-UE, para el cálculo de estos se tuvieron en cuenta las 248 zonas ZRP (ICC/CIMNE 2004). El coeficiente de agravamiento fue estimado por distrito, debido a las competencias que esta unidad administrativa tiene.

Para la obtención de los valores de los descriptores de fragilidad social y falta de resiliencia se utilizaron como fuentes de información el anuario estadístico de la ciudad publicado en la página Web de Barcelona ([www.bcn.es](http://www.bcn.es)), la página Web del servicio de bomberos de Barcelona (<http://www.bcn.es/bombers/cast/>) y opiniones de expertos conocedores de la ciudad.

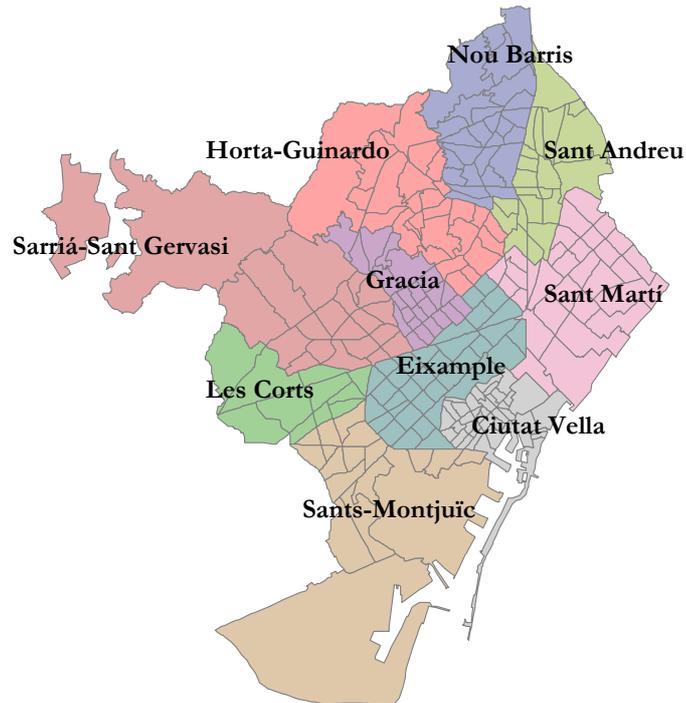


Figura 3.35. División territorial de Barcelona, España

### 3.3.1 Evaluación para un sismo probabilista

El punto de partida es un escenario de riesgo físico para un sismo probabilista. La Figura 3.36 presenta el daño medio obtenido para cada una de las 248 ZRP (ICC/CIMNE 2004).

En el Apéndice F, la Tabla F.19 presenta los valores de los descriptores de riesgo físico para las 248 ZRP. La Tabla F.20 presenta algunos ejemplos de los factores de riesgo físico obtenidos aplicando las funciones de transformación. La Tabla F.21 muestra los valores de los descriptores de fragilidad social y falta de resiliencia, y la Tabla F.22 presenta los valores de los factores obtenidos mediante la aplicación de las funciones. Además se presentan los valores promedio de los factores para la ciudad, normalizados utilizando la densidad de la población.

La Figura 3.37 presenta los resultados de riesgo físico medio por distrito en orden descendente. Afectando el riesgo físico de cada ZRP por el coeficiente de agravamiento, Figura 3.38, del distrito correspondiente, se obtiene el riesgo total. La Figura 3.39 presenta los valores medios de riesgo total para los distritos de

Barcelona. El mapa de la Figura 3.40 presenta los resultados obtenidos para el riesgo físico y la Figura 3.41 representa los resultados del riesgo total

La Tabla 3.21 presenta algunos ejemplos de los resultados finales de riesgo físico, del coeficiente de agravamiento y del riesgo total por cada ZRP y el valor promedio de cada uno de ellos para la ciudad. La Tabla F.23 presenta los resultados para todas las ZRP.

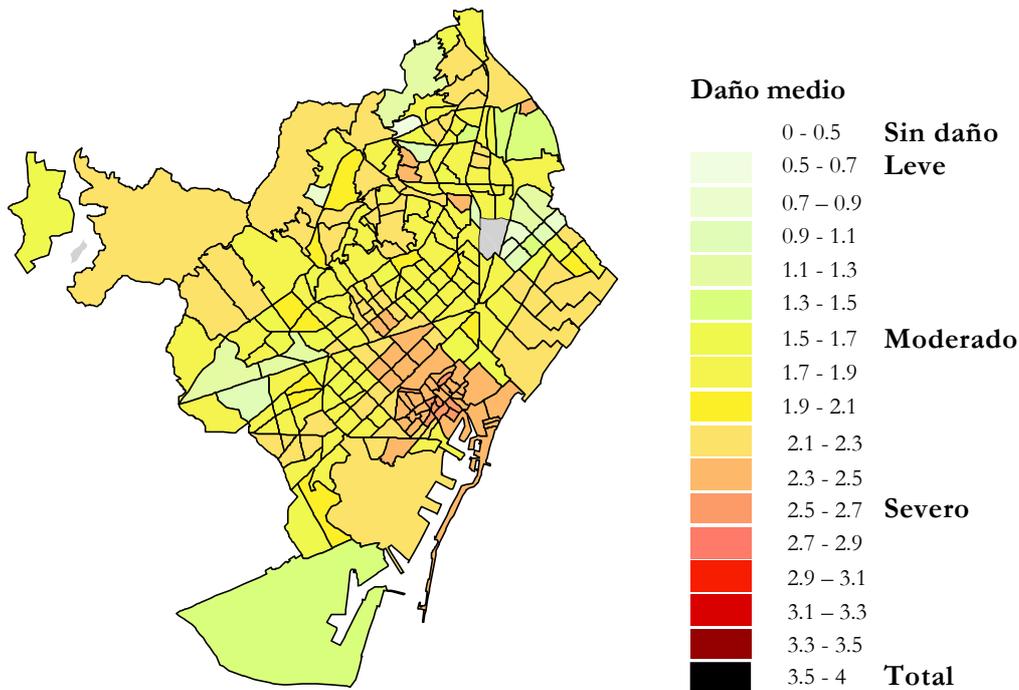


Figura 3.36. Daño medio para un sismo probabilista (ICC/CIMNE 2004)

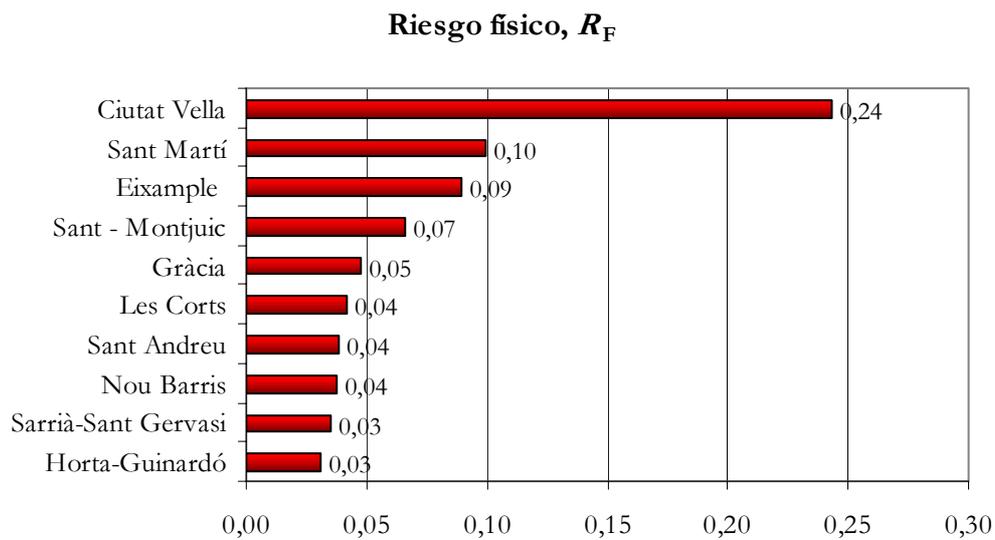
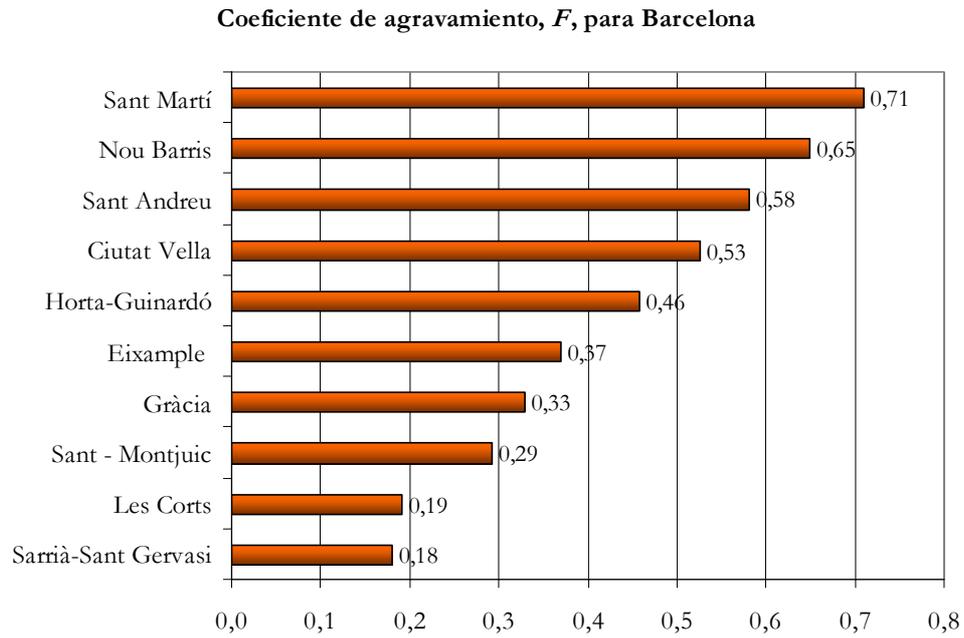
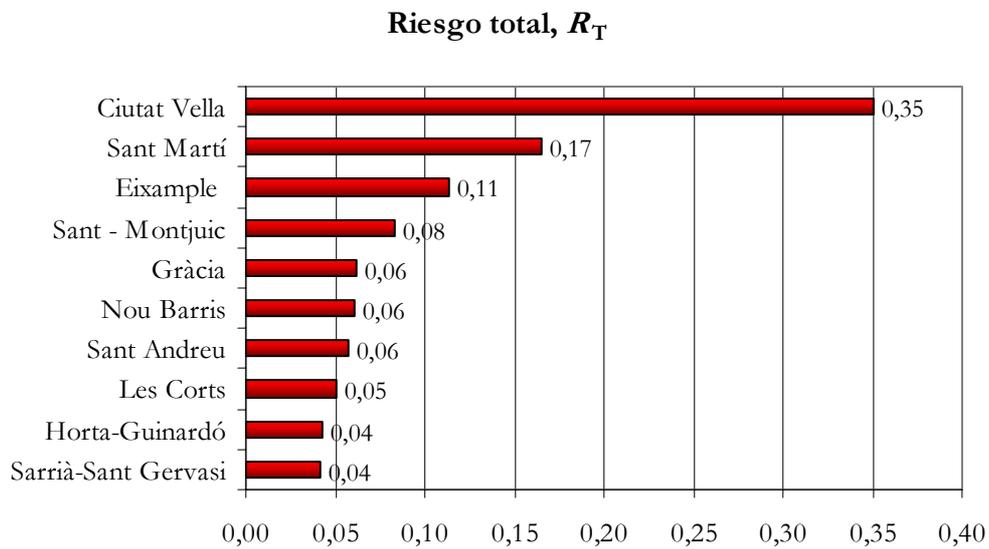


Figura 3.37. Riesgo físico medio por distrito



**Figura 3.38. Coeficiente de agravamiento para los distritos de Barcelona**



**Figura 3.39. Riesgo total medio para los distritos de Barcelona**

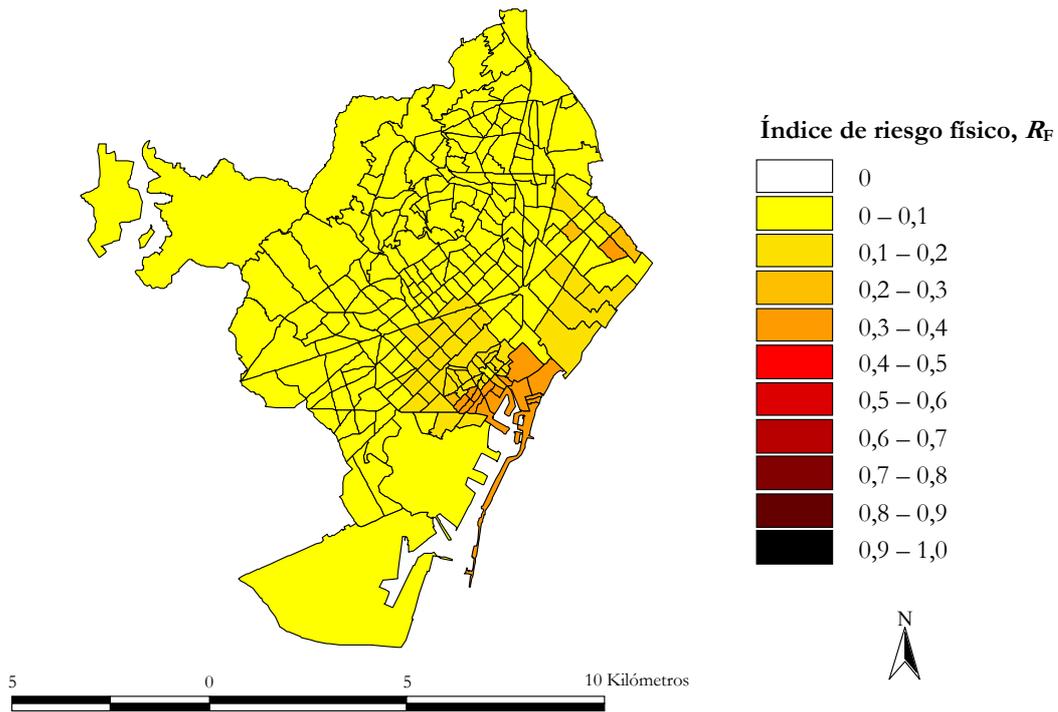


Figura 3.40. Índice de riesgo físico para Barcelona, España

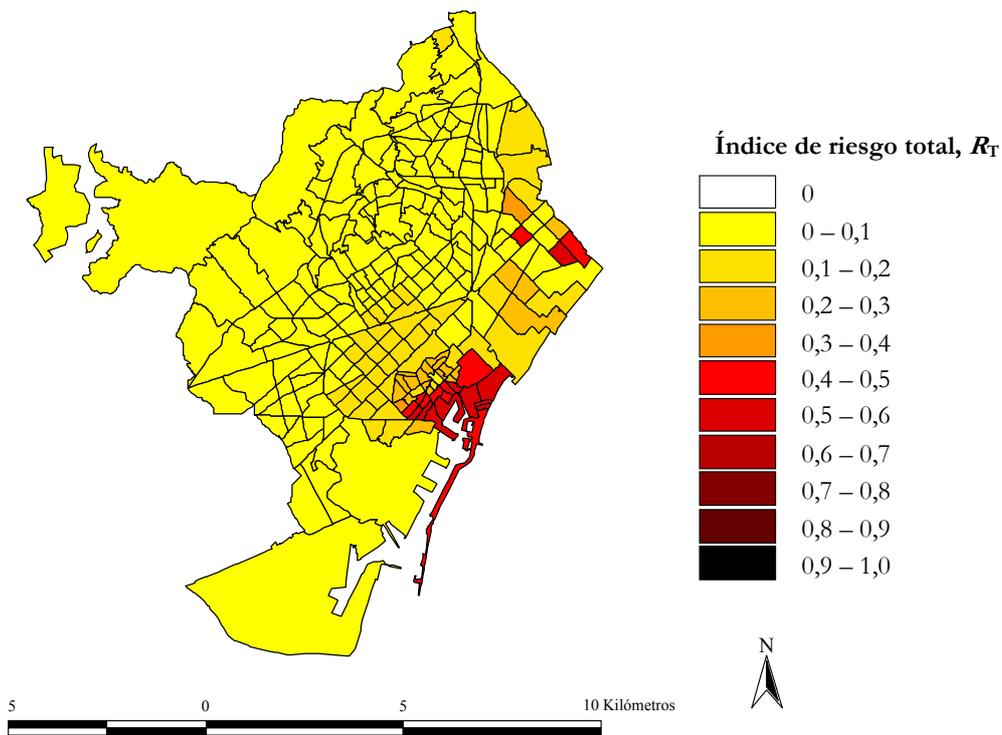


Figura 3.41. Índice de riesgo total para Barcelona, España

Tabla 3.21. Riesgo total para la ciudad de Barcelona

ZRP	$R_F$	$F$	$R_T$
001	0,306	0,444	0,442
002	0,331	0,444	0,479
003	0,328	0,444	0,473
004	0,336	0,444	0,485
005	0,340	0,444	0,491
006	0,316	0,444	0,456
007	0,339	0,444	0,489
008	0,172	0,444	0,248
009	0,139	0,444	0,200
...	...	...	...
240	0,053	0,659	0,088
241	0,032	0,659	0,053
242	0,041	0,659	0,068
243	0,279	0,659	0,462
244	0,048	0,659	0,080
245	0,183	0,659	0,303
246	0,054	0,659	0,089
247	0,058	0,659	0,097
248	0,078	0,659	0,130
<i>Barcelona</i>	<i>0,0759</i>	<i>0,42</i>	<i>0,1102</i>

### 3.3.2 Evaluación para un sismo determinista

El punto de partida es un escenario de riesgo físico para un sismo determinista, la Figura 3.42 presenta el daño medio obtenido para cada una de las 248 ZRP (ICC/CIMNE 2004).

En el Apéndice F, la Tabla F.24 presenta los valores de los descriptores de riesgo físico para las 248 ZRP. La Tabla F.25 presenta algunos de los factores de riesgo físico obtenidos aplicando las funciones de transformación. Se utiliza el mismo coeficiente de agravamiento de la Figura 3.38, y que se presenta en la Tabla F.22.

La Figura 3.43 presenta los resultados de riesgo físico medio por distrito en orden descendente. Afectando el riesgo físico de cada ZRP por el coeficiente de agravamiento, Figura 3.38, del distrito correspondiente, se obtiene el riesgo total. La Figura 3.44 presenta los valores medios de riesgo total para los distritos de Barcelona. El mapa de la Figura 3.45 presenta los resultados obtenidos para el riesgo físico, y la Figura 3.46 representa los resultados del riesgo total.

La Tabla 3.22 presenta algunos ejemplos de los resultados finales de riesgo físico, del coeficiente de agravamiento y del riesgo total por cada ZRP y el valor

promedio de cada uno de ellos para la ciudad. En el Apéndice F, la Tabla F.26 presenta los resultados para todas las ZRP de la ciudad.

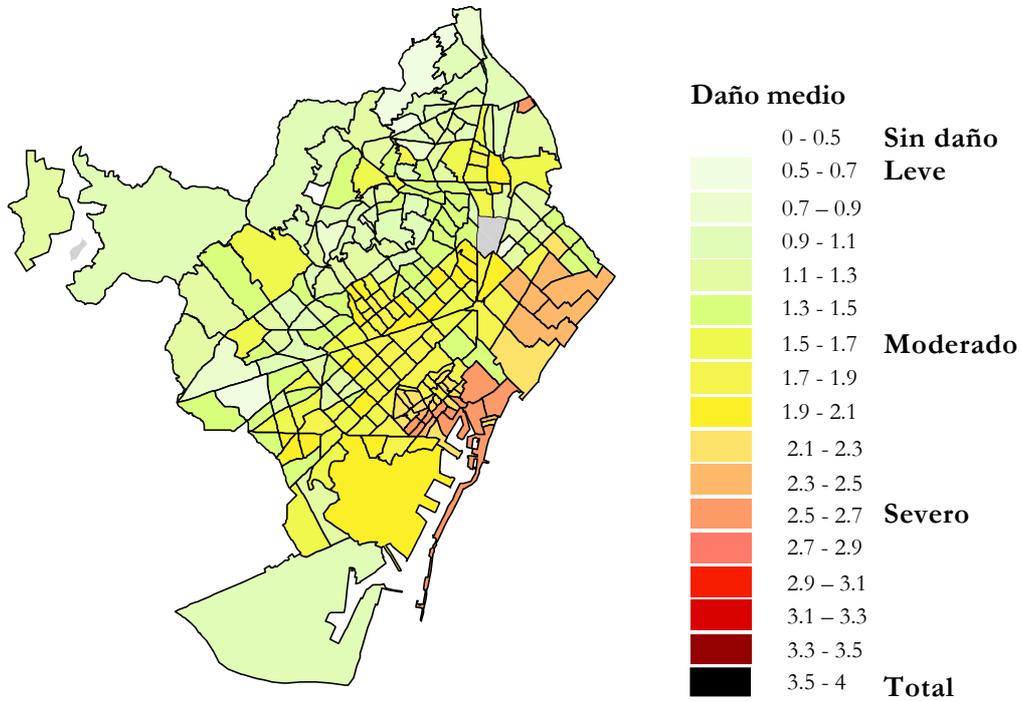


Figura 3.42. Daño medio para un sismo determinista (ICC/CIMNE 2004)

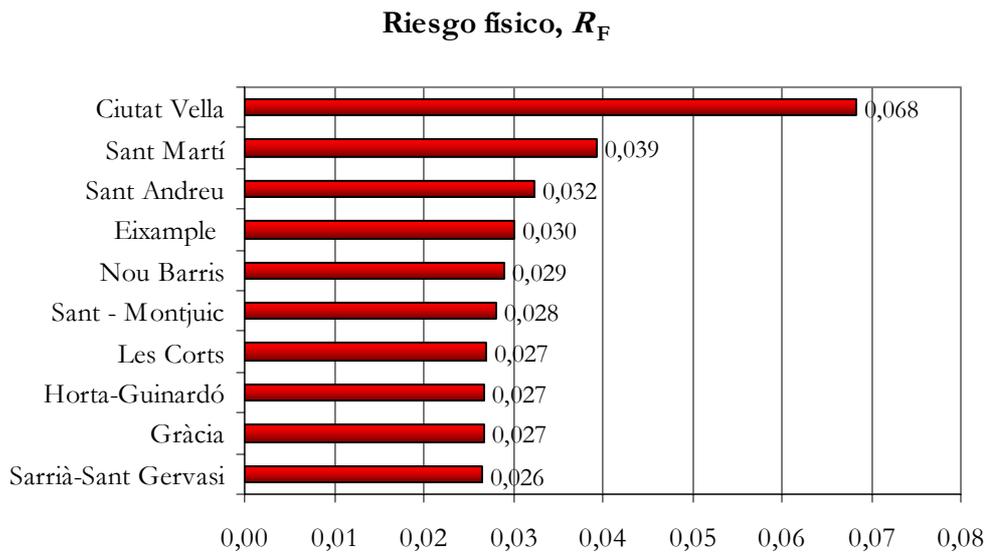


Figura 3.43. Riesgo físico medio por distrito

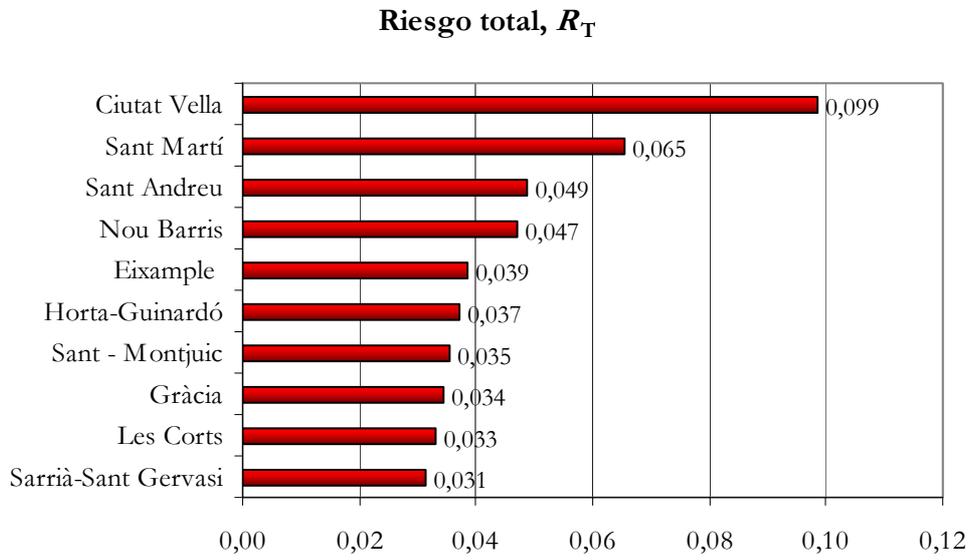


Figura 3.44. Riesgo físico medio por distrito

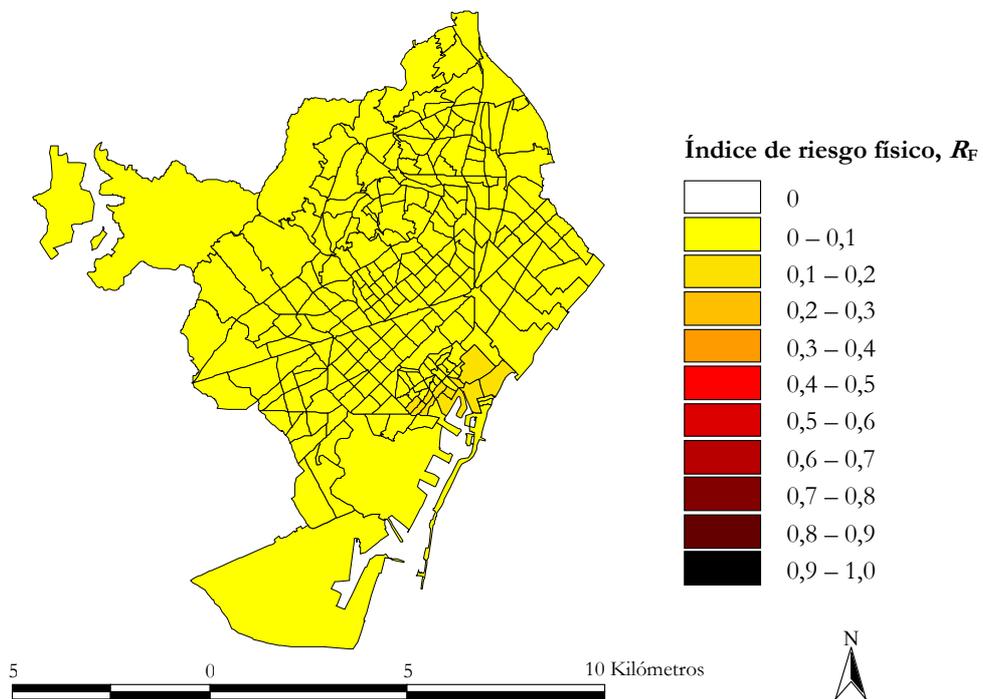


Figura 3.45. Índice de riesgo físico para Barcelona, España

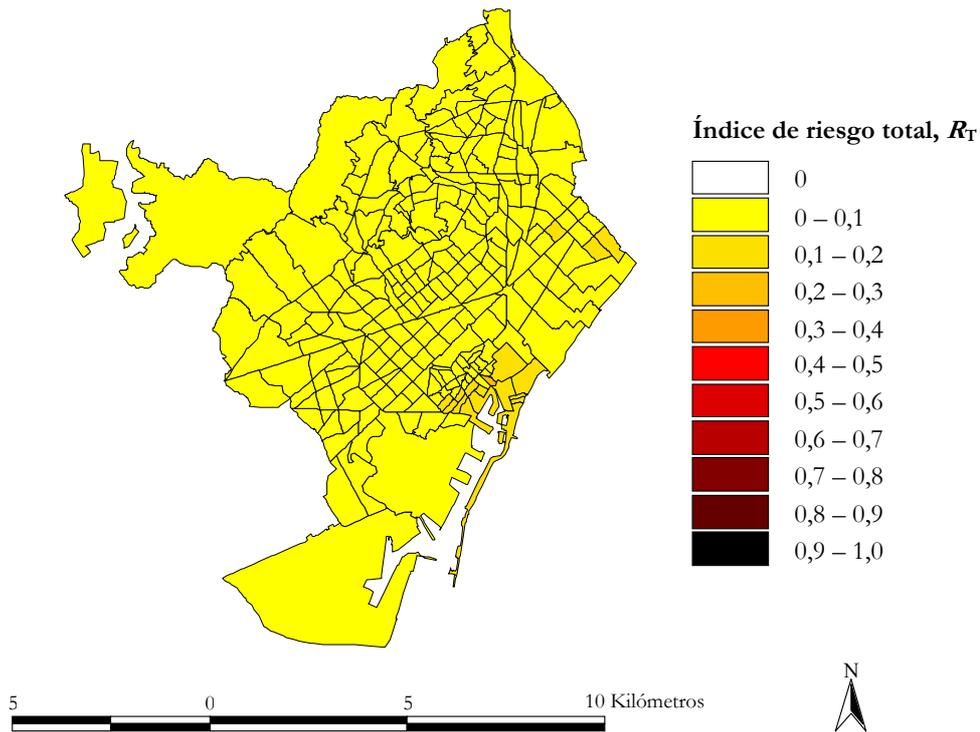


Figura 3.46. Índice de riesgo total para Barcelona, España

Tabla 3.22. Riesgo total para la ciudad de Barcelona

ZRP	$R_F$	$F$	$R_T$
001	0,075	0,444	0,109
002	0,091	0,444	0,131
003	0,092	0,444	0,132
004	0,115	0,444	0,166
005	0,117	0,444	0,169
006	0,108	0,444	0,155
007	0,142	0,444	0,205
008	0,032	0,444	0,046
009	0,029	0,444	0,042
...	...	...	...
240	0,031	0,659	0,051
241	0,027	0,659	0,044
242	0,030	0,659	0,050
243	0,064	0,659	0,106
244	0,030	0,659	0,050
245	0,048	0,659	0,080
246	0,035	0,659	0,058
247	0,035	0,659	0,058
248	0,037	0,659	0,061
<i>Barcelona</i>	<i>0,0345</i>	<i>0,42</i>	<i>0,0501</i>

### 3.4 Comparación de resultados

Dado que se tienen resultados para Bogotá para los años 2001 y 2005 es posible ver su evolución en el tiempo. En cuanto al coeficiente de agravamiento, en términos generales, comparando los resultados obtenidos en el 2001 con los de 2005, se puede decir que las localidades mantienen relativamente la misma situación, aunque los valores máximos han disminuido y el mínimo se ha mantenido. No obstante, en el año 2005 se observa que hay menor variación entre los resultados para las diferentes localidades. En el riesgo físico se observa una gran variación entre los resultados obtenidos para el 2001 y los valores medios por localidad para el 2005, esto se debe a que los escenarios del 2005 se hicieron con una resolución mayor, es decir, la evaluación del riesgo físico es ahora mucho más detallada. El índice de riesgo físico varía de acuerdo con el escenario que de daños que se tenga en cuenta. La distribución de los daños y pérdidas cambia y hay concentraciones importantes según sea el terremoto que se presente.

La Tabla 3.23 muestra los valores promedio para los escenarios de Bogotá en el 2005. Se observa como el sismo que pone en una situación más crítica a Bogotá es el producido en la falla Frontal. Si se hace un promedio de todos los escenarios se obtienen los valores que se indican en la Tabla 3.25 para Bogotá 2005. La Tabla 3.24 presenta los valores medios para los sismos probabilista y determinista para Barcelona. Los valores promedio de los resultados de estos dos sismos se presentan en la Tabla 3.25. Bogotá esta situada en una zona de amenaza sísmica intermedia, mientras que Barcelona esta localizada en una zona de amenaza sísmica baja. Los valores promedio obtenidos para el índice de riesgo físico  $R_F$  reflejan dicha situación. Es interesante observar que los resultados obtenidos para el coeficiente de agravamiento  $F$ , que tiene en cuenta las condiciones de fragilidad socio-económica y de falta de resiliencia del contexto, son menores para Barcelona, aunque la diferencia no es muy grande. Los valores más bajos del coeficiente de agravamiento son similares (0,19 para la localidad de Teusaquillo en Bogotá en el año 2001; 0,20 para la localidad de Chapinero en Bogotá en el año 2005 y 0,18 para el distrito de Sarriá en Barcelona). Los valores mayores de coeficiente de agravamiento en las dos ciudades presentan una diferencia más notable (0,80 para la localidad de Usme en Bogotá en el año 2001; 0,67 también para Usme y para Ciudad Bolívar en Bogotá en el año 2005 y 0,71 para el distrito de Sant Martí en Barcelona). La metodología, como se ha ilustrado, permite la comparación entre diferentes ciudades del mundo, lo que permite una evaluación holística del riesgo unificada.

**Tabla 3.23. Comparación de valores medios para Bogotá 2005**

Índice	Frontal	La Cajita	Benioff profunda	Benioff intermedia
Riesgo físico, $R_F$	0,323	0,277	0,262	0,171
Coeficiente de agravamiento, $F$	0,547			
Riesgo total, $R_T$	0,503	0,437	0,405	0,265

**Tabla 3.24. Comparación de valores medios para Barcelona**

Índice	Amenaza Probabilista	Amenaza Determinista
Riesgo físico, $R_F$	0,0759	0,0345
Coefficiente de agravamiento, $F$	0,424	
Riesgo total, $R_T$	0,1102	0,0501

**Tabla 3.25. Comparación de valores medios para Bogotá y Barcelona**

Índice	Bogotá D.C. 2001	Bogotá D.C. 2005	Barcelona
Riesgo físico, $R_F$	0,225	0,258	0,0552
Coefficiente de agravamiento, $F$	0,663	0,547	0,424
Riesgo total, $R_T$	0,374	0,402	0,0801

Aun cuando las evaluaciones más recientes son de mucho mayor resolución y los datos son de mejor calidad se puede concluir, en general, que el riesgo sísmico físico de Bogotá en promedio ha tenido un leve aumento en los últimos diez años. Ahora bien, es importante resaltar que se detecta una disminución significativa en el coeficiente de agravamiento en términos de fragilidad social y falta de resiliencia. Este hallazgo es de especial significación dado que las técnicas de evaluación empleadas para estimar los factores de impacto o coeficientes de agravamiento son básicamente las mismas en los dos momentos considerados. Aunque de acuerdo con estas evaluaciones el riesgo sísmico total de Bogotá ha aumentado, lo que podría deberse al aumento registrado en el riesgo físico, el detectar que los esfuerzos por mejorar en aspectos sociales y de capacidad de respuesta frente a desastres han tenido efectos positivos es algo de especial importancia para la gestión del riesgo de la ciudad e ilustra el beneficio de hacer evaluaciones de riesgo con un enfoque holístico, pues de lo contrario no podría detectarse el mejoramiento logrado.

## **4 EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA GESTIÓN DEL RIESGO**

### **4.1 Propuesta de evaluación de la efectividad de la gestión del riesgo**

#### **4.1.1 Enfoque metodológico utilizando indicadores**

Medir la gestión del riesgo, debido a fenómenos naturales, mediante indicadores es un desafío mayor desde el punto de vista conceptual, técnico-científico y numérico. Los indicadores deben ser transparentes, representativos y robustos, de fácil comprensión por parte de los responsables de formular políticas públicas a nivel nacional, subnacional o urbano. Es importante que la metodología de evaluación sea de fácil aplicación para que pueda ser usada de manera periódica, y permita comparar la efectividad de la gestión de riesgos entre países, ciudades o regiones, o en cualquier nivel territorial y en diferentes momentos de tiempo. Este tipo de evaluación facilita el análisis de la evolución de la gestión y su seguimiento con fines de fortalecer los aspectos más débiles (Carreño *et al.* 2006b).

En la evaluación de la gestión del riesgo se involucra información que no tiene unidades de medida comunes o que sólo puede ser calificada utilizando calificaciones lingüísticas. Es por esto que es posible utilizar indicadores compuestos multi-atributo y la teoría de conjuntos difusos (Anexo C) como herramientas que ayuden a la evaluación de la efectividad de la gestión del riesgo.

Un indicador compuesto es una combinación matemática (o agregación) de un conjunto de variables o subindicadores. Usualmente se intenta representar una situación y es el resultado de la conciliación entre la exactitud científica y la información disponible a un costo razonable. Se ha enfatizado que la calidad en general de un indicador compuesto depende fundamentalmente de la forma como el modelo matemático se incorpore en el proceso de estructuración social, política

y técnica que se analiza (Munda 2003). De acuerdo con el Primer Taller sobre Indicadores Compuestos de Desempeño de Países llevado a cabo en Ispra, Italia (JRC-EC 2003), se deben considerar los siguientes aspectos para la construcción de indicadores compuestos: el marco teórico, la selección de datos, el análisis de correlación de los mismos, los métodos de normalización, la técnica de ponderación, la agrupación de países o regiones, las pruebas de sensibilidad, la transparencia/accesibilidad y la visualización.

Los indicadores compuestos están basados en subindicadores que no tienen unidades significativas comunes de medición y no hay una forma obvia de ponderarlos (Cardona *et al.* 2003b). Varias técnicas pueden ser utilizadas que ofrecen diferentes ventajas y desventajas. Algunas de estas técnicas son: las técnicas de agregación, los análisis de regresión lineal múltiple, el análisis de componentes principales o de factores, el análisis de la frontera eficiente, la opinión de expertos (asignación presupuestal de pesos), la distancia a objetivos, la opinión pública y el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ), que se describe en el Anexo B.

Los conjuntos difusos son conjuntos que no tienen límites perfectamente definidos, es decir, la transición entre la pertenencia y no-pertenencia de una variable a un conjunto es gradual. Esta propiedad es útil en el caso en que se necesita flexibilidad en la modelización utilizando expresiones lingüísticas o cualitativas, como mucho, poco, leve, severo, escaso, incipiente, moderado, confiable, etc. Algunos aspectos básicos de la teoría de conjuntos difusos son tratados en forma más amplia en el Anexo C. En este capítulo se propone utilizar ambas técnicas y realizar la agregación para obtener un Índice de Gestión de Riesgo, *IGR*, o *DRMi* en inglés Disaster Risk Management Index, teniendo en cuenta los diferentes criterios de asignación de factores de importancia, de combinación de indicadores y los análisis de incertidumbre y sensibilidad que se describen en Cardona *et al.* 2004.

Actualmente no existen indicadores específicos, que sean ampliamente aceptados, para evaluar directamente el desempeño de la gestión del riesgo u otros aspectos relevantes que reflejen lo que se desea medir como gestión del riesgo. Algunas iniciativas se han tenido (Mitchell 2003), sin embargo, estas mediciones se han considerado subjetivas y arbitrarias debido a su carácter normativo; es decir, es necesario definir referentes. Esto significa establecer una escala de niveles de desempeño (Davis 2003; Masure 2003) o la “distancia” con respecto a ciertos umbrales objetivo o al desempeño obtenido por un país líder considerado como el referente (Munda 2003). Uno de los principales esfuerzos para definir los aspectos que caracterizan la gestión del riesgo ha sido la acción liderada por la ISDR (2003), en el marco de la cual se proponen en borrador varias áreas temáticas componentes y los posibles criterios para la valoración del desempeño (Cardona *et al.* 2003b). En cualquiera de los casos, es necesario calificar las variables con una escala cualitativa que puede ser de 1 a 5 ó de 1 a 7 (Benson 2003b; Briguglio 2003a/b; Mitchell 2003) o mediante valoraciones lingüísticas (Davis 2003; Masure 2003).

En la medición de la gestión del riesgo se debe tener en cuenta la eficiencia de las cuatro políticas públicas descritas en el Capítulo 2. Para cada política pública se proponen indicadores que caracterizan el desempeño de la gestión del riesgo en el país, región o ciudad; indicadores que pueden variar según la unidad territorial evaluada. Un número muy alto de indicadores podría ser redundante e innecesario y haría muy difícil la asignación de factores de importancia o pesos a cada indicador. La valoración de cada indicador se realiza utilizando cinco niveles de desempeño: bajo, incipiente, apreciable, notable y óptimo que, desde el punto de vista numérico, corresponden a un rango de 1 a 5, siendo uno el nivel bajo y cinco el nivel óptimo. Este enfoque metodológico permite utilizar cada nivel de referencia simultáneamente como un “objetivo de desempeño” y, por lo tanto, facilita la comparación y la identificación de resultados o logros hacia los cuales los gobiernos deben dirigir sus esfuerzos de formulación, implementación y evaluación de cada política.

A cada indicador se le asigna un peso que representa la importancia relativa de los aspectos que se evalúan en cada una de las cuatro políticas públicas. Las valoraciones de los indicadores y de sus respectivos pesos se establecen mediante consultas con expertos externos y representantes de las instituciones encargadas de la ejecución de las políticas públicas de gestión de riesgos en cada caso.

El índice de gestión de riesgos,  $DRMi$ , se obtiene del promedio de los cuatro indicadores que representan las cuatro políticas públicas: identificación del riesgo,  $IR$ , reducción del riesgo,  $RR$ , gestión de desastres,  $MD$ , y protección financiera (transferencia de riesgo) y gobernabilidad,  $PF$

$$DRMi = (IGR_{IR} + IGR_{RR} + IGR_{MD} + IGR_{PF})/4 \quad (4.1)$$

Los índices de gestión de riesgo para cada tipo de política pública ( $IGR_{IR}$ ,  $IGR_{RR}$ ,  $IGR_{MD}$ ,  $IGR_{PF}$ ), cada índice tiene seis indicadores componentes y se calcula como:

$$IGR'_{c(IR,RR,MD,PF)} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i I'_{ic}}{\sum_{i=1}^N w_i} \Bigg|_{(IR,RR,MD,PF)} \quad (4.2)$$

donde  $w_i$  es el peso asignado a cada indicador,  $I'_{ic}$  corresponde a cada indicador para la unidad territorial en consideración  $c$  y el período  $t$  –normalizado u obtenido de la *desfusificación* de las valoraciones lingüísticas– que representa las actividades de gestión de riesgo definidas para cada política pública, respectivamente.  $N$  es el número total de indicadores componentes para cada política pública,  $N=6$ .

Cada indicador componente se califica de acuerdo con cinco niveles de desempeño posibles que son predefinidos: 1 = bajo, 2 = incipiente, 3 = apreciable,

4 = notable, 5 = optimo. Estos niveles de calificación corresponden a cinco funciones de pertenencia de tipo campana

$$bell(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (4.3)$$

donde  $b$  es un parámetro usualmente positivo, o de tipo sigmoidal (bajo y optimo)

$$sigmoidal(x; a, c) = \frac{1}{1 + \exp[-a(x-c)]} \quad (4.4)$$

donde  $a$  controla la pendiente en el punto de membresía  $0,5$ ;  $x = c$ . La Figura 4.1a muestra estas funciones de pertenencia. En el eje  $x$  de la figura se representa el valor de los indicadores y en el eje  $y$  el grado de pertenencia a cada nivel de calificación, siendo 1 la total pertenencia y 0 la no pertenencia. El desempeño de la gestión de riesgos, tal como aquí se propone, se define mediante la pertenencia de estas funciones, que conforman la curva sigmoide que se ilustra en la Figura 4.1b, donde se indica el grado de efectividad de la gestión del riesgo en función del nivel de desempeño calculado con los diferentes indicadores. Desde el punto de vista teórico, es importante destacar que la Figura 4.1b ilustra que el aumento de la efectividad de la gestión de riesgo no es lineal, como en la evolución de cualquier proceso complejo; en un principio se tiene un menor progreso y en la medida que se logra una mayor gestión del riesgo, y se hace sostenible, el desempeño aumenta y mejora la efectividad. En un alto grado de desempeño, esfuerzos menores adicionales aumentan significativamente la efectividad. Por el contrario, pequeños logros en la gestión del riesgo se traducen en un desempeño despreciable y poco sostenible, por lo que sus resultados tienen poca o ninguna efectividad (Carreño *et al.* 2005c).

Es necesario que expertos que conozcan el desarrollo de la gestión de riesgos en la ciudad califiquen los diferentes indicadores según su experiencia y conocimiento, de acuerdo con los niveles dados para cada uno. El listado de indicadores se encuentra en la Tabla 4.1.

Es necesario que los expertos, además de calificar los indicadores, también asignen importancias relativas o pesos entre los indicadores de cada política pública. Estas son procesadas utilizando el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) que se describe en forma resumida en el Anexo B, en el cual se presenta el cálculo de los pesos. Los pesos asignados suman 1 y son utilizados para ponderar (darle altura) las funciones de pertenencia de los conjuntos difusos correspondientes a las calificaciones dadas

$$\sum_{j=1}^N w_j = 1 \quad (4.5)$$

donde  $N$  es el número de indicadores que intervienen en cada caso. La calificación de cada política pública ( $IR$ ,  $RR$ ,  $MD$ ,  $PF$ ) es el resultado de la unión de los conjuntos difusos escalados por los pesos,

$$\mu_{IGR_p} = \max(w_1 \times \mu_C(C_1), \dots, w_N \times \mu_C(C_N)) \quad (4.6)$$

donde  $w_1$  a  $w_N$  son los pesos de los indicadores componentes que son mostrados en la Figura 4.2,  $\mu_C(C_1)$  a  $\mu_C(C_N)$  corresponden a las funciones de pertenencia para las calificaciones indicadas a cada indicador, y  $\mu_{IGR_i}$  es la función de pertenencia para la calificación del  $IGR$  de cada política. El valor del índice de gestión de riesgo es obtenido mediante la *desfusificación* de esta función de pertenencia, utilizando el método del centroide de área (COA)

$$IGR_p = [\max(w_1 \times \mu_C(C_1), \dots, w_N \times \mu_C(C_N))]_{centroid} \quad (4.7)$$

Finalmente el promedio de los cuatro índices proporciona el indicador o índice total de gestión de riesgo,  $DRMi$ .

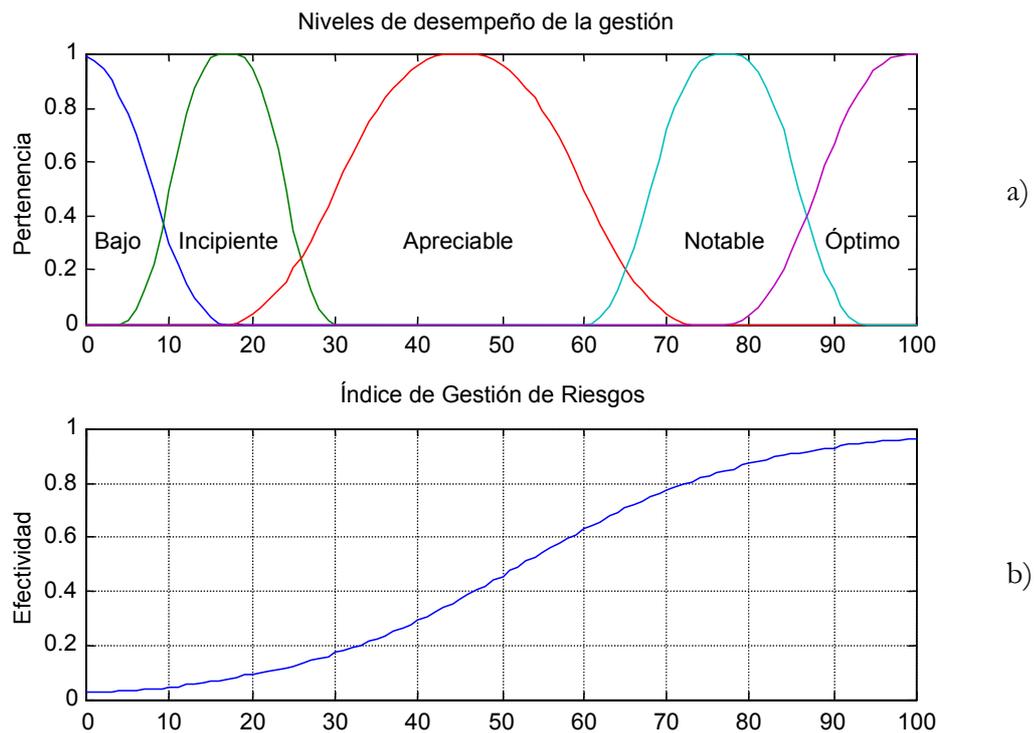


Figura 4.1. *a)* Funciones que representan los niveles de calificación, *b)* Grado de efectividad e la gestión de riesgos

Tabla 4.1. Indicadores de las cuatro políticas públicas consideradas para la evaluación de la gestión del riesgo

Política pública	Indicadores	
<i>Identificación del riesgo</i>	IR1	Inventario sistemático de desastres y pérdidas
	IR2	Monitoreo de amenazas y pronóstico
	IR3	Evaluación de amenazas y su representación en mapas
	IR4	Evaluación de vulnerabilidad y riesgo
	IR5	Información pública y participación comunitaria
	IR6	Capacitación y educación en gestión de riesgos
<i>Reducción del riesgo</i>	RR1	Integración del riesgo en la definición de usos y la planificación
	RR2	Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental
	RR3	Implementación de técnicas de protección y control de fenómenos
	RR4	Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos
	RR5	Actualización y control de la aplicación de normas y códigos
	RR6	Intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados
<i>Gestión de desastres</i>	MD1	Organización y coordinación de operaciones de emergencia
	MD2	Planificación de la respuesta en caso de emergencia y sistemas de alerta
	MD3	Dotación de equipos, herramientas e infraestructura
	MD4	Simulación, actualización y prueba de la respuesta interinstitucional
	MD5	Preparación y capacitación de la comunidad
	MD6	Planificación para la rehabilitación y reconstrucción
<i>Gobernabilidad y protección financiera</i>	PF1	Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada
	PF2	Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional
	PF3	Localización y movilización de recursos de presupuesto
	PF4	Implementación de redes y fondos de seguridad
	PF5	Seguros y estrategias de transferencia de pérdidas activos públicos
	PF6	Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado

Esta metodología fue desarrollada en el marco del Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos promovido por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y bajo la coordinación del Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. El *DRMi* se aplicó inicialmente en once países de América Latina y el Caribe y se tiene previsto aplicar a otros países de la región.

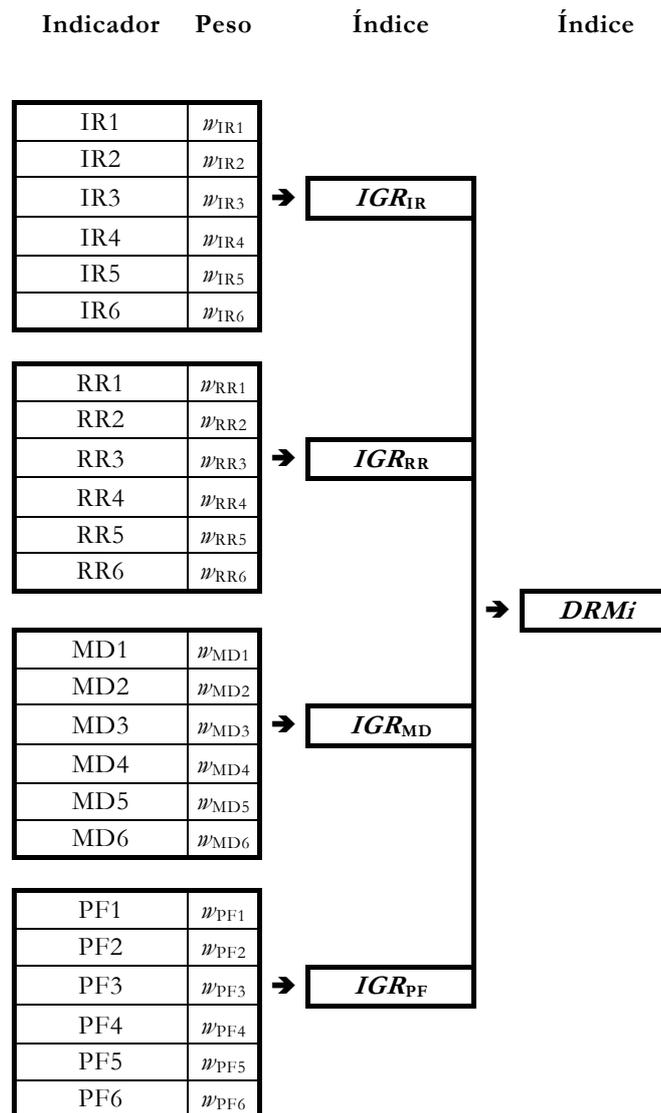


Figura 4.2. Indicadores componentes para el cálculo del  $DRM_i$

#### 4.1.2 Índice de identificación del riesgo

La identificación del riesgo colectivo, en general, comprende la percepción individual, la representación social y la evaluación objetiva. Para poder hacer intervenir el riesgo es necesario reconocerlo, medirlo y representarlo mediante modelos, mapas, índices, etc. que tengan significado para la sociedad y para los tomadores de decisiones. Metodológicamente, esta actividad involucra la valoración de las amenazas factibles, de los diferentes aspectos de la vulnerabilidad de la sociedad ante dichas amenazas y de su evaluación como una situación de posibles consecuencias de diferente índole en un tiempo de exposición definido como referente. Su valoración con fines de intervención tiene sentido cuando la población lo reconoce y lo comprende. Los indicadores de identificación de riesgos

y sus posibles niveles de calificación se muestran en la Tabla 4.2 y la Tabla 4.3 en un país y una ciudad respectivamente.

**Tabla 4.2. Indicadores de identificación de riesgos en un país**

<b>Indicadores y niveles de desempeño</b>
<p><b><u>IR1. Inventario sistemático de desastres y pérdidas</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Algunos datos básicos y superficiales de eventos históricos.</li> <li>2. Registro continuo de eventos actuales, catálogos incompletos de ocurrencia de algunos fenómenos e información limitada de efectos y pérdidas.</li> <li>3. Algunos catálogos completos a nivel nacional y en las regiones, sistematización generalizada de eventos actuales y de sus efectos económicos, sociales y ambientales.</li> <li>4. Inventario completo y múltiples catálogos de eventos; registro y sistematización detallada de efectos y pérdidas a nivel nacional.</li> <li>5. Inventario detallado de eventos y efectos para todo tipo de amenaza existente y bases de datos a nivel subnacional y local.</li> </ol>
<p><b><u>IR2. Monitoreo de amenazas y pronóstico</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Instrumentación mínima o deficiente de algunos fenómenos importantes.</li> <li>2. Redes básicas de instrumentación con problemas de actualización tecnológica y de mantenimiento continuo.</li> <li>3. Algunas redes con tecnología avanzada a nivel nacional o de zonas puntuales; pronósticos mejorados y protocolos de información establecidos para las principales amenazas.</li> <li>4. Buena y progresiva cobertura de la instrumentación a nivel nacional, investigación avanzada de la mayoría de fenómenos y algunos sistemas de alerta automáticos funcionando.</li> <li>5. Amplia cobertura de redes de estaciones y sensores para todo tipo de amenaza en todo el territorio, análisis permanente y oportuno de información y sistemas de alerta automáticos funcionando continuamente a nivel local, regional y nacional.</li> </ol>
<p><b><u>IR3. Evaluación de amenazas y su representación en mapas</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Evaluación superficial y realización de mapas básicos de la influencia y susceptibilidad de algunos fenómenos.</li> <li>2. Algunos estudios descriptivos y cualitativos de susceptibilidad y amenaza de los principales fenómenos a escala nacional y en algunos sitios específicos.</li> <li>3. Algunos mapas de amenaza, basados en técnicas probabilistas, para el nivel nacional y para algunas regiones; uso generalizado de SIG para el mapeo de las principales amenazas.</li> <li>4. Evaluaciones con base en metodologías avanzadas y de adecuada resolución para la mayoría de las amenazas; microzonificación de algunas ciudades con base en técnicas probabilistas.</li> <li>5. Estudios detallados de la mayoría de los fenómenos potenciales en todo el territorio; microzonificación de la mayoría de ciudades y mapas de amenaza a nivel subnacional y municipal.</li> </ol>
<p><b><u>IR4. Evaluación de vulnerabilidad y riesgo</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identificación y mapeo de los principales elementos expuestos en zonas propensas en las principales ciudades y cuencas hidrográficas.</li> <li>2. Estudios generales de vulnerabilidad física ante las amenazas más reconocidas, utilizando SIG en algunas ciudades y cuencas.</li> <li>3. Evaluación de escenarios de daños y pérdidas potenciales ante algunos fenómenos peligrosos en las principales ciudades; análisis de la vulnerabilidad física de algunos edificios esenciales.</li> <li>4. Estudios detallados de riesgo, utilizando técnicas probabilistas, teniendo en cuenta el impacto económico y social de la mayoría de las amenazas en algunas ciudades; análisis de la vulnerabilidad de la mayoría de edificios esenciales y de algunas líneas vitales.</li> <li>5. Evaluación generalizada de riesgo, considerando factores físicos, sociales, culturales y ambientales; análisis de la vulnerabilidad también de edificios privados y de la mayoría de las líneas vitales.</li> </ol>

Tabla 4.2. Indicadores de identificación de riesgos en un país (continuación)

<p><b><u>IR5. Información pública y participación comunitaria</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Información esporádica sobre gestión de riesgos en condiciones de normalidad y más frecuentemente cuando se presentan desastres.</li> <li>2. Divulgación en prensa y emisión de programas de radio y TV orientados hacia la preparación en caso de emergencia; producción de material ilustrativo sobre fenómenos peligrosos.</li> <li>3. Frecuente realización de programas de opinión en los medios sobre gestión de riesgos a nivel nacional y local; guías para la reducción de vulnerabilidad; trabajo con comunidades y con ONGs.</li> <li>4. Divulgación generalizada y progresiva toma de conciencia; conformación de algunas redes sociales de protección civil y de ONGs que promueven explícitamente la gestión local del riesgo.</li> <li>5. Amplia participación y apoyo del sector privado a las actividades de divulgación; consolidación de redes sociales y participación notable de profesionales y de ONGs en todos los niveles.</li> </ol>
<p><b><u>IR6. Capacitación y educación en gestión de riesgos</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Incipiente incorporación de temas sobre amenazas y desastres en la educación formal y en programas de capacitación comunitaria.</li> <li>2. Algunas adecuaciones curriculares puntuales en la educación básica y media; producción de materiales de instrucción para docentes y líderes comunitarios en algunos lugares del país.</li> <li>3. Progresiva incorporación de la gestión de riesgo en los programas curriculares; apreciable producción de materiales de instrucción y realización de frecuentes cursos de capacitación de la comunidad.</li> <li>4. Ampliación de la adecuación curricular a los programas de educación superior; ofrecimiento de cursos de especialización en varias universidades; amplia capacitación comunitaria a nivel local.</li> <li>5. Adecuación curricular generalizada en todo el territorio y en todas las etapas de la educación; amplia producción de material de instrucción; permanente capacitación de la comunidad.</li> </ol>

Tabla 4.3. Indicadores de identificación de riesgos en una ciudad

Indicador y niveles de desempeño
<p><b><u>IR1. Inventario sistemático de desastres y pérdidas</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Algunos datos básicos y superficiales de eventos históricos que han afectado la ciudad.</li> <li>2. Registro continuo de eventos actuales, catálogos incompletos de ocurrencia de algunos fenómenos e información limitada de efectos y pérdidas.</li> <li>3. Algunos catálogos completos, sistematización generalizada de eventos actuales y de sus efectos económicos, sociales y ambientales.</li> <li>4. Inventario completo y catálogos de eventos; registro y sistematización detallada de efectos y pérdidas para la ciudad.</li> <li>5. Inventario detallado de eventos y efectos para todo tipo de amenaza existente.</li> </ol>
<p><b><u>IR2. Monitoreo de amenazas y pronóstico</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Instrumentación mínima o deficiente de algunos fenómenos importantes.</li> <li>2. Redes básicas de instrumentación con problemas de actualización tecnológica y de mantenimiento continuo.</li> <li>3. Algunas redes con tecnología avanzada; pronósticos mejorados y protocolos de información establecidos para las principales amenazas.</li> <li>4. Buena y progresiva cobertura de la instrumentación, investigación avanzada de la mayoría de fenómenos y algunos sistemas de alerta automáticos funcionando.</li> <li>5. Amplia cobertura de redes de estaciones y sensores para todo tipo de amenaza en toda la ciudad, análisis permanente y oportuno de información y sistemas de alerta automáticos funcionando continuamente.</li> </ol>

Tabla 4.3. Indicadores de identificación de riesgos en una ciudad (continuación)

<p><b><u>IR3. Evaluación de amenazas y su representación en mapas</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Evaluación superficial y realización de mapas básicos de la influencia y susceptibilidad de algunos fenómenos.</li> <li>2. Algunos estudios descriptivos y cualitativos de susceptibilidad y amenaza de los principales fenómenos.</li> <li>3. Algunos mapas de amenaza, basados en técnicas probabilistas; uso generalizado de SIG para el mapeo de las principales amenazas.</li> <li>4. Amplia cobertura con mapas de amenaza de adecuada resolución y en escalas adecuadas; prioridades de zonificación a mayor detalle; microzonificación de la ciudad con base en técnicas probabilistas.</li> <li>5. Estudios detallados y microzonificación de la mayoría de los fenómenos potenciales de la ciudad utilizando metodologías avanzadas; alta capacidad técnica para generar conocimiento sobre sus amenazas.</li> </ol>
<p><b><u>IR4. Evaluación de vulnerabilidad y riesgo</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identificación y representación de escenarios de los principales elementos expuestos en zonas propensas de la ciudad.</li> <li>2. Estudios generales de vulnerabilidad física ante las amenazas más reconocidas, utilizando SIG teniendo en cuenta además las cuencas al interior y cercanas a la ciudad.</li> <li>3. Evaluación de escenarios de daños y pérdidas potenciales ante algunos fenómenos peligrosos; análisis de la vulnerabilidad física de algunos edificios esenciales.</li> <li>4. Estudios detallados de riesgo, utilizando técnicas probabilistas, teniendo en cuenta el impacto económico y social de la mayoría de las amenazas; análisis de la vulnerabilidad de la mayoría de edificios esenciales y de una parte de la infraestructura de las líneas vitales.</li> <li>5. Evaluación generalizada de riesgo, considerando factores físicos, sociales, culturales y ambientales; análisis de la vulnerabilidad también de edificios privados y de la mayor parte de la infraestructura de las líneas vitales.</li> </ol>
<p><b><u>IR5. Información pública y participación comunitaria</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Información esporádica sobre gestión de riesgos en condiciones de normalidad y más frecuentemente cuando se presentan desastres.</li> <li>2. Divulgación en prensa y emisión de programas de radio y TV orientados hacia la preparación en caso de emergencia; producción de materiales ilustrativos sobre fenómenos peligrosos.</li> <li>3. Frecuente realización de programas de opinión en los medios sobre gestión de riesgos; guías para la reducción de vulnerabilidad; trabajo con comunidades y con ONGs.</li> <li>4. Divulgación generalizada y progresiva toma de conciencia; conformación de algunas redes sociales de protección civil y de ONGs que promueven explícitamente la gestión local del riesgo.</li> <li>5. Amplia participación y apoyo del sector privado a las actividades de divulgación; consolidación de redes sociales y disponibilidad de plataformas tecnológicas apropiadas para la divulgación de información.</li> </ol>
<p><b><u>IR6. Capacitación y educación en gestión de riesgos</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Incipiente incorporación de temas sobre amenazas y desastres en la educación formal y en programas de capacitación comunitaria.</li> <li>2. Algunas adecuaciones curriculares puntuales en la educación básica y media; producción de materiales de instrucción para docentes y líderes comunitarios en algunas localidades o distritos de la ciudad.</li> <li>3. Progresiva incorporación de la gestión de riesgo en los programas curriculares; apreciable producción de materiales de instrucción de alta calidad y frecuente realización de cursos de capacitación de la comunidad.</li> <li>4. Amplia cobertura de la educación formal, no formal y de la capacitación comunitaria en la ciudad; programas de educación superior y de cursos de especialización en varias universidades.</li> <li>5. Alta capacidad técnica de la ciudad para generar conocimiento sobre riesgos; amplia cobertura de los programas de educación y producción de materiales; permanente capacitación de la comunidad.</li> </ol>

### 4.1.3 Índice de reducción de riesgos

La principal acción de gestión de riesgos es la reducción del riesgo. En general, corresponde a la ejecución de medidas estructurales y no estructurales de prevención-mitigación. Es la acción de anticiparse con el fin de evitar o disminuir el impacto económico, social y ambiental de los fenómenos peligrosos potenciales. Implica procesos de planificación, pero fundamentalmente de ejecución de medidas que modifiquen las condiciones de riesgo mediante la intervención correctiva y prospectiva de los factores de vulnerabilidad existente o potencial, y control de las amenazas cuando eso es factible. Los indicadores que deben ser calificados para esta política pública se muestran en la Tabla 4.4 y la Tabla 4.5 para un país y una ciudad respectivamente.

**Tabla 4.4. Indicadores de reducción de riesgos en un país**

<b>Indicador y niveles de desempeño</b>
<p><b><u>RR1. Integración del riesgo en la definición de usos del suelo y la planificación urbana</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Consideración de algunos elementos de identificación de riesgos y protección ambiental en la planificación física.</li> <li>2. Promulgación de legislación nacional y de algunas regulaciones locales que consideran algunas amenazas como determinantes del ordenamiento territorial y planificación del desarrollo.</li> <li>3. Progresiva formulación de reglamentos de uso del suelo en varias ciudades que tienen en cuenta amenazas y riesgos; prescripciones de diseño y construcción obligatorias con base en microzonificaciones.</li> <li>4. Amplia formulación y actualización de planes de ordenamiento territorial con enfoque preventivo en la mayoría de los municipios; mayor utilización de las microzonificaciones con fines de seguridad.</li> <li>5. Aprobación y control generalizado del cumplimiento de los planes de ordenamiento territorial que incluyen el riesgo como determinante y de las disposiciones de seguridad urbana respectivas.</li> </ol>
<p><b><u>RR2. Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inventario de cuencas y zonas de mayor deterioro ambiental o consideradas de mayor sensibilidad.</li> <li>2. Expedición de disposiciones legales de orden nacional y de algunas de nivel local que establecen la obligatoriedad de reforestación, protección ambiental y ordenamiento de cuencas.</li> <li>3. Formulación de algunos planes de ordenamiento e intervención de cuencas hidrográficas estratégicas y de zonas sensitivas, teniendo en cuenta aspectos relacionados con la vulnerabilidad y el riesgo.</li> <li>4. Apreciable número de regiones/cuencas con planes de protección ambiental, estudios de impacto y ordenamiento de zonas agrícolas, que consideran el riesgo como determinante para la intervención.</li> <li>5. Intervención de un número considerable de cuencas deterioradas y de zonas sensitivas y ecosistemas estratégicos; la mayoría de los municipios con planes de intervención y protección ambiental.</li> </ol>

Tabla 4.4. Indicadores de reducción de riesgos en un país (continuación)

<p><b>RR3. Implementación de técnicas de protección y control de fenómenos peligrosos</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Algunas medidas estructurales de control y estabilidad en algunos lugares de mayor incidencia y peligro.</li> <li>2. Obras de canalización, saneamiento y tratamiento de aguas en la mayoría de las ciudades, construidas con criterios de seguridad.</li> <li>3. Establecimiento de medidas y reglamentaciones para el diseño y construcción de obras de protección y control de amenazas en armonía con las disposiciones de ordenamiento territorial.</li> <li>4. Amplia intervención de zonas de riesgo mitigable mediante obras de protección y control en las principales ciudades que lo requieren.</li> </ol> <p>Adecuado diseño y construcción de obras de amortiguamiento estabilidad, disipación y control en la mayoría de ciudades con fines de protección de asentamientos humanos e inversiones sociales.</p>
<p><b>RR4. Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos de áreas propensas</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identificación e inventario de asentamientos humanos marginales y localizados en áreas propensas.</li> <li>2. Expedición de legislación sobre tratamiento prioritario de áreas urbanas deterioradas y en riesgo para programas de mejoramiento y desarrollo de vivienda de interés social o vivienda de protección oficial.</li> <li>3. Programas de mejoramiento del entorno, de vivienda existente y de reubicación por riesgo en las principales ciudades.</li> <li>4. Progresiva intervención de asentamientos humanos en riesgo en la mayoría de las ciudades y adecuado tratamiento de las áreas desalojadas.</li> <li>5. Notable control de las áreas de riesgo en todas las ciudades y reubicación de la mayoría de las viviendas construidas en zonas de riesgo no mitigable.</li> </ol>
<p><b>RR5. Actualización y control de la aplicación de normas y códigos de construcción</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Uso voluntario normas y códigos de construcción de otros países sin mayores adecuaciones y ajustes.</li> <li>2. Adaptación de algunos requisitos y especificaciones de acuerdo con algunos criterios y particularidades nacionales y locales.</li> <li>3. Expedición y actualización de normas nacionales de obligatorio cumplimiento con base en normativas internacionales, modificadas y ajustadas de acuerdo con la evaluación de amenazas en el país.</li> <li>4. Actualización tecnológica de la mayoría de normas de seguridad y de códigos de construcción de edificios nuevos y existentes, con requisitos especiales para edificios y líneas vitales esenciales.</li> <li>5. Actualización permanente de códigos y requisitos de seguridad; implantación de reglamentos locales de construcción en la mayoría de las ciudades, con base en microzonificaciones; estricto control de su cumplimiento.</li> </ol>
<p><b>RR6. Refuerzo e intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Refuerzo y adecuación esporádica de edificios y líneas vitales por remodelaciones o cambios de uso o por modificaciones.</li> <li>2. Expedición de normas de intervención de la vulnerabilidad de edificios existentes; refuerzo de algunos edificios esenciales como hospitales o considerados de carácter indispensable.</li> <li>3. Algunos programas masivos de evaluación de vulnerabilidad, rehabilitación y refuerzo de hospitales, escuelas y edificios de control de líneas vitales; obligatoriedad de refuerzos.</li> <li>4. Progresivo número de edificios públicos reforzados, líneas vitales intervenidas; algunos edificios del sector privado reforzados por iniciativa propia o por estímulos fiscales ofrecidos por el gobierno.</li> <li>5. Masificación del refuerzo de los principales edificios públicos y privados; programas permanentes de incentivos para rehabilitación de vivienda de estratos socio-económicos de bajos ingresos.</li> </ol>

Tabla 4.5. Indicadores de reducción de riesgos en una ciudad

<b>Indicador y niveles de desempeño</b>
<p><b><u>RR1. Integración del riesgo en la definición de usos del suelo y la planificación urbana</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Consideración de algunos elementos de identificación de riesgos y protección ambiental en la planificación física.</li> <li>2. Promulgación de legislación nacional y de algunas regulaciones locales que consideran algunas amenazas como determinantes del ordenamiento territorial y la planificación del desarrollo socio-económico.</li> <li>3. Formulación progresiva de reglamentos de uso del suelo que tienen en cuenta amenazas y riesgos; prescripciones de diseño y construcción obligatorias con base en la microzonificación de amenazas.</li> <li>4. Amplia formulación y actualización del plan de ordenamiento territorial con enfoque preventivo; mayor utilización de las microzonificaciones con fines de seguridad; incorporación de la gestión del riesgo en los planes sectoriales.</li> <li>5. Aprobación y control del cumplimiento de los planes de ordenamiento territorial y desarrollo que incluyen los riesgos como determinantes y se generalizan las disposiciones de seguridad urbana respectivas.</li> </ol>
<p><b><u>RR2. Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inventario de cuencas y zonas de mayor deterioro ambiental o consideradas de mayor sensibilidad.</li> <li>2. Expedición de disposiciones legales que establecen la obligatoriedad de reforestación, protección ambiental y ordenamiento de cuencas.</li> <li>3. Formulación del plan de ordenamiento e intervención de cuencas hidrográficas estratégicas y de zonas sensitivas, teniendo en cuenta aspectos relacionados con la vulnerabilidad y el riesgo.</li> <li>4. Planes de protección ambiental y estudios de impacto, que consideran el riesgo como determinante para la intervención.</li> <li>5. Intervención de las cuencas deterioradas y de zonas sensibles y ecosistemas estratégicos; planes de intervención y protección ambiental.</li> </ol>
<p><b><u>RR3. Implementación de técnicas de protección y control de fenómenos peligrosos</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Algunas medidas estructurales de control y estabilidad en algunos lugares de mayor incidencia y peligro.</li> <li>2. Obras de canalización, saneamiento y tratamiento de aguas construidas con criterios de seguridad.</li> <li>3. Establecimiento de medidas y reglamentaciones para el diseño y construcción de obras de protección y control de amenazas en armonía con las disposiciones del plan de ordenamiento territorial.</li> <li>4. Formulación de planes de mitigación de riesgos; amplia intervención de zonas de riesgo mitigable mediante obras de protección y control.</li> <li>5. Implementación amplia de planes de mitigación y adecuado diseño y construcción de obras de estabilidad, amortiguamiento, disipación y control con fines de protección de la población e inversiones sociales.</li> </ol>
<p><b><u>RR4. Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos de áreas propensas</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identificación e inventario de asentamientos humanos marginales y localizados en áreas propensas.</li> <li>2. Expedición de legislación sobre tratamiento prioritario de áreas urbanas deterioradas y en riesgo para programas de mejoramiento y desarrollo de vivienda de interés social.</li> <li>3. Programas de mejoramiento del entorno, de vivienda existente y reubicación por riesgo.</li> <li>4. Progresiva intervención de la población en riesgo y adecuado tratamiento de las áreas desalojadas.</li> <li>5. Notable control de las áreas de riesgo de la ciudad y reubicación de la mayoría de las viviendas construidas en zonas de riesgo no mitigable.</li> </ol>

Tabla 4.5. Indicadores de reducción de riesgos en una ciudad (continuación)

<p><b>RR5. Actualización y control de la aplicación de normas y códigos de construcción</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Uso voluntario normas y códigos de construcción de otros países sin mayores adecuaciones y ajustes.</li> <li>2. Adaptación de algunos requisitos y especificaciones de acuerdo con algunos criterios y particularidades nacionales y de la ciudad.</li> <li>3. Expedición y actualización de normas urbanas de obligatorio cumplimiento con base en normativas internacionales o nacionales, modificadas y ajustadas de acuerdo con la evaluación de amenazas.</li> <li>4. Actualización tecnológica de la mayoría de normas de seguridad y de códigos de construcción de edificios nuevos y existentes, con requisitos especiales para edificios e infraestructura de líneas vitales esenciales.</li> <li>5. Actualización permanente de códigos y otras normas de seguridad; implantación de un reglamento de construcción para la ciudad con base en microzonificaciones urbanas; estricto control de su cumplimiento.</li> </ol>
<p><b>RR6. Refuerzo e intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Refuerzo y adecuación esporádica de edificios e infraestructura de líneas vitales por remodelaciones o cambios de uso o por modificaciones.</li> <li>2. Expedición de normas de intervención de la vulnerabilidad física y funcional de edificios existentes; refuerzo de algunos edificios esenciales como hospitales o considerados de carácter indispensable.</li> <li>3. Algunos programas masivos de evaluación de vulnerabilidad física y funcional, rehabilitación y refuerzo de hospitales, escuelas y edificios de control de líneas vitales; obligatoriedad de refuerzos.</li> <li>4. Progresivo número de edificios públicos reforzados, infraestructura de líneas vitales intervenida; algunos edificios del sector privado reforzados por iniciativa propia o por estímulos fiscales ofrecidos por el gobierno.</li> <li>5. Masificación del refuerzo de los principales edificios públicos y privados; programas permanentes de incentivos para rehabilitación de vivienda de estratos socio-económicos de bajos ingresos.</li> </ol>

#### 4.1.4 Índice de gestión de desastres

La gestión de desastres corresponde a la apropiada respuesta y recuperación post desastre, que depende del nivel de preparación de las instituciones operativas y la comunidad. Esta política pública de la gestión del riesgo tiene como objetivo responder eficaz y eficientemente cuando el riesgo ya se ha materializado y no ha sido posible impedir el impacto de los fenómenos peligrosos. Su efectividad implica una real organización, capacidad y planificación operativa de instituciones y de los diversos actores sociales que verían involucrados en casos de desastre. Los indicadores que deben ser calificados para esta política pública se muestran en la Tabla 4.6 y la Tabla 4.7 para un país y una ciudad respectivamente.

Tabla 4.6. Indicadores de gestión de desastres para un país

<b>Indicador y niveles de desempeño</b>
<p><b><u>MD1. Organización y coordinación de operaciones de emergencia</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diferentes organismos atienden emergencias, sin mayores recursos y varios de ellos con sólo personal voluntario.</li> <li>2. Legislación específica define una estructura interinstitucional, roles de las entidades operativas y establece la coordinación de comisiones de emergencia en todo el territorio.</li> <li>3. Apreciable coordinación, en algunas ciudades, entre las entidades operativas en la preparación conjunta, comunicaciones, búsqueda y rescate, red de urgencias y gestión de alojamientos temporales.</li> <li>4. Coordinación permanente para responder en caso de emergencia entre las entidades operativas, de servicios públicos, las autoridades locales y organismos de la sociedad civil en la mayoría de ciudades.</li> <li>5. Avanzada integración interinstitucional entre entidades públicas, privadas y comunitarias, con adecuados protocolos de coordinación horizontal y vertical en todos los niveles territoriales.</li> </ol>
<p><b><u>MD2. Planificación de la respuesta en caso de emergencia y sistemas de alerta</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Planes básicos de emergencia y contingencia con listas de chequeo e información del personal disponible.</li> <li>2. Disposiciones legales que establecen la obligatoriedad de planes de emergencia; algunas ciudades con planes operativos; articulación con entidades que producen información técnica a nivel nacional.</li> <li>3. Protocolos y procedimientos operativos bien definidos a nivel nacional y subnacional, y en las principales ciudades; varios sistemas de pronóstico y alerta operando en forma continua.</li> <li>4. Planes de emergencia y contingencia completos y asociados a sistemas de información y alerta en la mayoría de ciudades.</li> <li>5. Preparación para la respuesta operativa con base en escenarios probables en todo el territorio; uso de tecnología de la información para la activación de procedimientos automáticos de respuesta.</li> </ol>
<p><b><u>MD3. Dotación de equipos, herramientas e infraestructura</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dotación básica e inventario de los recursos de sólo las entidades operativas y comisiones de emergencia.</li> <li>2. Centros de reservas y de equipos especializados de emergencia a nivel nacional y en algunas ciudades; inventarios de recursos de otras entidades públicas y privadas.</li> <li>3. Centros de Operaciones de Emergencia (COEs) bien dotados con equipos de comunicaciones y adecuados sistemas de registro; equipamiento especializado y centros de reservas en varias ciudades.</li> <li>4. COEs bien dotados y sistematizados en la mayoría de ciudades; progresiva dotación complementaria de las entidades operativas.</li> <li>5. Redes de apoyo interinstitucional, de centros de reservas y entre COEs funcionando permanentemente; amplias facilidades de comunicaciones, transporte y abastecimiento en caso de emergencia.</li> </ol>
<p><b><u>MD4. Simulación, actualización y prueba de la respuesta interinstitucional</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Algunos simulacros institucionales internos y en conjunto con otras entidades operativas en algunas ciudades.</li> <li>2. Ejercicios esporádicos de simulación de situaciones emergencia y respuesta interinstitucional con todas las entidades operativas.</li> <li>3. Simulaciones de escritorio y simulacros con la participación adicional de las entidades de servicios públicos y de la administración local en varias ciudades.</li> <li>4. Coordinación de simulaciones y simulacros con la participación de personas de la comunidad, el sector privado y los medios de comunicación a nivel nacional y en algunas ciudades.</li> <li>5. Prueba de planes de emergencia y contingencia y actualización de procedimientos operativos con base en ejercicios de simulación y simulacros frecuentes en la mayoría de ciudades.</li> </ol>

Tabla 4.6. Indicadores de gestión de desastres para un país (continuación)

<p><b><u>MD5. Preparación y capacitación de la comunidad</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reuniones informativas con comunidades para ilustrar qué se debe hacer en emergencia, usualmente cuando ocurren desastres.</li> <li>2. Cursos esporádicos de capacitación con organizaciones de la sociedad, con el fin de tratar temas relacionados con desastres.</li> <li>3. Programación regular actividades de capacitación comunitaria sobre comportamiento en caso de emergencia, en coordinación con entidades y ONGs relacionadas con el desarrollo comunitario.</li> <li>4. Realización de cursos frecuentes con comunidades en la mayoría de ciudades y municipios sobre preparativos, prevención y reducción de riesgos.</li> <li>5. Cursos permanentes de prevención y atención de desastres en todos los municipios dentro de la programación de capacitación en desarrollo comunitario en coordinación con otras entidades y ONGs.</li> </ol>
<p><b><u>MD6. Planificación para la rehabilitación y reconstrucción</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diseño e implementación de planes de rehabilitación y reconstrucción sólo a posteriori de desastres importantes.</li> <li>2. Planeamiento de algunas medidas de recuperación provisional por parte de entidades de servicios públicos y encargadas de la evaluación de daños en algunas ciudades.</li> <li>3. Procedimientos de diagnóstico, restablecimiento y reparación de infraestructura y programas de proyectos productivos para la recuperación de comunidades, a nivel nacional y en varias ciudades.</li> <li>4. Realización ex ante de planes y programas para la recuperación del tejido social, fuentes de trabajo y de medios productivos de las comunidades en la mayoría de ciudades.</li> <li>5. Desarrollo generalizado de planes detallados de reconstrucción de daños físicos y recuperación social con base en escenarios de riesgo; legislación específica y medidas anticipadas para futura activación.</li> </ol>

Tabla 4.7. Indicadores de gestión de desastres para una ciudad

<b>Indicador y niveles de desempeño</b>
<p><b><u>MD1. Organización y coordinación de operaciones de emergencia</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diferentes organismos atienden emergencias, sin mayores recursos y varios de ellos con sólo personal voluntario.</li> <li>2. Legislación específica de la ciudad define una estructura interinstitucional, roles de las entidades operativas y establece la coordinación de comisiones de emergencia en todo el territorio.</li> <li>3. Coordinación apreciable, en algunas localidades o distritos de la ciudad, entre las entidades operativas en la preparación conjunta, comunicaciones, búsqueda y rescate, red de urgencias y gestión de alojamientos temporales.</li> <li>4. Protocolos adecuados de coordinación permanente para responder en caso de emergencia entre las entidades operativas, de servicios públicos, las autoridades locales y organismos de la sociedad civil en la mayoría de las localidades o distritos.</li> <li>5. Modelos organizacionales que involucran estructuras de mando, instancias de coordinación y gestión de recursos y una avanzada integración interinstitucional entre entidades públicas, privadas y comunitarias.</li> </ol>

Tabla 4.7. Indicadores de gestión de desastres para una ciudad (continuación)

<p><b>MD2. Planificación de la respuesta en caso de emergencia y sistemas de alerta</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Planes básicos de emergencia y contingencia con listas de chequeo e información del personal disponible.</li> <li>2. Disposiciones legales que establecen la obligatoriedad de planes de emergencia; articulación con entidades que producen información técnica.</li> <li>3. Protocolos y procedimientos operativos y de información a la comunidad bien definidos en la ciudad; varios sistemas de pronóstico y alerta operan en forma continua.</li> <li>4. Planes de emergencia y contingencia completos y asociados a sistemas de información y alerta pública en la mayoría de las localidades o distritos.</li> <li>5. Preparación para la respuesta operativa con base en escenarios probables en todas las localidades o distritos; uso de tecnología de la información para la activación de procedimientos automáticos de respuesta.</li> </ol>
<p><b>MD3. Dotación de equipos, herramientas e infraestructura</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dotación básica e inventario de los recursos de sólo las entidades operativas y comisiones de emergencia.</li> <li>2. Centros de reservas y de equipos especializados de emergencia a nivel central y en algunas localidades o distritos; inventarios de recursos de otras entidades públicas y privadas.</li> <li>3. Centro de Operaciones de Emergencia (COE) bien dotado con equipos de comunicaciones y adecuados sistemas de registro; equipamiento especializado y centros de reservas en varias localidades o distritos.</li> <li>4. COEs locales bien dotados y sistematizados en la mayoría de las localidades o distritos; progresiva dotación complementaria de las entidades operativas; sistema unificado de notificación de emergencias.</li> <li>5. Redes de apoyo interinstitucional, de centros de reservas y entre COEs funcionando permanentemente; amplias facilidades de reporte, comunicaciones, transporte y abastecimiento en caso de emergencia.</li> </ol>
<p><b>MD4. Capacitación operativa, simulación y prueba de la respuesta interinstitucional</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Algunos programas de capacitación y simulación de respuesta institucional a nivel interno de cada entidad y en conjunto entre varias entidades operativas de la ciudad.</li> <li>2. Entrenamiento del personal y ejercicios esporádicos de simulación de situaciones emergencia y respuesta interinstitucional con todas las entidades operativas.</li> <li>3. Capacitación de equipos especializados; simulaciones de escritorio y simulacros con la participación adicional de las entidades de servicios públicos y de la administración local en varias localidades o distritos.</li> <li>4. Coordinación de simulaciones y simulacros con la participación de personas de la comunidad, el sector privado y los medios de comunicación a nivel de la ciudad y en algunas localidades o distritos.</li> <li>5. Entrenamiento permanente de grupos de respuesta; prueba de planes de emergencia y contingencia y actualización de procedimientos operativos con base en ejercicios de simulación y simulacros frecuentes en la mayoría de las localidades o distritos.</li> </ol>
<p><b>MD5. Preparación y capacitación de la comunidad</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reuniones informativas con comunidades para ilustrar qué se debe hacer en emergencia, usualmente cuando ocurren desastres.</li> <li>2. Cursos esporádicos de capacitación con organizaciones de la sociedad, con el fin de tratar temas relacionados con desastres.</li> <li>3. Programación regular actividades de capacitación comunitaria sobre comportamiento en caso de emergencia, en coordinación con entidades y ONGs relacionadas con el desarrollo comunitario.</li> <li>4. Realización de cursos frecuentes con comunidades en la mayoría de las localidades o distritos sobre preparativos, prevención y reducción de riesgos.</li> <li>5. Cursos permanentes de prevención y atención de desastres en todas las localidades o distritos dentro de la programación de capacitación en desarrollo comunitario en coordinación con otras entidades y ONGs.</li> </ol>

Tabla 4.7. Indicadores de gestión de desastres para una ciudad (continuación)

<b>MD6. Planificación para la rehabilitación y reconstrucción</b>	
1.	Diseño e implementación de planes de rehabilitación y reconstrucción sólo a posteriori de desastres importantes.
2.	Planeamiento de algunas medidas de recuperación provisional por parte de entidades de servicios públicos y encargadas de la evaluación de daños.
3.	Procedimientos de diagnóstico, restablecimiento y reparación de infraestructura y programas de proyectos productivos para la recuperación de comunidades.
4.	Realización ex ante de planes y programas para la recuperación del tejido social, fuentes de trabajo y de medios productivos de las comunidades.
5.	Desarrollo generalizado de planes detallados de reconstrucción de daños físicos y recuperación social con base en escenarios de riesgo; legislación específica y medidas anticipadas para futura activación.

#### 4.1.5 Índice de gobernabilidad y protección financiera

La gobernabilidad y protección financiera para la gestión de riesgos es fundamental para la sostenibilidad del desarrollo y el crecimiento económico del país. Esta política pública implica, por una parte, la coordinación de diferentes actores sociales que necesariamente tienen diversos enfoques disciplinarios, valores, intereses y estrategias. Su efectividad está relacionada con el nivel de interdisciplinariedad e integrabilidad de las acciones institucionales y de participación social. Por otra parte, dicha gobernabilidad depende de la adecuada asignación y utilización de recursos financieros para la gestión y de la implementación de estrategias apropiadas de retención y transferencia de pérdidas asociadas a los desastres. Los subindicadores que deben ser calificados para esta política pública se muestran en la Tabla 4.8 y la Tabla 4.9 para un país y una ciudad respectivamente.

Tabla 4.8. Indicadores de gobernabilidad y protección financiera para un país

<b>Indicador y niveles de desempeño</b>	
<b>PF1. Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada</b>	
1.	Organización básica de entidades a nivel nacional en comisiones y con un enfoque principalmente de respuesta a emergencias.
2.	Legislación que establece una organización descentralizada para gestión integral de riesgos, interinstitucional y multisectorial, y la formulación de un plan general de gestión de riesgos.
3.	Sistemas interinstitucionales de gestión de riesgo activos a nivel local en varias ciudades; trabajo interministerial a nivel nacional para diseño de políticas públicas sobre reducción de vulnerabilidad.
4.	Ejecución continua de proyectos de gestión de riesgos asociados con programas de adaptación al cambio climático, protección ambiental, energía, saneamiento y reducción de la pobreza.
5.	Personal experto con amplia experiencia incorporando la gestión de riesgos en la planificación del desarrollo humano sostenible en la mayoría de ciudades; sistemas de información de alta tecnología.

**Tabla 4.8. Indicadores de gobernabilidad y protección financiera para un país  
(continuación)**

<p><b><u>PF2. Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Existencia de un fondo nacional de desastres o calamidades y de algunos fondos locales en algunas ciudades.</li> <li>Reglamentación de fondos de reservas existentes o creación de nuevos fondos para cofinanciar proyectos de gestión de riesgos a nivel local.</li> <li>Apoyo económico nacional y gestión de recursos internacionales para el desarrollo institucional y fortalecimiento de la gestión de riesgos en todo el territorio.</li> <li>Progresiva creación de fondos de reservas en los municipios para la cofinanciación de proyectos, fortalecimiento institucional y recuperación en caso de desastres.</li> <li>Ingeniería financiera para el diseño de instrumentos de retención y transferencia de riesgos a nivel nacional; fondos de reservas funcionando en la mayoría de ciudades.</li> </ol>
<p><b><u>PF3. Localización y movilización de recursos de presupuesto</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Asignación limitada de partidas del presupuesto nacional a instituciones competentes, para atención de emergencias.</li> <li>Disposiciones legales estableciendo la destinación de presupuesto a entidades del orden nacional, con fines de gestión de riesgos.</li> <li>Destinación por ley de transferencias específicas para la gestión de riesgos a nivel municipal y realización frecuente de convenios interadministrativos para la ejecución de proyectos de prevención.</li> <li>Progresiva asignación de partidas del gasto discrecional tanto nacional como municipal para la reducción de la vulnerabilidad; creación de incentivos y tasas de protección y seguridad ambiental.</li> <li>Orientación y respaldo nacional de empréstitos gestionados por los municipios y entidades subnacionales y locales ante organismos multilaterales de crédito.</li> </ol>
<p><b><u>PF4. Implementación de redes y fondos de seguridad social</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Subvenciones esporádicas a comunidades afectadas por desastres o en situaciones críticas de riesgo.</li> <li>Constitución de fondos de inversión social permanentes para el apoyo de comunidades vulnerables con focalización en los estratos socio-económicos más pobres.</li> <li>Redes sociales para autoprotección de los medios de sustento de comunidades en riesgo y realización de proyectos productivos de rehabilitación y recuperación posdesastre.</li> <li>Programas regulares de microcrédito y actividades de género orientadas a la reducción de la vulnerabilidad humana.</li> <li>Desarrollo generalizado de programas de protección social y reducción de la pobreza integrados con actividades de mitigación y prevención en todo el territorio.</li> </ol>
<p><b><u>PF5. Cobertura de seguros y estrategias de transferencia de pérdidas de activos públicos</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Muy pocos inmuebles públicos de la nación están asegurados y excepcionalmente algunos a nivel local.</li> <li>Disposiciones de aseguramiento de bienes públicos de obligatorio cumplimiento; deficiente aseguramiento de la infraestructura.</li> <li>Progresivo aseguramiento de bienes públicos e infraestructura del nivel nacional y de algunas ciudades.</li> <li>Diseño de programas de aseguramiento colectivo de edificios, infraestructura pública o en concesión en la mayoría de ciudades.</li> <li>Análisis e implantación generalizada de estrategias de retención y transferencia de pérdidas sobre los activos públicos, considerando consorcios de reaseguro, titularización de riesgo, bonos de catástrofe, etc.</li> </ol>

**Tabla 4.8. Indicadores de gobernabilidad y protección financiera para un país (continuación)**

<b><u>PF6. Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado</u></b>	
1.	Bajo porcentaje de bienes privados asegurados; industria de seguros incipiente, poco solvente y sin mayor regulación.
2.	Regulación de la industria de seguros, vigilancia de su solvencia y legislación para aseguramiento del sector hipotecario y de vivienda.
3.	Desarrollo de algunos estudios cuidadosos de aseguramiento, con base en estimaciones probabilísticas avanzadas de riesgo, utilizando microzonificaciones; auditoría e inspección idónea de propiedades.
4.	Diseño de programas de aseguramiento colectivo de vivienda y de pequeños negocios entre la mayoría de gobiernos locales y las compañías de seguros, con cobertura automática de los más pobres.
5.	Fuerte impulso de programas conjuntos entre el gobierno a las compañías de seguros para generar incentivos económicos, con el fin de promover la reducción del riesgo y el aseguramiento masivo.

**Tabla 4.9. Indicadores de gobernabilidad y protección financiera para una ciudad**

<b>Indicador y niveles de desempeño</b>	
<b><u>PF1. Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada</u></b>	
1.	Organización básica de entidades en comité y con un enfoque principalmente de respuesta a emergencias.
2.	Organización interinstitucional y multisectorial para gestión integral de riesgos.
3.	Sistema interinstitucional de gestión de riesgo activo; trabajo para diseño de políticas públicas sobre reducción de vulnerabilidad.
4.	Ejecución continua y descentralizada de proyectos de gestión de riesgos asociados con programas de protección ambiental, energía, saneamiento y reducción de la pobreza.
5.	Personal experto con amplia experiencia incorporando la gestión de riesgos en la planificación del desarrollo humano sostenible; sistemas de información de alta tecnología.
<b><u>PF2. Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional</u></b>	
1.	No existe un fondo de reservas de la ciudad. Se depende únicamente de recursos nacionales para desastres o calamidades.
2.	Se depende del apoyo económico del nivel nacional y se hace gestión de recursos internacionales para el desarrollo institucional. Fortalecimiento incipiente de la gestión de riesgos.
3.	Existen algunos fondos ocasionales para cofinanciar proyectos de gestión de riesgos en la ciudad en forma interinstitucional.
4.	Existe un fondo de reservas en la ciudad, reglamentado para la cofinanciación de proyectos, fortalecimiento institucional y recuperación en caso de desastres.
5.	Funciona un fondo de reservas en la ciudad. Se realiza ingeniería financiera para el diseño de instrumentos de retención y transferencia de riesgos.

**Tabla 4.9. Indicadores de gobernabilidad y protección financiera para una ciudad (continuación)**

<p><b><u>PF3. Localización y movilización de recursos de presupuesto</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Solo se cuenta con una asignación limitada de partidas presupuestales para las instituciones competentes con fines de atención de emergencias.</li> <li>2. Existen disposiciones legales estableciendo la destinación de presupuesto a entidades de la ciudad, con fines de gestión de riesgos.</li> <li>3. Destinación por ley de transferencias específicas para la gestión de riesgos a nivel local y realización frecuente de convenios inter-administrativos para la ejecución de proyectos de prevención.</li> <li>4. Progresiva asignación de partidas del gasto discrecional tanto de la ciudad como en las localidades para la reducción de la vulnerabilidad; creación de incentivos y tasas de protección y seguridad ambiental.</li> <li>5. Utilización de empréstitos gestionados por la ciudad con fines de reducción de riesgos ante organismos multilaterales de crédito.</li> </ol>
<p><b><u>PF4. Implementación de redes y fondos de seguridad social</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Subvenciones esporádicas a comunidades afectadas por desastres o en situaciones críticas de riesgo.</li> <li>2. Constitución de fondos de inversión social permanentes para el apoyo de comunidades vulnerables con focalización en los estratos socio-económicos más pobres.</li> <li>3. Redes sociales para autoprotección de los medios de sustento de comunidades en riesgo y realización de proyectos productivos de rehabilitación y recuperación posdesastre.</li> <li>4. Programas regulares de microcrédito y actividades de género orientadas a la reducción de la vulnerabilidad humana.</li> <li>5. Desarrollo de programas de protección social y reducción de la pobreza, actividades de mitigación y prevención en la ciudad.</li> </ol>
<p><b><u>PF5. Cobertura de seguros y estrategias de transferencia de pérdidas de activos públicos</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Muy pocos inmuebles públicos están asegurados y excepcionalmente.</li> <li>2. Disposiciones de aseguramiento de bienes públicos de obligatorio cumplimiento; deficiente aseguramiento de la infraestructura.</li> <li>3. Progresivo aseguramiento de bienes públicos e infraestructura.</li> <li>4. Diseño de programas de aseguramiento colectivo de edificios, infraestructura pública o en concesión.</li> <li>5. Análisis e implantación generalizada de estrategias de retención y transferencia de pérdidas sobre los activos públicos, considerando consorcios de reaseguro, titularización de riesgo, bonos de catástrofe, etc.</li> </ol>
<p><b><u>PF6. Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bajo porcentaje de bienes privados asegurados; industria de seguros incipiente, poco solvente y sin mayor regulación.</li> <li>2. Regulación de la industria de seguros, vigilancia de su solvencia y legislación para aseguramiento del sector hipotecario y de vivienda.</li> <li>3. Desarrollo de algunos estudios cuidadosos de aseguramiento, con base en estimaciones probabilísticas avanzadas de riesgo, utilizando microzonificaciones; auditoria e inspección idónea de propiedades.</li> <li>4. Diseño de programas de aseguramiento colectivo de vivienda y de pequeños negocios por parte de la ciudad y las compañías de seguros, con cobertura automática de los más pobres.</li> <li>5. Fuerte impulso de programas conjuntos entre la ciudad y las compañías de seguros para generar incentivos económicos, con el fin de promover la reducción del riesgo y el aseguramiento masivo.</li> </ol>

## 4.2 Aplicación de la metodología a Bogotá y a Colombia

### 4.2.1 Introducción

El Índice de Gestión de Riesgos, *DRMi*, es un indicador que mide el desempeño de la gestión del riesgo con base en una escala de niveles o logros hacia los cuales los gobiernos deben dirigir sus esfuerzos de formulación, implementación y evaluación de cuatro políticas públicas: identificación de riesgos, reducción de riesgos, gestión de desastres y gobernabilidad y protección financiera. Dicho índice ha sido desarrollado para tres niveles de aplicación: nivel nacional, nivel subnacional y nivel urbano.

En esta sección se presentan ejemplos de aplicación de la metodología de evaluación de la gestión de riesgos para los tres niveles mencionados considerando Colombia como caso de estudio. Al nivel de una ciudad se estudia la gestión de riesgos de Bogotá, al nivel subnacional se evalúa la gestión de riesgos en los 32 departamentos de Colombia y, por último se evalúa globalmente la gestión de riesgos de Colombia. Finalmente se hace una comparación de la gestión de riesgos de 11 países de América Latina y el Caribe, utilizando esta metodología.

Es necesario destacar la diferencia que existe en la escala de los diferentes casos que se estudian, en los que se utilizaron diferentes descripciones para evaluar los diferentes subindicadores en cada caso, de acuerdo con los desarrollos de la sección 4.1. En cada ejemplo se aclara cuáles son las descripciones utilizadas.

### 4.2.2 *DRMi* a nivel de ciudad: Bogotá, Colombia

En la evaluación de la gestión de riesgos de Bogotá D.C. fue aplicada la metodología explicada en la sección 4.1 utilizando las descripciones de la Tabla 4.3 para calificar la identificación de riesgos, de la Tabla 4.5 para calificar la reducción de riesgos, de la Tabla 4.7 para calificar la gestión de desastres y de la Tabla 4.9 para calificar la protección financiera y gobernabilidad.

Para la evaluación de los indicadores de gestión de riesgos se contó con la colaboración de expertos de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de la ciudad de Bogotá (DPAE) que calificaron cada uno de los indicadores de las cuatro políticas públicas. Estas calificaciones pueden verse en la Tabla 4.10 a la Tabla 4.13.

**Tabla 4.10. Calificaciones para indicadores de identificación del riesgo (IR)**

	1985	1990	1995	2000	2003
<b>IR1</b>	1	1	2	3	3
<b>IR2</b>	1	1	2	3	3
<b>IR3</b>	1	2	3	4	5
<b>IR4</b>	1	1	1	3	4
<b>IR5</b>	1	1	2	2	3
<b>IR6</b>	1	1	1	2	4

Tabla 4.11. Calificaciones para indicadores de reducción del riesgo (RR)

	1985	1990	1995	2000	2003
RR1	1	2	2	3	4
RR2	1	1	1	1	2
RR3	1	1	1	3	4
RR4	1	2	2	3	4
RR5	2	2	2	4	4
RR6	1	1	1	2	3

Tabla 4.12. Calificaciones para indicadores de gestión de desastres (MD)

	1985	1990	1995	2000	2003
MD1	1	2	2	3	3
MD2	1	1	1	2	3
MD3	1	1	1	2	2
MD4	1	1	1	1	3
MD5	1	1	1	2	3
MD6	1	1	1	1	2

Tabla 4.13. Calificaciones para indicadores de protección financiera (PF)

	1985	1990	1995	2000	2003
PF1	1	2	2	3	3
PF2	1	4	4	4	4
PF3	1	1	3	3	4
PF4	1	1	1	1	1
PF5	1	1	1	2	3
PF6	1	1	2	2	3

Los expertos, además de realizar las calificaciones, también asignaron importancias relativas entre los indicadores de cada política, a las que se aplicó el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) para determinar dichos pesos. Este método se describe de manera resumida en el Anexo B. Los pesos calculados para los indicadores de identificación de riesgos se indican en la Tabla 4.14, para reducción de riesgos en la Tabla 4.15, para gestión de desastres en la Tabla 4.16 y para protección financiera en la Tabla 4.17.

Tabla 4.14. Pesos para los indicadores de identificación de riesgos

Indicador	Peso	Peso calculado
IR1	$w_{IR1}$	0.05
IR2	$w_{IR2}$	0.22
IR3	$w_{IR3}$	0.36
IR4	$w_{IR4}$	0.22
IR5	$w_{IR5}$	0.05
IR6	$w_{IR6}$	0.12

Tabla 4.15. Pesos para los indicadores de reducción de riesgos

Indicador	Peso	Peso calculado
RR1	$w_{RR1}$	0.14
RR2	$w_{RR2}$	0.09
RR3	$w_{RR3}$	0.07
RR4	$w_{RR4}$	0.31
RR5	$w_{RR5}$	0.20
RR6	$w_{RR6}$	0.19

Tabla 4.16. Pesos para los indicadores de gestión de desastres

Indicador	Peso	Peso calculado
MD1	$w_{MD1}$	0.11
MD2	$w_{MD2}$	0.11
MD3	$w_{MD3}$	0.40
MD4	$w_{MD4}$	0.22
MD5	$w_{MD5}$	0.05
MD6	$w_{MD6}$	0.11

Tabla 4.17. Pesos para los indicadores de protección financiera

Indicador	Peso	Peso calculado
PF1	$w_{PF1}$	0.21
PF2	$w_{PF2}$	0.46
PF3	$w_{PF3}$	0.12
PF4	$w_{PF4}$	0.05
PF5	$w_{PF5}$	0.12
PF6	$w_{PF6}$	0.04

De la Figura 4.3 a la Figura 4.6 se muestran ejemplos del cálculo para los indicadores  $IGR_{IR}$ ,  $IGR_{RR}$ ,  $IGR_{MD}$  e  $IGR_{PF}$  correspondientes al año 2003. La Tabla 4.18 muestra los resultados finales para la ciudad de Bogotá.

La parte *a)* de la Figura 4.3 a la Figura 4.6 se conforma teniendo en cuenta las calificaciones de los expertos incluidas de la Tabla 4.10 a la Tabla 4.13 para cada indicador y su correspondiente peso. Las calificaciones determinan las curvas y los pesos dan a estas su ponderación (altura). En la parte inferior de la Figura 4.3 a la Figura 4.6 se presenta el resultado de la unión de los conjuntos difusos.

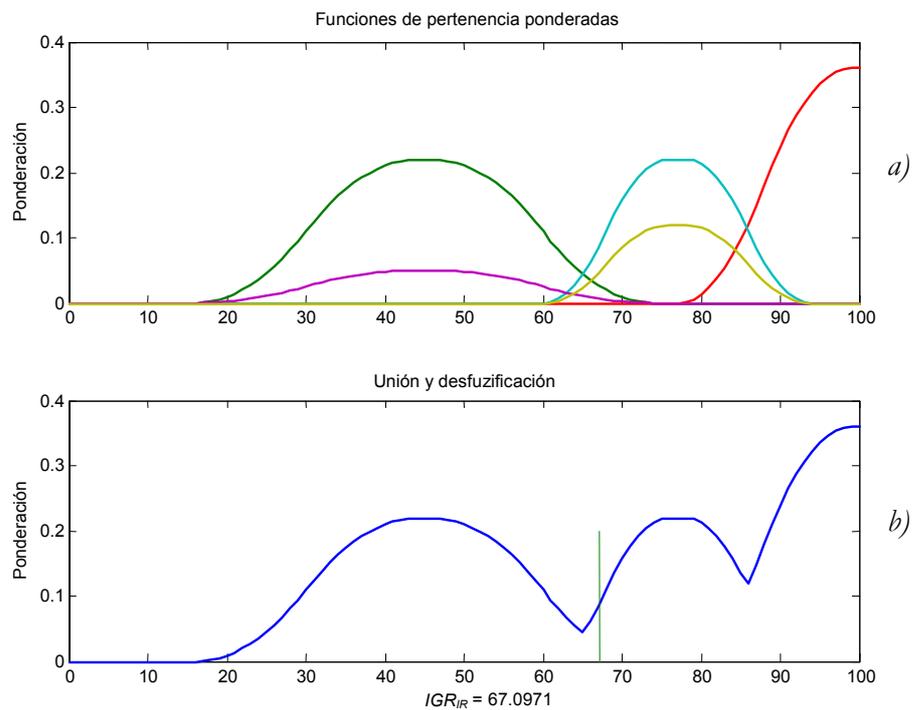


Figura 4.3. Cálculo del índice por identificación del riesgo  $IGR_{IR}$  para el año 2003

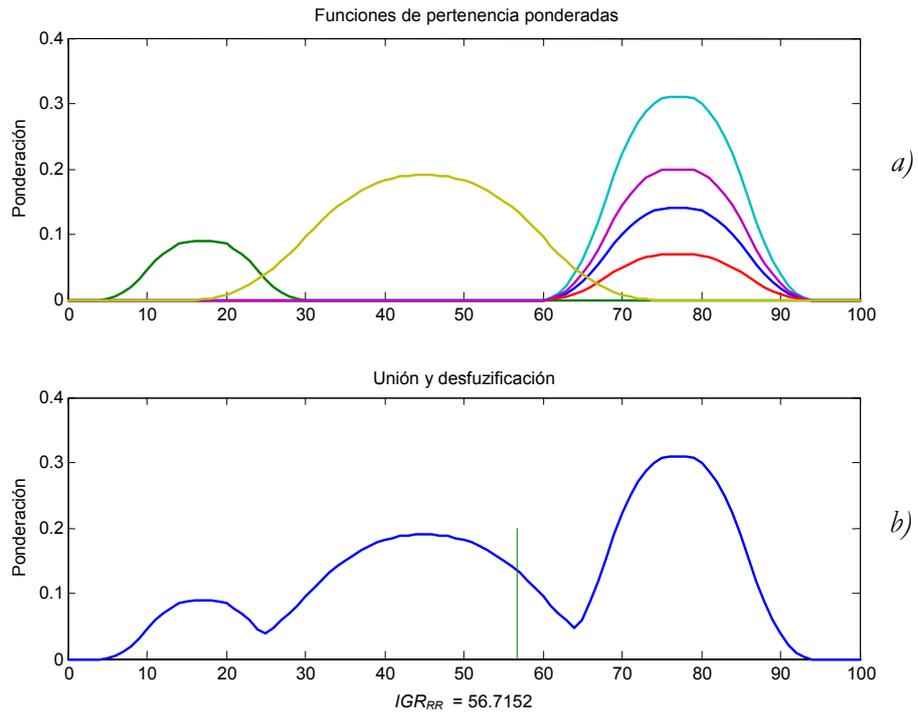


Figura 4.4. Cálculo del índice por reducción del riesgo  $IGR_{RR}$  para el año 2003

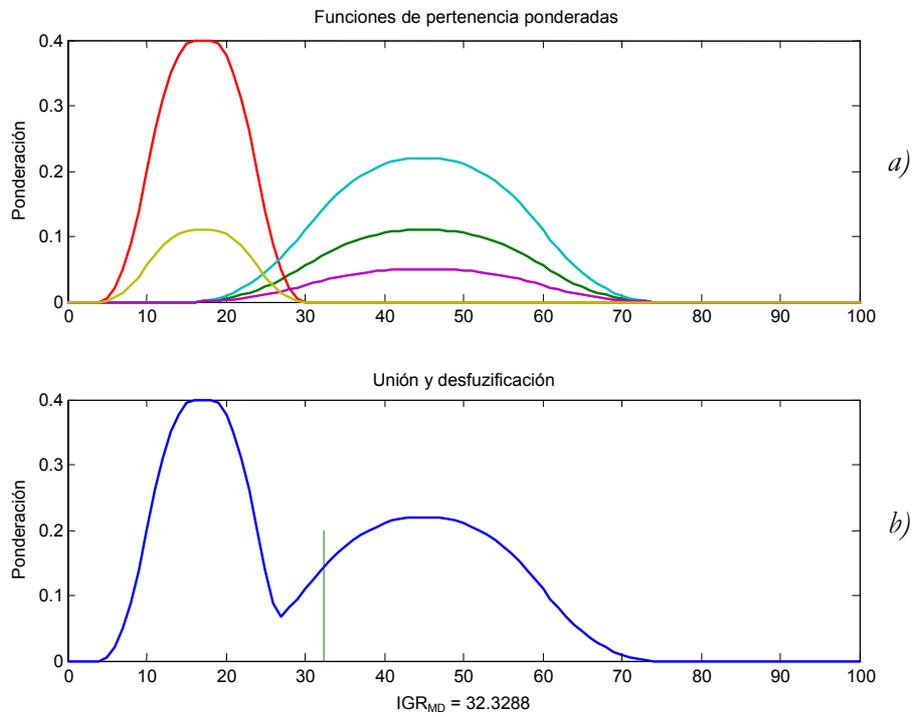


Figura 4.5. Cálculo del índice por gestión de desastres  $IGR_{MD}$  para el año 2003

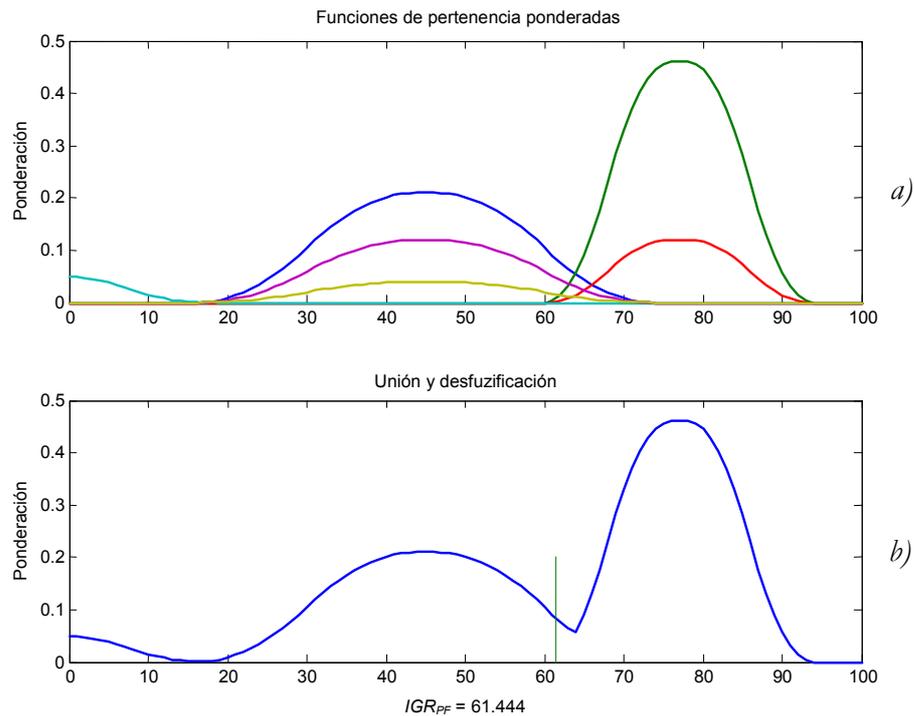


Figura 4.6. Cálculo del índice por protección financiera  $IGR_{PF}$  para el año 2003

Tabla 4.18. Indicadores resultantes para la ciudad de Bogotá D.C.

	1985	1990	1995	2000	2003
$IGR_{IR}$	4,56	13,90	35,57	56,15	67,10
$IGR_{RR}$	11,03	13,90	13,90	46,14	56,72
$IGR_{MD}$	4,56	8,25	8,25	24,00	32,33
$IGR_{PF}$	4,56	57,49	54,80	57,64	61,44
$DRMi$	<b>6,18</b>	<b>23,38</b>	<b>28,13</b>	<b>45,98</b>	<b>54,40</b>

Con estos resultados se ilustra como se ha desarrollado la gestión de riesgos en la ciudad en los últimos 20 años, pero también se enfatiza qué aspectos es necesario mejorar de las cuatro políticas públicas que se estudiaron. La política pública que ha tenido menor desarrollo en la ciudad ha sido la política de gestión de desastres, mientras que la política que ha tenido el mayor desarrollo es la de identificación del riesgo, seguida por la política de protección financiera.

Se hizo el mismo estudio detallando cada una de las localidades en las que está dividida la ciudad, siguiendo el mismo procedimiento, utilizando las mismas funciones y con calificaciones dadas por expertos de la DPAAE para el año 2004.

De la Figura 4.7 a la Figura 4.10 pueden verse los resultados obtenidos para los cuatro indicadores de gestión de riesgos por política pública. En las Figura 4.11 y la Figura 4.12 se muestran los resultados finales para el *DRMi*. Por los resultados, es claro que la gestión del riesgo es una tarea que fundamentalmente la debe llevar a cabo la administración central de la ciudad. Las localidades no tienen el poder ni la posibilidad de desarrollarse en esta materia independientemente, son áreas muy pequeñas que no tienen suficiente autonomía para hacerlo.

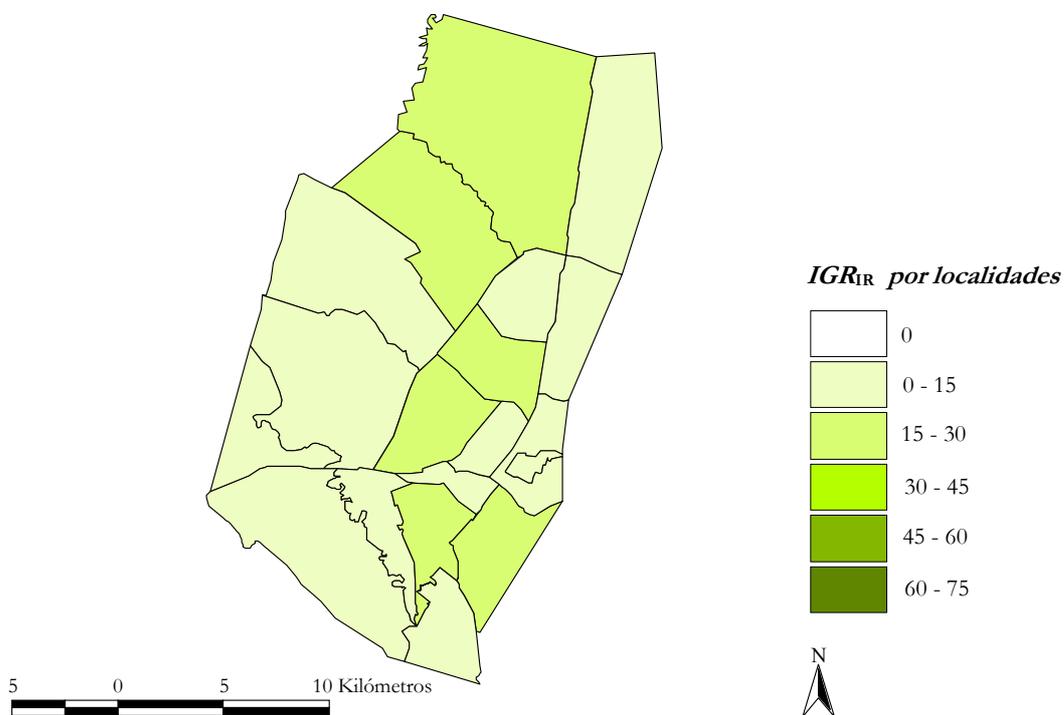


Figura 4.7. *IGR<sub>IR</sub>* para las localidades de la ciudad de Bogotá para el año 2003

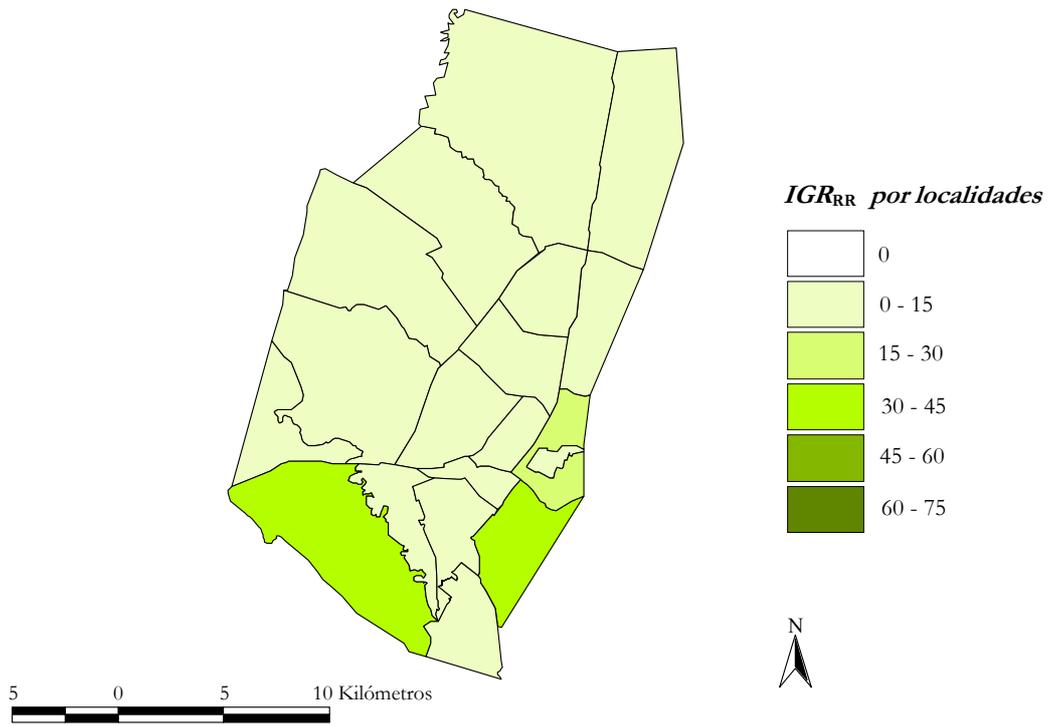


Figura 4.8.  $IGR_{RR}$  para las localidades de la ciudad de Bogotá para el año 2003

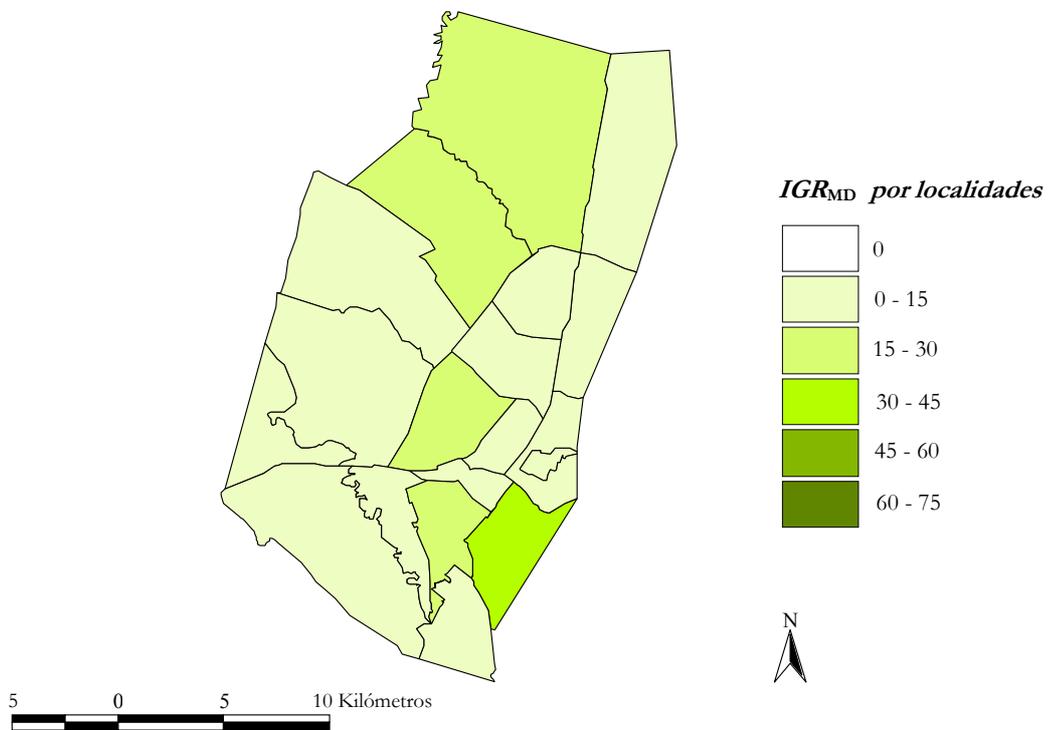


Figura 4.9.  $IGR_{MD}$  para las localidades de la ciudad de Bogotá para el año 2003

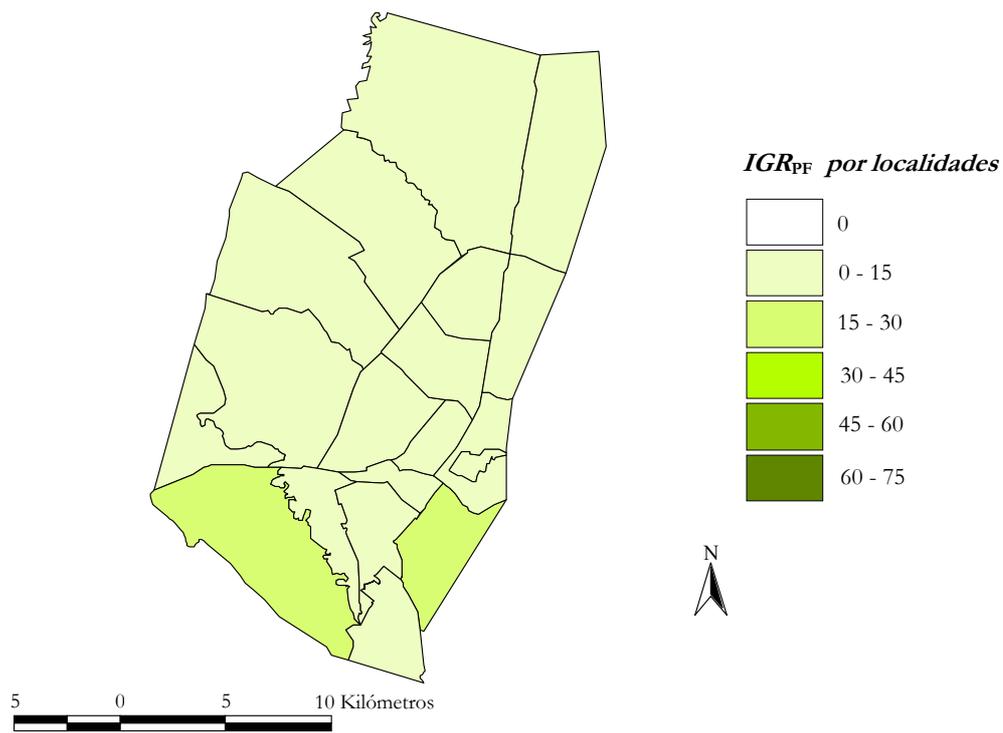


Figura 4.10. *IGR<sub>PF</sub>* para las localidades de la ciudad de Bogotá para el año 2003

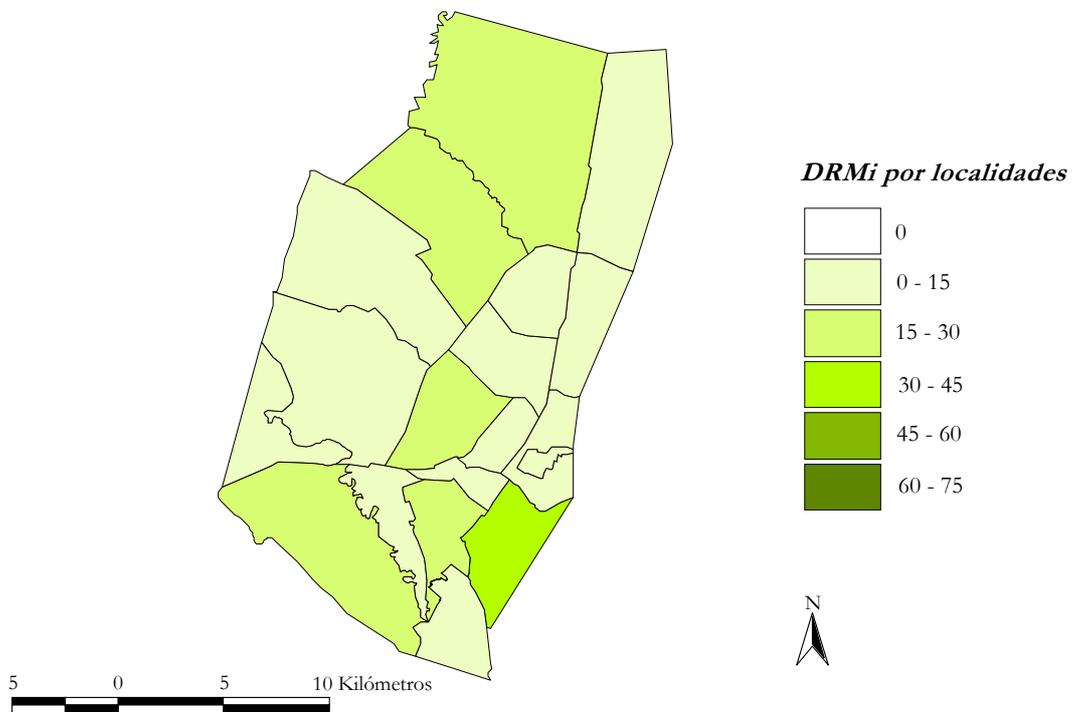


Figura 4.11. *DRMi* para las localidades de la ciudad de Bogotá para el año 2003

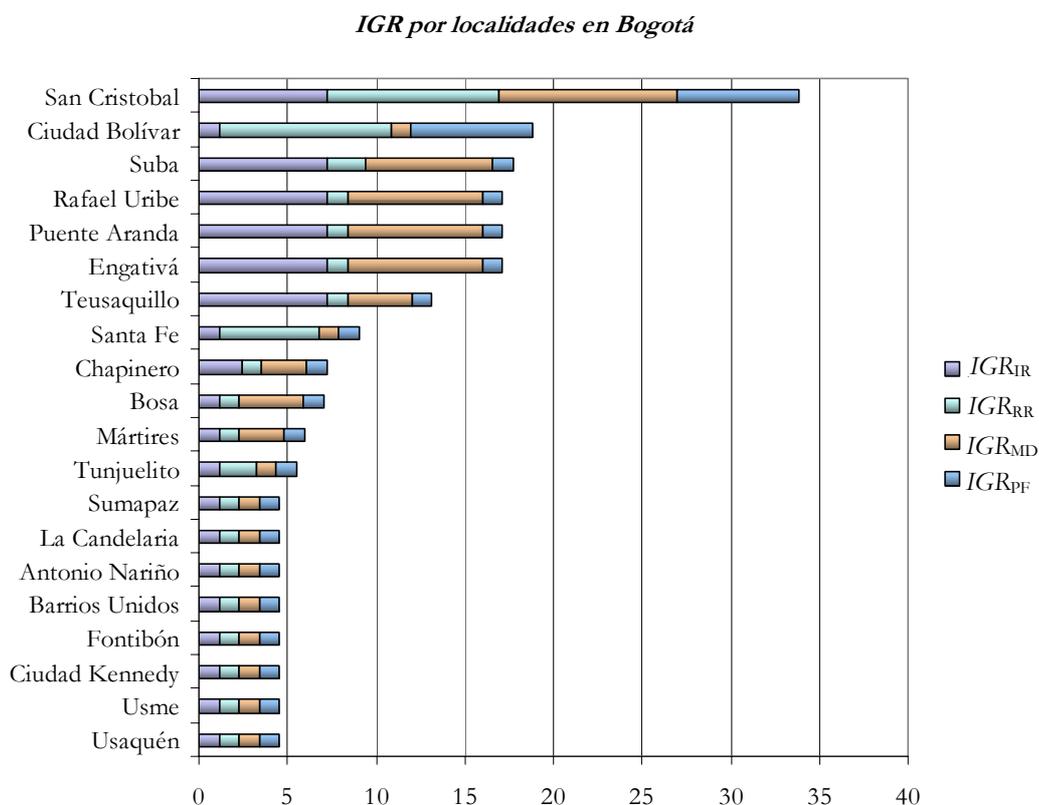


Figura 4.12. Valores de *IGR* por localidades para Bogotá para el año 2003

#### 4.2.3 *DRMi* a nivel subnacional: Colombia

Se adecuó la metodología para evaluar la gestión de riesgos a nivel subnacional y se aplicó a Colombia, cuyas unidades subnacionales son los departamentos. Colombia está conformada por 32 departamentos y un distrito capital, para los que se calificaron los indicadores de gestión de riesgos para las cuatro políticas públicas. Estas calificaciones fueron asignadas por personal experto de la Dirección de Prevención y Atención de Desastres – DPAD, de Colombia. En este caso no fue posible calificar cada uno de los subindicadores de cada política debido a la falta de información para hacerlo, así que el índice de gestión de riesgos, *DRMi*, obtenido es sólo el promedio de las calificaciones dadas para cada política pública. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 4.13 a la Figura 4.17.

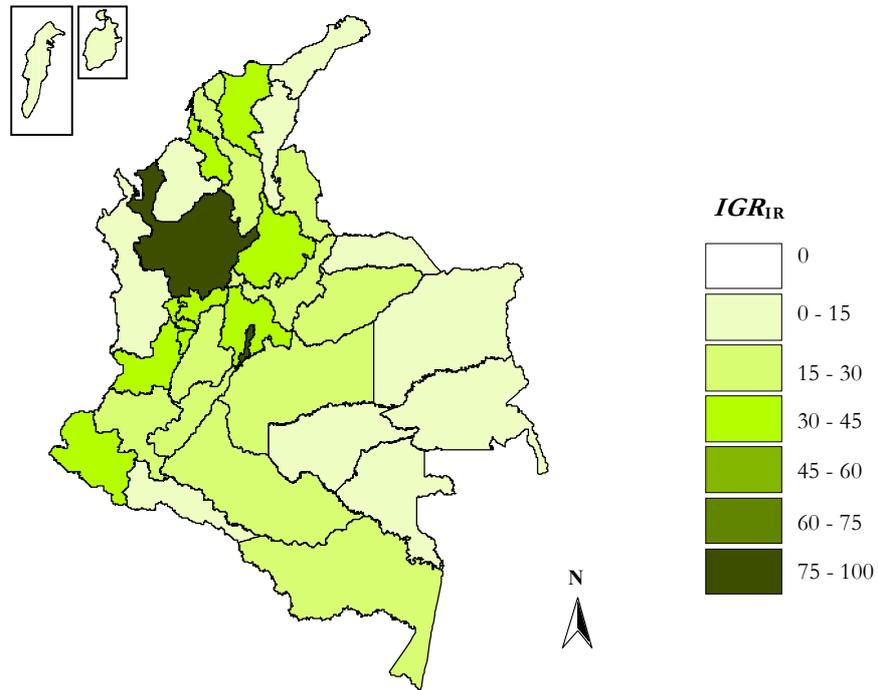


Figura 4.13. Valores de  $IGR_{IR}$  para los departamentos de Colombia actualmente

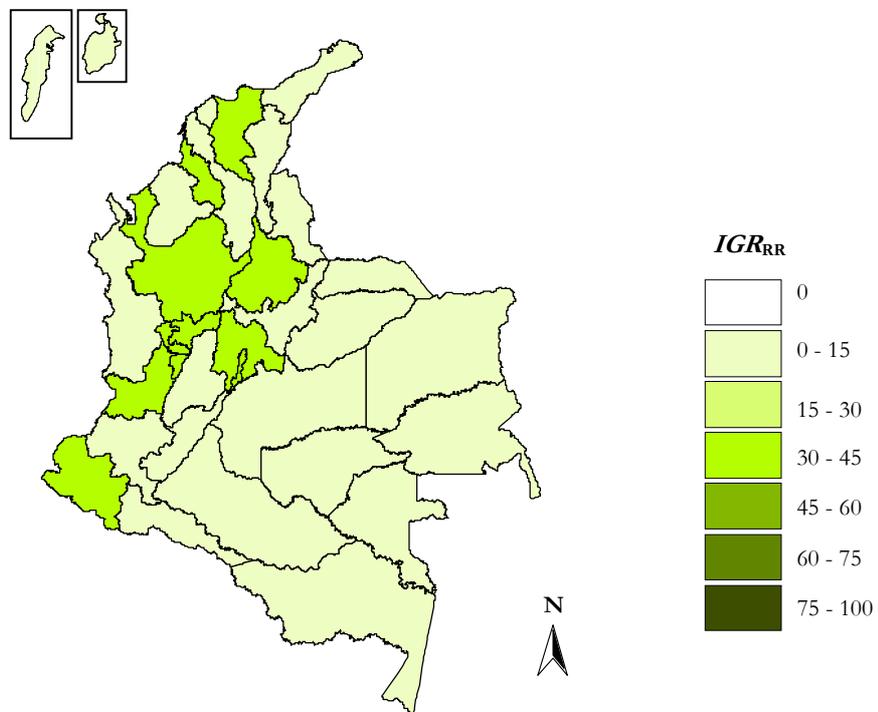


Figura 4.14. Valores de  $IGR_{RR}$  para los departamentos de Colombia en el 2004

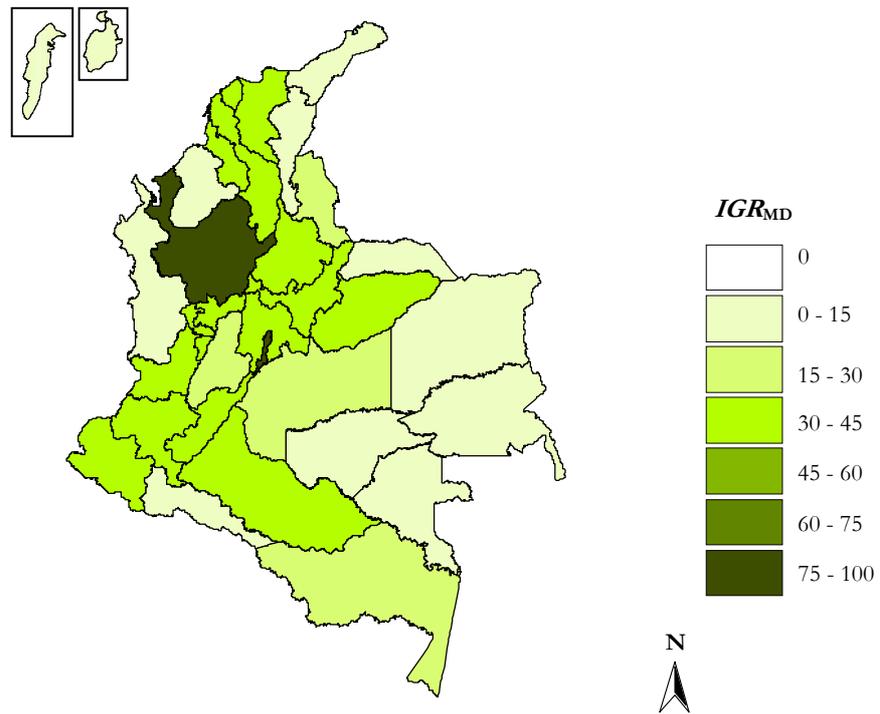


Figura 4.15. Valores de  $IGR_{MD}$  para los departamentos de Colombia en el 2004

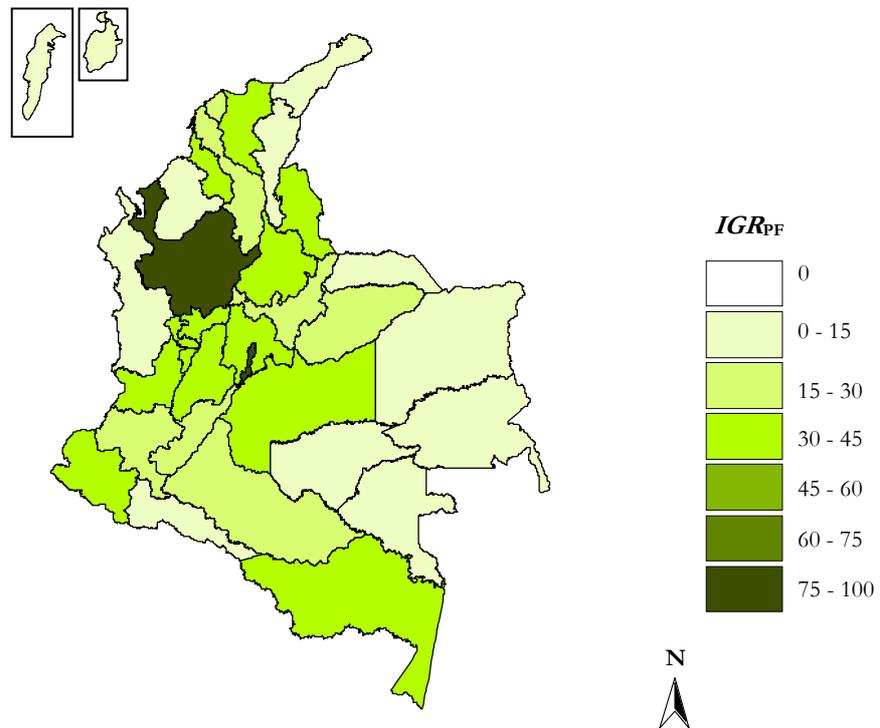


Figura 4.16. Valores de  $IGR_{PF}$  para los departamentos de Colombia en el 2004

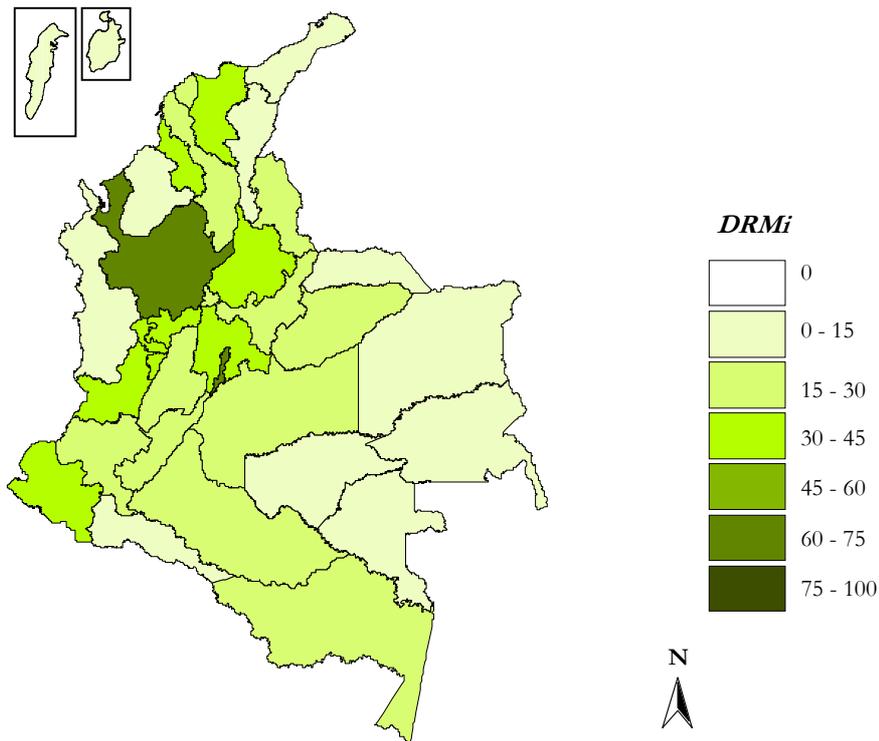


Figura 4.17. Valores de *DRMi* para los departamentos de Colombia en el 2004

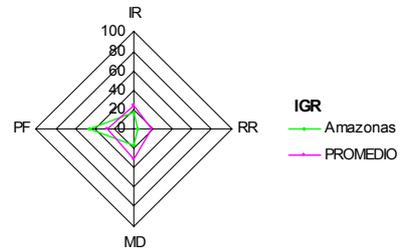
El índice de gestión del riesgo, *DRMi*, sólo se evaluó para el año 2004 debido a la falta de información para años anteriores. Se encontró que el departamento con mejores avances en gestión de riesgos es Antioquia, que tendría el mismo desarrollo que la ciudad Bogotá, seguido por Valle del Cauca, Risaralda, Quindío, Nariño, Magdalena, Cundinamarca y Caldas, que tienen igual nivel en gestión del riesgo. Los menores valores del *DRMi* los presentan los departamentos de Vichada, Vaupés, Putumayo, Guajira, Guaviare, Guainía, Choco, Córdoba, Cesar y Arauca que presentan un desarrollo mínimo de las cuatro políticas públicas para la gestión del riesgo.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de cada departamento, los cuales son comparados con el promedio calculado para el país.



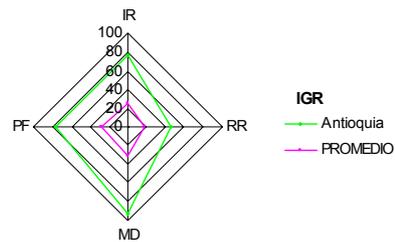
**Amazonas**

Área: 110 043 Km<sup>2</sup>  
 Población: 70 489 habitantes  
 Municipios: 11



**Antioquia**

Área: 63 072 Km<sup>2</sup>  
 Población: 5 377 854 habitantes  
 Municipios: 125



**Arauca**

Área: 23 805 Km<sup>2</sup>  
 Población: 240 190 habitantes  
 Municipios: 7

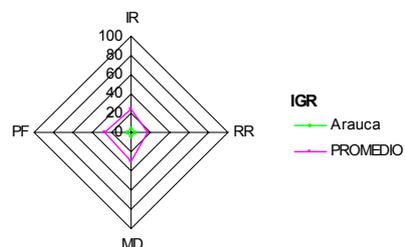
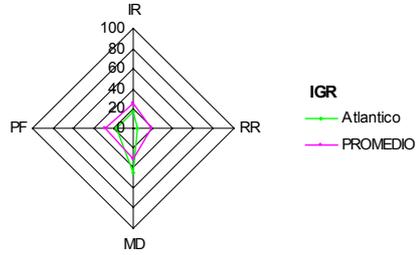


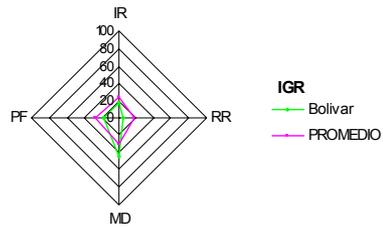
Figura 4.18. Valores de  $IGR_{IR}$ ,  $IGR_{RR}$ ,  $IGR_{MD}$  e  $IGR_{PF}$  para los departamentos de Colombia



Área: 3 326 Km<sup>2</sup>  
 Población: 2 127 567 habitantes  
 Municipios: 23



Área: 26 651 Km<sup>2</sup>  
 Población: 1 996 906  
 Municipios: 47



Área: 23 075 Km<sup>2</sup>  
 Población: 1 365 110 habitantes  
 Municipios: 123

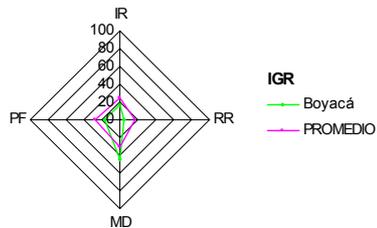
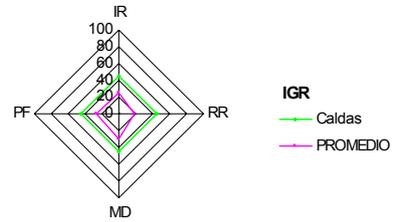


Figura 4.19. Valores de  $IGR_{IR}$ ,  $IGR_{RR}$ ,  $IGR_{MD}$  e  $IGR_{PF}$  para los departamentos de Colombia



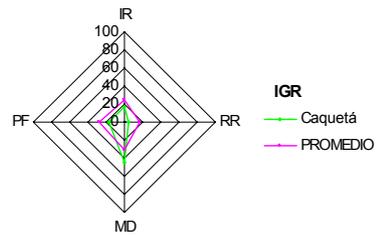
**Caldas**

Área: 7 415 Km<sup>2</sup>  
 Población: 1 107 627 habitantes  
 Municipios: 27



**Caquetá**

Área: 90 073 Km<sup>2</sup>  
 Población: 418 998 habitantes  
 Municipios: 16



**Casanare**

Área: 44 481 Km<sup>2</sup>  
 Población: 285 416 habitantes  
 Municipios: 19

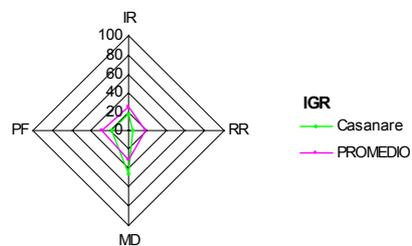
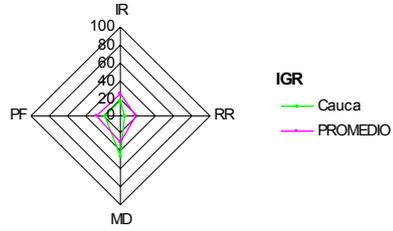


Figura 4.20. Valores de  $IGR_{IR}$ ,  $IGR_{RR}$ ,  $IGR_{MD}$  e  $IGR_{PF}$  para los departamentos de Colombia



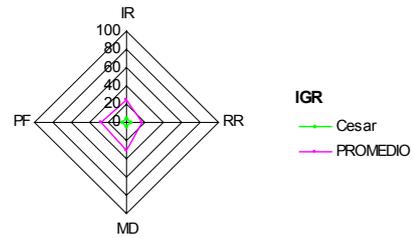
Cauca

Área: 30 644 Km<sup>2</sup>  
 Población: 1 255 333 habitantes  
 Municipios: 41



Cesar

Área: 47 960 Km<sup>2</sup>  
 Población: 407 255 habitantes  
 Municipios: 31



Chocó

Área: 22 374 Km<sup>2</sup>  
 Población: 961 535 habitantes  
 Municipios: 25

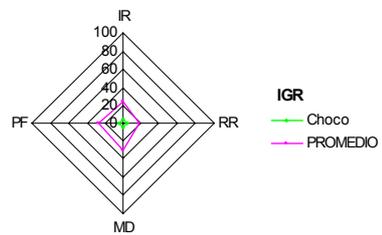


Figura 4.21. Valores de  $IGR_{IR}$ ,  $IGR_{RR}$ ,  $IGR_{MD}$  e  $IGR_{PF}$  para los departamentos de Colombia

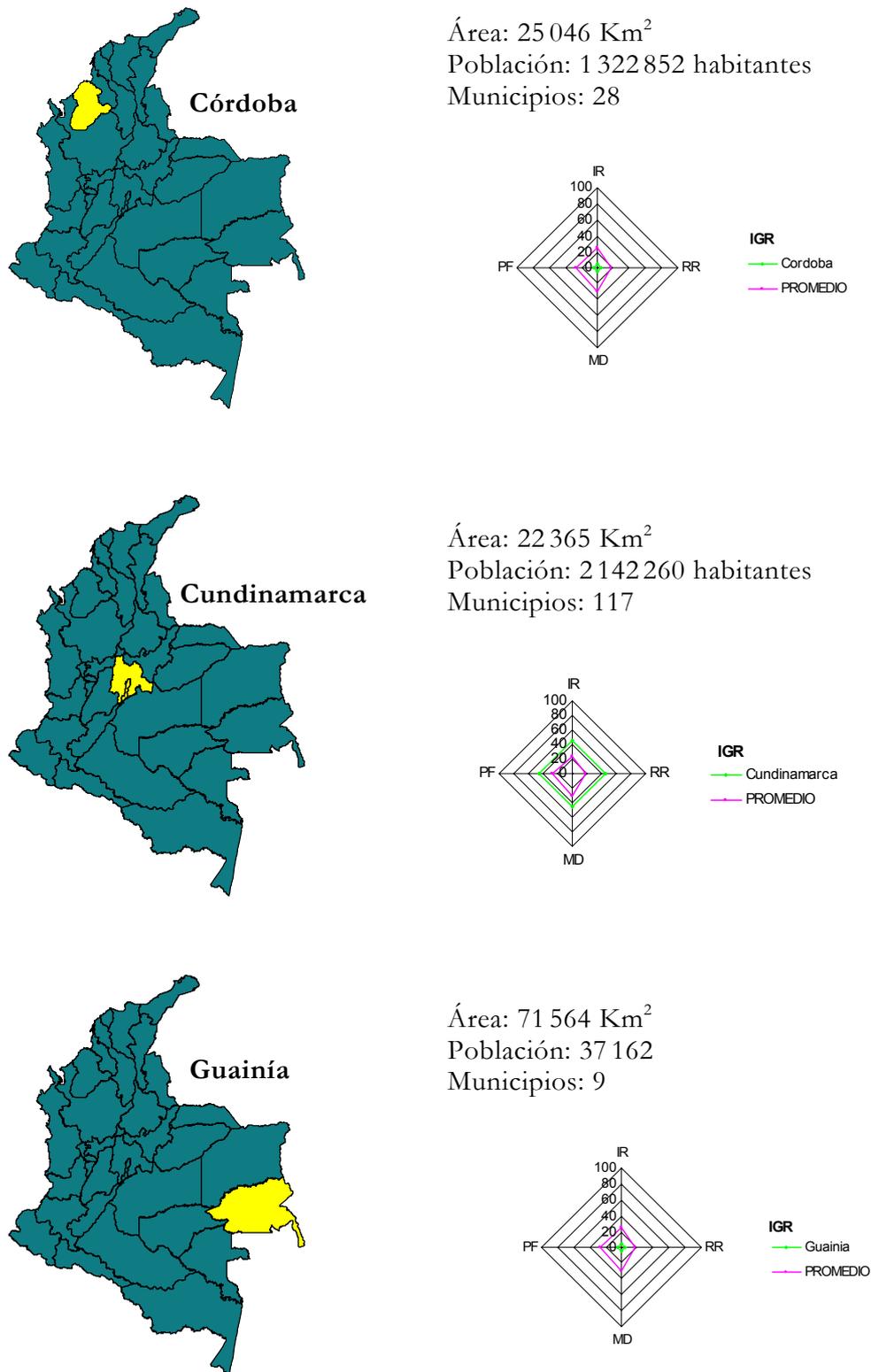
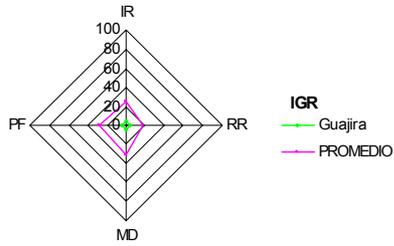


Figura 4.22. Valores de  $IGR_{IR}$ ,  $IGR_{RR}$ ,  $IGR_{MD}$  e  $IGR_{PF}$  para los departamentos de Colombia



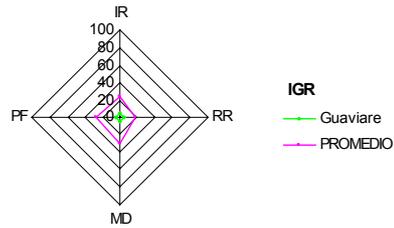
**Guajira**

Área: 20 670 Km<sup>2</sup>  
 Población: 483 106 habitantes  
 Municipios: 15



**Guaviare**

Área: 55 451 Km<sup>2</sup>  
 Población: 117 189 habitantes  
 Municipios: 4



**Huila**

Área: 18 710 Km<sup>2</sup>  
 Población: 924 968 habitantes  
 Municipios: 37

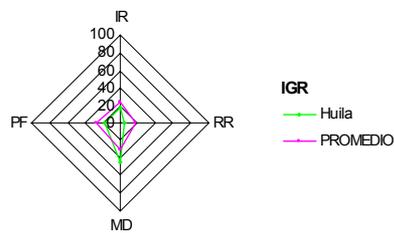
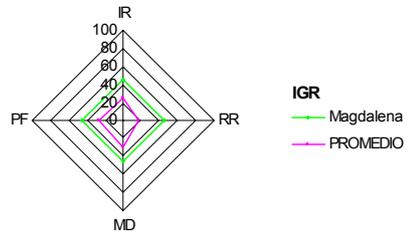


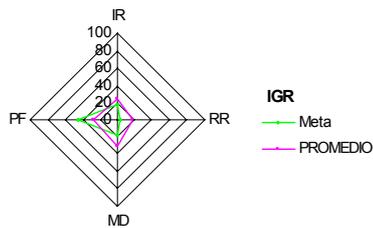
Figura 4.23. Valores de  $IGR_{IR}$ ,  $IGR_{RR}$ ,  $IGR_{MD}$  e  $IGR_{PF}$  para los departamentos de Colombia



Área: 23 203 Km<sup>2</sup>  
 Población: 1 284 135 habitantes  
 Municipios: 30



Área: 85 481 Km<sup>2</sup>  
 Población: 700 506 habitantes  
 Municipios: 29



Área: 31 648 Km<sup>2</sup>  
 Población: 1 632 093 habitantes  
 Municipios: 64

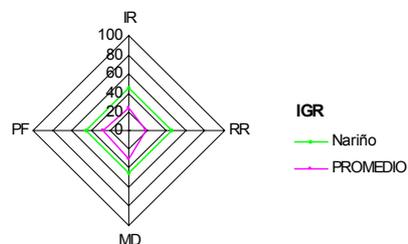
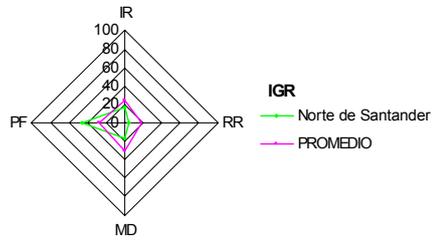


Figura 4.24. Valores de  $IGR_{IR}$ ,  $IGR_{RR}$ ,  $IGR_{MD}$  e  $IGR_{PF}$  para los departamentos de Colombia



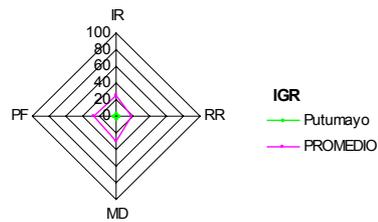
**Norte de Santander**

Área: 21 929 Km<sup>2</sup>  
 Población: 1 345 697 habitantes  
 Municipios: 41



**Putumayo**

Área: 25 892 Km<sup>2</sup>  
 Población: 332 434 habitantes  
 Municipios: 13



**Quindío**

Área: 1 935 Km<sup>2</sup>  
 Población: 562 156 habitantes  
 Municipios: 12

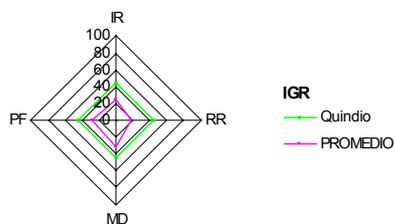
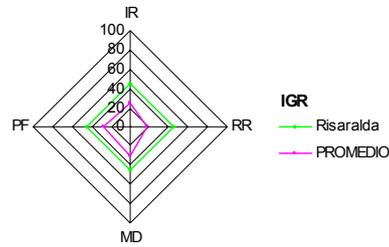


Figura 4.25. Valores de  $IGR_{IR}$ ,  $IGR_{RR}$ ,  $IGR_{MD}$  e  $IGR_{PF}$  para los departamentos de Colombia



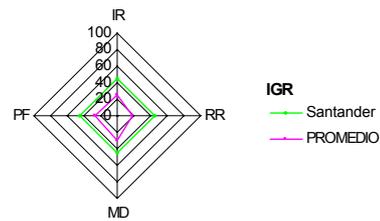
**Risaralda**

Área: 3 541 Km<sup>2</sup>  
 Población: 944 298 habitantes  
 Municipios: 14



**Santander**

Área: 30 596 Km<sup>2</sup>  
 Población: 1 964 361 habitantes  
 Municipios: 87



**Sucre**

Área: 10 706 Km<sup>2</sup>  
 Población: 794 631 habitantes  
 Municipios: 27

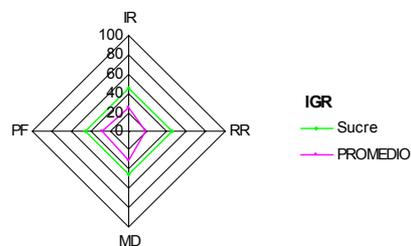
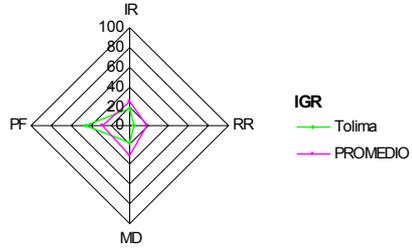


Figura 4.26. Valores de  $IGR_{IR}$ ,  $IGR_{RR}$ ,  $IGR_{MD}$  e  $IGR_{PF}$  para los departamentos de Colombia



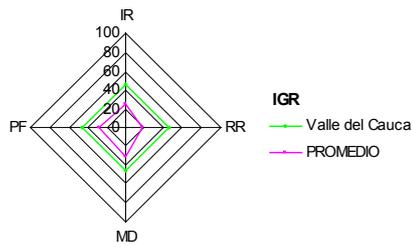
Tolima

Área: 23 981 Km<sup>2</sup>  
 Población: 1 296 942 habitantes  
 Municipios: 47



Valle del Cauca

Área: 21 306 Km<sup>2</sup>  
 Población: 4 175 515 habitantes  
 Municipios: 42



Vaupés

Área: 53 541 Km<sup>2</sup>  
 Población: 29 942 habitantes  
 Municipios: 6

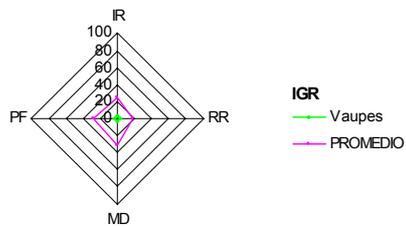
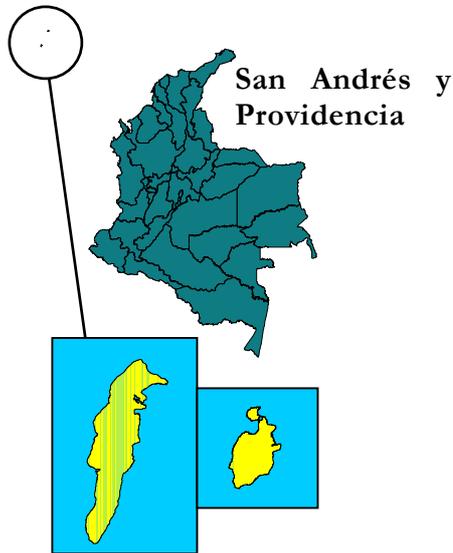
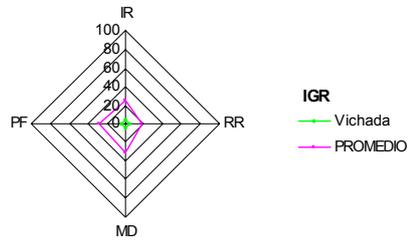


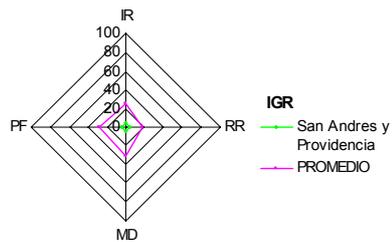
Figura 4.27. Valores de  $IGR_{IR}$ ,  $IGR_{RR}$ ,  $IGR_{MD}$  e  $IGR_{PF}$  para los departamentos de Colombia



Área: 100 009 Km<sup>2</sup>  
 Población: 83 467 habitantes  
 Municipios: 4



Área: 49 Km<sup>2</sup>  
 Población: 73 465 habitantes  
 Municipios: 64



Área: 1 634 Km<sup>2</sup>  
 Población: 6 437 842 habitantes

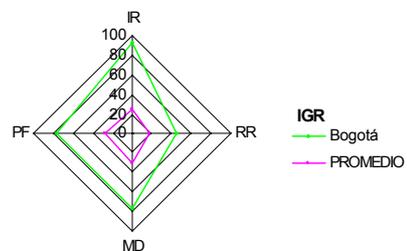


Figura 4.28. Valores de  $IGR_{IR}$ ,  $IGR_{RR}$ ,  $IGR_{MD}$  e  $IGR_{PF}$  para los departamentos de Colombia

#### 4.2.4 *DRMi* a nivel de país: Colombia

En esta evaluación de la gestión de riesgos de Colombia fue aplicada la metodología explicada en la sección 4.1 utilizando las descripciones de la Tabla 4.2 para calificar la identificación de riesgos, de la Tabla 4.4 para calificar la reducción de riesgos, de la Tabla 4.6 para calificar la gestión de desastres y de la Tabla 4.8 para calificar los subindicadores de protección financiera y gobernabilidad.

Para la calificación de los diferentes subindicadores de las cuatro políticas públicas se contó con la colaboración de personal experto del Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos Naturales – CEDERI, de la Universidad de Los Andes en Bogotá, Colombia, que calificaron cada uno de los subindicadores de las cuatro políticas públicas para los años 1985, 1990, 1995, 2000 y 2003. De la Tabla 4.19 a la Tabla 4.22 se presentan las calificaciones asignadas por los expertos.

**Tabla 4.19. Calificaciones para indicadores de identificación del riesgo (IR)**

	1985	1990	1995	2000	2003
IR1	2	3	3	4	4
IR2	1	2	3	3	3
IR3	2	2	3	4	4
IR4	1	1	2	3	3
IR5	1	1	3	2	2
IR6	1	2	3	2	2

**Tabla 4.20. Calificaciones para indicadores de reducción del riesgo (RR)**

	1985	1990	1995	2000	2003
RR1	1	2	2	3	3
RR2	1	2	3	2	2
RR3	1	1	2	2	2
RR4	1	2	3	2	2
RR5	2	2	3	4	4
RR6	1	1	2	3	3

**Tabla 4.21. Calificaciones para indicadores de gestión de desastres (MD)**

	1985	1990	1995	2000	2003
MD1	1	2	2	3	3
MD2	1	1	2	2	2
MD3	1	2	2	2	2
MD4	1	1	1	2	2
MD5	1	1	2	1	1
MD6	1	1	1	2	2

Tabla 4.22. Calificaciones para indicadores de protección financiera (PF)

	1985	1990	1995	2000	2003
<b>PF1</b>	1	2	3	2	2
<b>PF2</b>	1	2	3	2	2
<b>PF3</b>	1	1	2	2	2
<b>PF4</b>	1	1	2	2	2
<b>PF5</b>	1	1	2	3	3
<b>PF6</b>	1	2	2	3	3

En la Tabla 4.23 se presentan los resultados para los indicadores de gestión de riesgos para las cuatro políticas públicas, puede verse como ha evolucionado el país en cada una a lo largo del tiempo. Esto ultimo esta mejor representado en la Figura 4.29 y la Figura 4.30.

Tabla 4.23. Indicadores resultantes para Colombia

	1985	1990	1995	2000	2003
<b><i>IGR<sub>IR</sub></i></b>	10.54	25.07	32.46	48.41	48.41
<b><i>IGR<sub>RR</sub></i></b>	10.97	13.96	39.28	44.46	44.46
<b><i>IGR<sub>MD</sub></i></b>	4.56	12.49	12.49	28.73	28.73
<b><i>IGR<sub>PF</sub></i></b>	4.56	12.49	31.50	39.64	39.64
<b><i>DRMi</i></b>	<b>7.66</b>	<b>16.00</b>	<b>28.93</b>	<b>40.31</b>	<b>40.31</b>

De acuerdo con lo observado en la Figura 4.29 y la Figura 4.30 en los años estudiados se ha prestado mayor atención a las dos primeras políticas públicas de gestión de riesgos, la identificación del riesgo y su reducción. Entre el año 2000 y el 2003 no se ha presentado ningún cambio en los índices, pero en general los indicadores resultantes indican un aumento en la gestión de riesgos en el país entre 1985 y el año 2003.

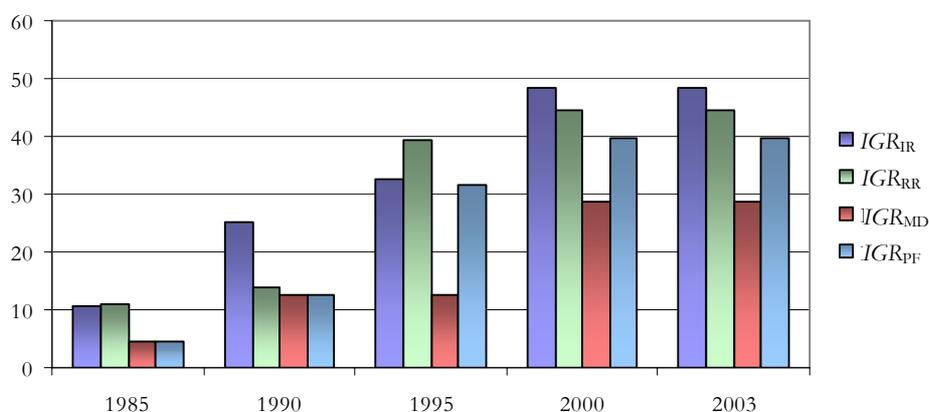


Figura 4.29. Indicadores de gestión de riesgos para las cuatro políticas públicas

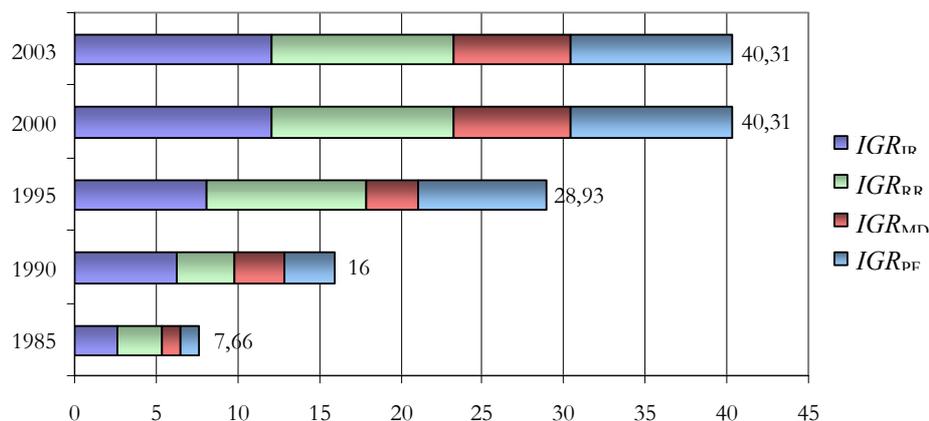


Figura 4.30. Evolución del *DRMi* entre el año 1985 y el 2003

#### 4.2.5 Resultados a nivel regional: América Latina y el Caribe

Se evaluó la gestión de riesgos en once países de Latinoamérica y el Caribe dentro de los que se encuentran: Argentina, Chile, Colombia, Costa Rica, República Dominicana, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Jamaica, México y Perú. Se aplicó la metodología explicada en la sección 4.1, utilizando las descripciones de la Tabla 4.2 para calificar la identificación de riesgos, de la Tabla 4.4 para calificar la reducción de riesgos, de la Tabla 4.6 para calificar la gestión de desastres y de la Tabla 4.8 para calificar los subindicadores de protección financiera. Los resultados son comparados en esta sección.

La valoración de cada indicador se hizo utilizando los cinco niveles de desempeño predefinidos. Las calificaciones fueron dadas por expertos en el tema de la gestión de riesgos en cada uno de los países evaluados. La Figura 4.31 ilustra los valores del *DRMi* para los países cada cinco años desde 1985 a 2000.

La mayoría de los países han mejorado a través de los años, empezando todos en el nivel más bajo, pero a pesar del avance, en general, presentan un *DRMi* que los coloca en un nivel de desempeño incipiente. De acuerdo con la teoría que soporta el método de evaluación utilizado, la efectividad –probable– de la gestión de riesgos, en el mejor de los casos, no alcanza el 60%. En general la efectividad alcanzada de la mayoría de los países se encuentra en un rango entre el 20% y 30% que es muy baja frente a los valores deseables de efectividad que se deberían alcanzar. República Dominicana y Ecuador presentan, en general, un bajo nivel de desempeño en la gestión de riesgos. Recientemente Bolivia también ha sido evaluada y presenta el nivel más bajo de toda la región. El *DRMi* de los países con mayor avance, Chile y Costa Rica, representa apenas un nivel de desempeño apreciable.

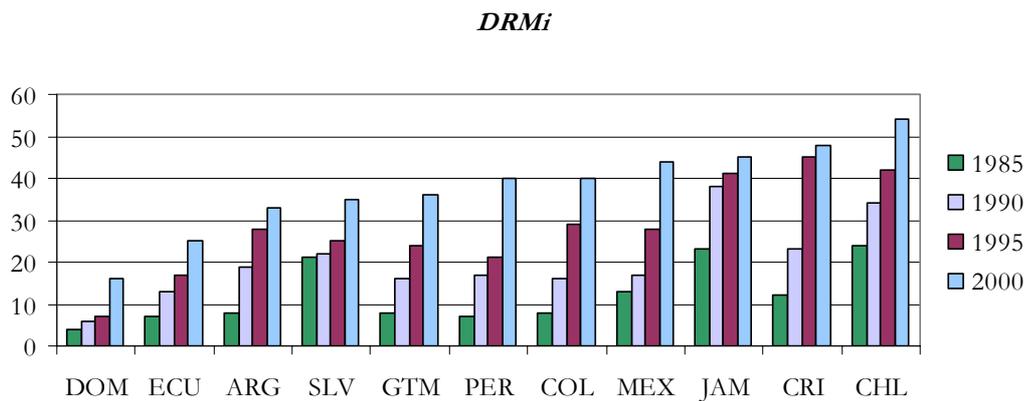


Figura 4.31. Valores del *DRMi* para los países estudiados en orden ascendente

#### 4.2.5.1 Índice de identificación de riesgos

La identificación del riesgo colectivo, en general, comprende la percepción individual, la representación social y la evaluación objetiva. Para poder hacer intervenir el riesgo es necesario reconocerlo, dimensionarlo y representarlo mediante modelos, mapas, índices, etc. que tengan significado para la sociedad y para los tomadores de decisiones. Metodológicamente involucra la valoración de las amenazas factibles, de los diferentes aspectos de la vulnerabilidad de la sociedad ante dichas amenazas y de su evaluación como una situación de posibles consecuencias de diferente índole en un tiempo de exposición definido como referente. Su valoración con fines de intervención tiene sentido cuando la población lo reconoce y lo comprende. Los indicadores que representan la identificación del riesgo y sus niveles de desempeño se describen en la Tabla 4.2. La Figura 4.32 presenta los valores del  $IGR_{IR}$  para cada país en cada período.

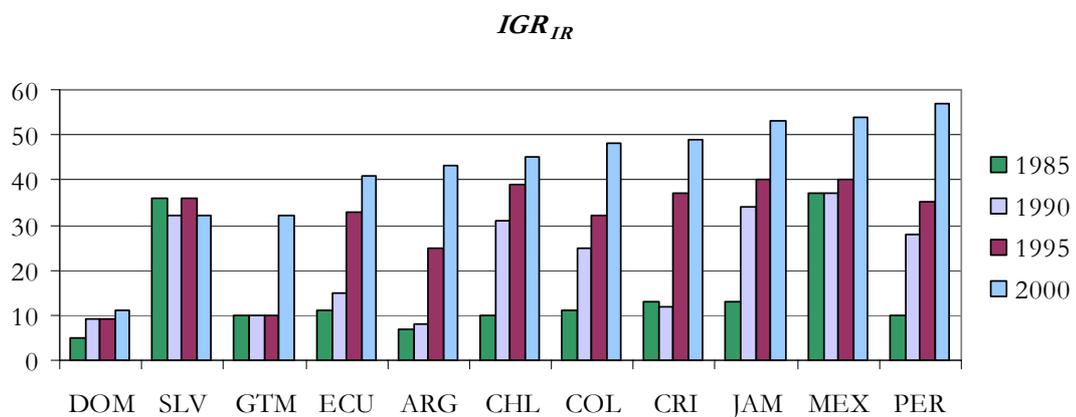


Figura 4.32. *IGR* en identificación de riesgos

#### 4.2.5.2 Índice de reducción de riesgos

La principal acción de gestión de riesgos es la reducción del riesgo. En general, corresponde a la ejecución de medidas estructurales y no estructurales de prevención-mitigación. Es la acción de anticiparse con el fin de evitar o disminuir el impacto económico, social y ambiental de los fenómenos peligrosos potenciales. Implica procesos de planificación, pero fundamentalmente de ejecución de medidas que modifiquen las condiciones de riesgo mediante la intervención correctiva y prospectiva de los factores de vulnerabilidad existente o potencial, y control de las amenazas cuando eso es factible. Los indicadores que representan la reducción de riesgos y sus niveles de desempeño se describen en la Tabla 4.4. La Figura 4.33 presenta los valores del  $IGR_{RR}$  para cada país en cada período.

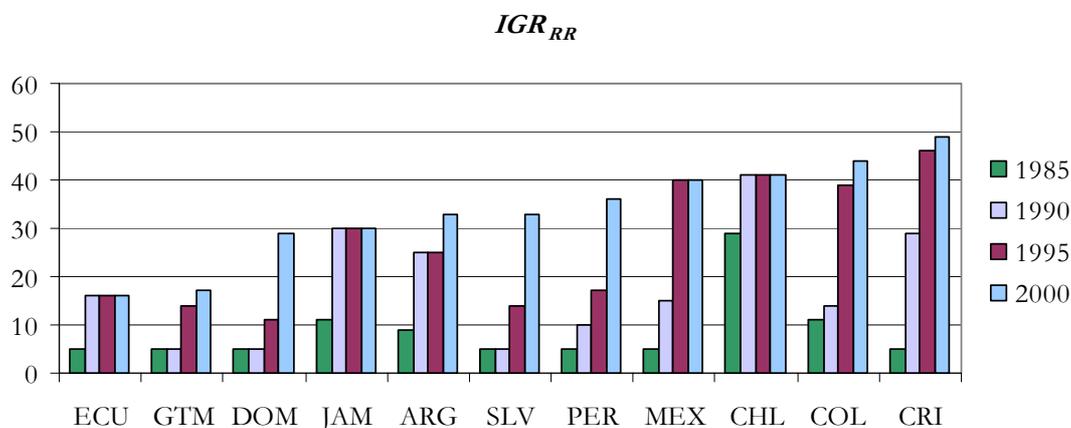


Figura 4.33.  $IGR$  en reducción de riesgos

#### 4.2.5.3 Índice de gestión de desastres

La gestión de desastres corresponde a la apropiada respuesta y recuperación post desastre, que depende del nivel de preparación de las instituciones operativas y la comunidad. Esta política pública de la gestión del riesgo tiene como objetivo responder eficaz y eficientemente cuando el riesgo ya se ha materializado y no ha sido posible impedir el impacto de los fenómenos peligrosos. Su efectividad implica una real organización, capacidad y planificación operativa de instituciones y de los diversos actores sociales que verían involucrados en casos de desastre. Los indicadores que representan la capacidad para la gestión de desastres y sus niveles de desempeño se describen en la Tabla 4.6. La Figura 4.34 presenta los valores del  $IGR_{MD}$  para cada país en cada período.

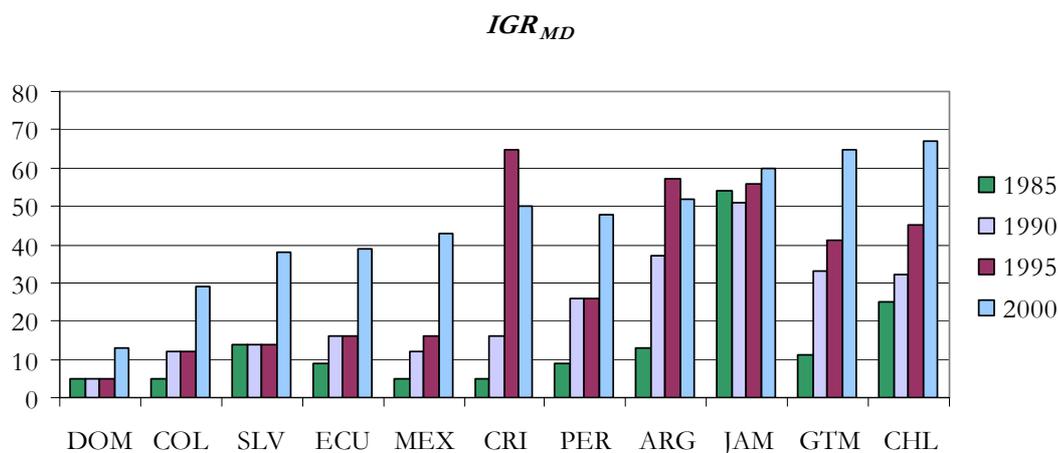


Figura 4.34. *IGR en gestión de desastres*

#### 4.2.5.4 Índice de gobernabilidad y protección financiera

La gobernabilidad y protección financiera para la gestión de riesgos es fundamental para la sostenibilidad del desarrollo y el crecimiento económico del país. Esta política pública implica, por una parte, la coordinación de diferentes actores sociales que necesariamente tienen diversos enfoques disciplinarios, valores, intereses y estrategias. Su efectividad está relacionada con el nivel de interdisciplinariedad e integralidad de las acciones institucionales y de participación social. Por otra parte, dicha gobernabilidad depende de la adecuada asignación y utilización de recursos financieros para la gestión y de la implementación de estrategias apropiadas de retención y transferencia de pérdidas asociadas a los desastres. Los indicadores que representan la gobernabilidad y protección financiera son los siguientes y sus niveles de desempeño se describen en la Tabla 4.8. La Figura 4.35 presenta los valores del  $IGR_{PF}$  para cada país en cada período.

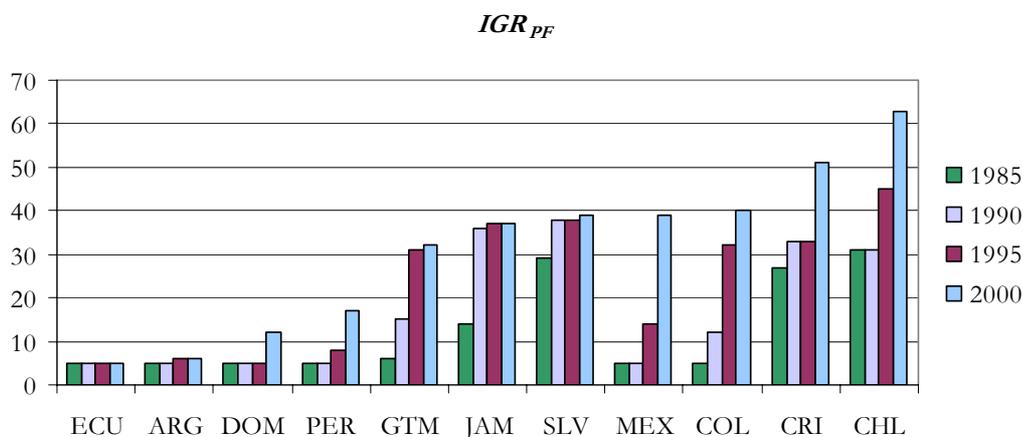


Figura 4.35. *IGR en protección financiera y gobernabilidad*

De la Figura 4.32 a la Figura 4.35 se concluye que Perú, México y Jamaica han logrado avances importantes en identificación de riesgos. En general la mayoría de los países presentan valores significativos en este aspecto. Costa Rica y Colombia presentan los mayores avances en reducción de riesgos, seguidos por Chile y México. En general, en este índice se presenta el menor avance en los países estudiados. En gestión de desastres los valores de desempeño más altos los presentan Chile, Guatemala y Jamaica en el 2000, aunque a mediados de los años 90 Costa Rica, Argentina y Jamaica llegaron a presentar valores notables en términos relativos. En esta política pública es en la cual se han obtenido los mayores avances en los países. Finalmente, Chile y Costa Rica registran los mayores valores en protección financiera y gobernabilidad, seguidos por Colombia y México. En general en este aspecto los países presentan el menor avance relativo.

Los pesos y las evaluaciones se realizaron en cada país, en la mayoría de los casos, por entidades encargadas de la gestión del riesgo. Estas evaluaciones, en algunos casos, parecen presentar sesgos hacia un sobre evaluación o benevolencia en el nivel de desempeño alcanzado cuando se compara con las evaluaciones realizadas por expertos locales externos, que parecen ser más sinceras. Se dejaron las primeras evaluaciones pero se considera que las evaluaciones externas también son pertinentes y que quizás con el tiempo serían lo más deseable, si se hacen en forma concertada, para no favorecer el *statu quo*.

## **5 EVALUACIÓN DE RIESGO *EX POST*. EVALUACIÓN DEL DAÑO EN EDIFICIOS DESPUÉS DE UN TERREMOTO**

### **5.1 Introducción**

En el caso de un sismo fuerte, debido a la magnitud del desastre, es necesario que el proceso de evaluación del daño en los edificios sea hecho por profesionales con experiencia en esta tarea y que estén familiarizados con la ingeniería estructural. Cuando el daño en el área afectada es generalizado, los expertos locales en ingeniería estructural son insuficientes para hacer la totalidad de las evaluaciones, profesionales inexpertos voluntarios deben hacer parte del trabajo. Como consecuencia, es común la sobreestimación o subestimación del daño, llevando a la ocupación peligrosa o la demolición innecesaria de los edificios.

A pesar de la existencia de manuales de evaluación con completas descripciones de los diferentes niveles de daño como los que se mencionan en el Capítulo 2, la información que se maneja es altamente subjetiva y depende de la percepción del evaluador en cada caso, por lo cual los evaluadores inexpertos tienden a calificar erróneamente los daños. Estos errores llevan a serias complicaciones, especialmente en el caso de edificios esenciales, como los hospitales. Los niveles de daño son clasificados en los manuales con calificaciones lingüísticas como leve, moderado, fuerte o severo, estos conceptos pueden tener diferentes significados dependiendo de la persona que los utilice, y no existen límites claramente definidos entre ellos. Motivado en esta problemática, éste trabajo propone un sistema experto para apoyar el proceso de evaluación de daños, usando herramientas como la teoría de conjuntos difusos y las redes neuronales artificiales.

## **5.2 Problemas más comunes en las evaluaciones de daños**

Con base en la experiencia de las evaluaciones de daños realizadas en Colombia, donde ha habido un avance notable en este tema (AIS 2003), y de las experiencias basadas en la aplicación del ATC-20 en California publicadas en el ATC-20-2 (1995), se puede hacer una síntesis de los principales problemas que se han presentado en los procesos de evaluación post-sísmica que son similares en los diferentes países (Campos *et al.* 2003). Los más relevantes en términos generales son los siguientes:

### **5.2.1 Falta de entrenamiento y experiencia de los evaluadores**

Para llevar a cabo un buen proceso de evaluación de daños, es importante contar con evaluadores con amplia experiencia y experticia. Sin embargo, cuando ocurre un evento sísmico de gran magnitud, los daños en la zona pueden ser tan generalizados, que no es posible que los expertos se encarguen de hacer la totalidad de las evaluaciones. Este problema hace necesario que gran parte de las evaluaciones sean realizadas por profesionales con poca o ninguna experiencia, que posiblemente no están familiarizados con daños causados por movimientos sísmicos. Usualmente, para los neófitos, el impacto al ver los daños es tan grande que tienden a calificarlos de manera más grave que lo que realmente son, y en contraste, en muchas ocasiones subestiman casos graves que aparentemente no lo parecen. A pesar de que los métodos de evaluación existentes cuentan con buenas descripciones para los diferentes niveles de daño que utilizan, sino existe una muy buena capacitación previa la tendencia que presentan los evaluadores inexpertos a agravar o a subestimar el nivel de daño es casi siempre una constante.

Sin duda, la información que interviene en la evaluación es altamente subjetiva y depende de la concepción y la impresión que tenga el evaluador en cada caso. Es posible que por la inexperiencia de los evaluadores se cometan errores como demoler edificios que probablemente no se encontraban en condiciones tan graves, o que se evacuen edificios sin necesidad, lo que sería especialmente grave en el caso de edificios indispensables, como hospitales. También es posible que se pasen por alto fallas en el edificio que comprometen su estabilidad, poniendo así en peligro la vida de sus ocupantes. Por eso es tan importante garantizar que el personal más experimentado y con un mejor conocimiento sobre el comportamiento de las estructuras y patología de edificios realice las evaluaciones detalladas (Carreño 2001).

En la experiencia del sismo del 25 de enero de 1999 en Colombia en la zona del Eje Cafetero, se pudo observar que aunque existía un formato previamente establecido para realizar las evaluaciones, el cual se había utilizado en el sismo de 1995 y se había revisado para mejorarlo, y aunque los profesionales voluntarios se clasificaron según su experiencia, no se había llevado a cabo una capacitación adecuada para los profesionales que ayudara a que los criterios fueran homogéneos. Existió, en consecuencia, gran disparidad de criterios entre los diferentes evaluadores, generando que muchas evaluaciones se tuvieran que desechar o repetir.

De lo anterior se concluye que es fundamental que se realice una divulgación y capacitación previa de los profesionales que van a participar en el proceso, así como la selección de un grupo más especializado para la toma de decisiones más difíciles. Otra recomendación importante es la conformación de equipos de evaluación de dos personas para la evaluación rápida (dos inspectores de obra o un inspector un ingeniero) y de tres personas (un inspector de obra, un arquitecto y un ingeniero estructural) para la evaluación detallada, según las recomendaciones del ATC-20-2. Finalmente y teniendo en cuenta que aun cuando lo anterior es deseable, dado que no es siempre factible hacerlo de manera extensa se desarrolla en este capítulo un procedimiento de apoyo con inteligencia computacional que permite respaldar los casos más difíciles que deben revisar los neófitos que participen en una evaluación masiva.

### **5.2.2 Subjetividad en las evaluaciones**

Los niveles de daño son definidos en la mayoría de los métodos de evaluación con calificaciones lingüísticas como leve, menor, moderado, medio, severo, grave o fuerte; conceptos que pueden tener una notable variación en su significado según la persona y experiencia de quien los utilice. Por esta razón se puede decir que no existe un límite claramente definido entre estas valoraciones. Lo que para una persona es moderado para otra puede ser severo, así como puede estar en medio de los dos conceptos para otra, por esto es necesario intentar definir los criterios y volver la evaluación lo más cuantitativa posible determinando porcentaje de elementos afectados, tamaño y tipo de grietas, etc.

### **5.2.3 Problemas en la ubicación de los edificios**

Un problema muy común es la falta de estandarización de las direcciones, lo que genera no sólo que se repitan en muchas ocasiones las visitas, sino que también se dificulte su correlación con las fichas catastrales o su ubicación sobre un mapa.

Después del sismo del 1999 en Colombia, durante las evaluaciones hechas con los formatos desarrollados para la ciudad de Pereira, la información fue recolectada a nivel de edificios y no se contaba con una evaluación del número de familias o viviendas afectadas. Por esta razón fue necesario hacer estimaciones con base en el número de pisos del edificio suponiendo un número de apartamentos por piso de acuerdo al estrato socio económico, pues tampoco existía información de cuantos apartamentos tenía cada uno de los edificios.

Para efectos de los subsidios, era necesario tener acceso a información de los propietarios y de la identificación de la ficha catastral, entre otros datos, por lo que fue necesario desarrollar una nueva metodología que pudiera subsanar algunos de los aspectos mencionados anteriormente; particularmente el del cubrimiento homogéneo del 100 % de los predios y la identificación de sus propietarios. Este proceso se ejecutó cinco meses después. Se recogieron todos los datos disponibles en las diferentes entidades que tuvieran información sobre daños, para homologarlos y posteriormente salir al campo a verificar con un formulario detallado en el cual se consignara la información del grado de afectación del

predio, los datos sobre el propietario, si tenía hipoteca o seguro y si había recibido ayuda de alguna entidad de crédito. Para complementar aquellos predios que no aparecían reportados en los censos anteriores, se diseñó un formulario general con el fin de cubrir el la totalidad de los predios. Así se pudo verificar si había sido afectado o no y, en caso de pertenecer a la primera categoría se procedía posteriormente a hacerle una segunda evaluación con el formulario detallado. Si durante las evaluaciones iniciales se hubieran hecho barridos completos por sectores y garantizado la estandarización de las direcciones y de los procedimientos en todos los municipios, no hubiera sido necesario realizar la evaluación con el formulario general y se hubiera procedido sólo a realizar el censo con fines del subsidio en los predios previamente identificados como afectados.

#### **5.2.4 Falta de organización y sistematización de los registros**

Mantener un registro del procedimiento de evaluación post-sísmica es una tarea de gran responsabilidad en el proceso de respuesta a las emergencias. Normalmente no se le ha dado la importancia que merece a esta parte del proceso, por lo menos previamente o al inicio de la atención de la emergencia generando grandes confusiones y retrasos en las decisiones.

Por lo anterior, es necesario registrar y documentar todas las observaciones, acciones y decisiones, consideraciones legales y manejo de dinero; esto último para efectos de futuros desembolsos. Los registros de las evaluaciones de daños son importantes también por las demandas de información por parte de las instituciones y por parte de los particulares para efectos de la recuperación post-sismo.

La sistematización mediante ordenadores es actualmente la única manera de poder manejar la información ágil y eficientemente. El volumen de datos que se genera después de un sismo severo es tal que se necesita de una red de ordenadores con un equipo de personas capacitadas en su manejo. En el sismo de 1999 en Colombia, la ciudad de Armenia no contó con este tipo de organización desde los primeros días, lo cual generó que el manejo de la información fuera en determinado momento un caos y no cumpliera las funciones de emergencia que debía.

#### **5.2.5 Falta de un plan de contingencia asociado**

La falta de un plan de contingencia local y nacional genera muchos problemas de coordinación entre las diferentes entidades y el nivel nacional y el local. Esto hace que se lleven a cabo numerosas evaluaciones y censos con diferentes objetivos y alcances y en diferentes fechas, lo que causa falta de credibilidad en la población y en algunos casos, mala voluntad para dejar entrar los evaluadores a los predios. Esta situación se ha presentado en la mayoría de los países después de un fuerte terremoto.

Es importante realizar un recorrido rápido por la ciudad antes de empezar los procesos de evaluación rápida, con el propósito de generar información

preliminar sobre la extensión del daño, la dimensión de las áreas más afectas, identificar los edificios que obviamente son inseguros para iniciar los procedimientos de emergencia. De esta manera se puede determinar la necesidad de la declaración de desastre y la solicitud de ayuda externa. Estos recorridos pueden ser realizados por bomberos, policías y personal de las entidades de socorro.

La organización y planes previos para la realización de las evaluaciones son fundamentales. En varios casos después de un sismo severo las visitas a los edificios no han sido bien planificadas y no han cubierto el 100% de las viviendas cuando se visita cada sector de la ciudad afectada. Las visitas se han programado de acuerdo con las solicitudes que la población hace en forma telefónica o personalmente. Esto ha generado la necesidad de enviar comisiones muchas veces al mismo sector de la ciudad.

Otro problema es la falta de unidad de criterios en la gestión de la información, en ocasiones se han utilizado formularios y procedimientos diferentes. Esto impide contar con información homogénea para toda la zona afectada que facilite la formulación del plan de reconstrucción y la estimación de los recursos necesarios para tal fin. Por otra parte, la falta de un conocimiento sobre los procedimientos legales, la definición de los procesos de toma de decisiones sobre evacuación, demolición o retiro de objetos de los edificios inseguros, puede generar que se evacuen o demuelan edificios sin necesidad, se pierdan vidas innecesariamente, y que se incurra en errores que pueden tener grandes implicaciones legales.

Finalmente, aparte de la experiencia del evaluador y la forma como se gestiona la información sobre el estado del edificio es necesario comunicar en forma apropiada las recomendaciones a los propietarios. De esto depende que dichas recomendaciones sean acatadas o no, o que se soliciten nuevas evaluaciones. Ha sido común en casi todos los terremotos fuertes que hayan muchas dudas de la población acerca de las sugerencias de los evaluadores y por lo tanto se solicitan nuevas evaluaciones por parte de otros profesionales.

### **5.3 Modelo computacional para la evaluación de daños**

A pesar de las ventajas de las metodologías y de los manuales para la evaluación de daños en edificios, comentadas en el Capítulo 2, los errores como la demolición o evacuación innecesaria de edificios siguen cometándose debido a la falta de experiencia y la idoneidad de los evaluadores. Esto representa serios problemas, especialmente en el caso de edificios esenciales. Además es posible que los daños que pueden poner en riesgo la estabilidad estructural sean ignorados, poniendo en peligro la vida de los ocupantes. Ésta es la razón por la que se propone en este capítulo un sistema experto neuro-difuso para apoyar la tarea de evaluación de daños en la fase de la respuesta a la emergencia en caso de un sismo fuerte (Carreño *et al.* 2003).

Esta sección describe el uso de la inteligencia computacional (o *soft computing*) como ayuda a la evaluación de la habitabilidad de un edificio. El sistema

propuesto se basa en redes neuronales artificiales y conjuntos difusos. En el Apéndice C se presenta una introducción a estas herramientas. Este sistema aún no ha sido probado en una emergencia sísmica real, pero recientemente ha sido adoptado oficialmente por las administraciones de las ciudades de Bogotá (AIS 2004) y Manizales (AIS 2003), en Colombia, para hacer frente a sismos futuros y complementar su calibración. Una vez que la calibración se complete, el sistema estará listo para ser utilizado en casos reales. El modelo utiliza la lógica difusa, debido a que la información disponible, en estos casos, es subjetiva y esta basada en las calificaciones lingüísticas de los daños; además puede ser información incompleta. Estas características hacen que la utilización de la inteligencia computacional pueda ser útil para la evaluación de los daños por parte de personas sin experiencia (Carreño 2004).

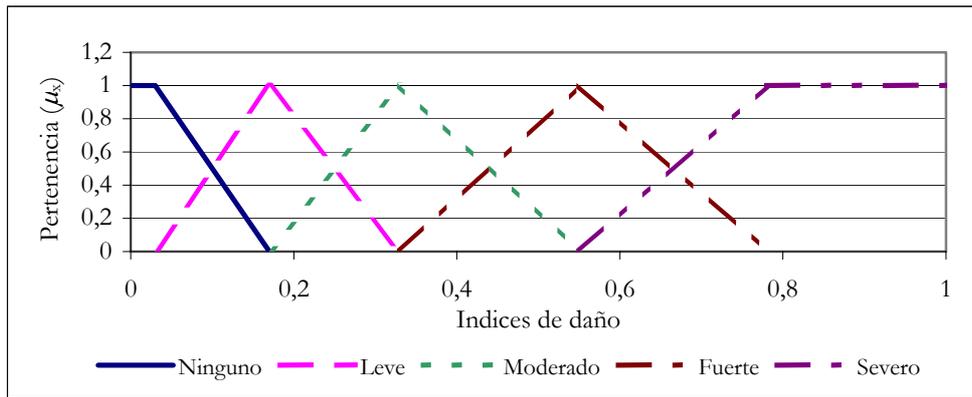
Se tienen en cuenta cuatro grupos de elementos en la evaluación de un edificio: elementos estructurales, elementos no estructurales, condiciones del suelo y condiciones preexistentes. Los tres primeros indican el estado del edificio que puede comprometer la vida de los ocupantes (Carreño *et al.* 2006b). Las condiciones preexistentes se relacionan con la calidad de los materiales de construcción, las irregularidades horizontales y verticales del edificio, y con la configuración estructural; estas características son útiles para estudiar la reparabilidad del edificio (Carreño *et al.* 2004a).

El modelo propuesto utiliza una red neuronal de tres capas. En la capa de entrada las neuronas están agrupadas en cuatro grupos identificados como, elementos estructurales (ES), elementos no estructurales (NE), condiciones de suelo (CS) y condiciones preexistentes (CP). Cada grupo contribuye con información a una neurona en la capa intermedia, en ésta sólo hay cuatro neuronas correspondientes a los cuatro grupos. El número de neuronas de entrada o variables en el modelo no es constante. Este número varía de acuerdo con el sistema estructural del edificio que se evalúa y la importancia que se le da a cada grupo de variables. En algunos casos no es necesario evaluar las condiciones del suelo o las condiciones preexistentes si los daños en los demás elementos son mayores (Carreño *et al.* 2004c). La Tabla 5.1 presenta los elementos estructurales o variables que son considerados dependiendo del sistema estructural.

**Tabla 5.1. Elementos estructurales de acuerdo con el sistema estructural**

Sistema estructural	Elementos estructurales
Pórticos en hormigón armado o (con) muros de cortante	Columnas/muros, vigas, nudos y losas
Pórticos en acero o madera	Columnas, vigas, conexiones y losas
Mampostería no reforzada/reforzada/confinada	Muros de carga y losas
Muros de tapia o bahareque	Muros de carga y losas

Se asigna una calificación, dependiendo del daño observado utilizando cinco posibles niveles de daño: ninguno (N), leve (L), moderado (M), fuerte (F) y severo (S). La Figura 5.1 ilustra las funciones de pertenencia utilizadas por el modelo para estas calificaciones.



**Figura 5.1. Funciones de pertenencia para las calificaciones lingüísticas**

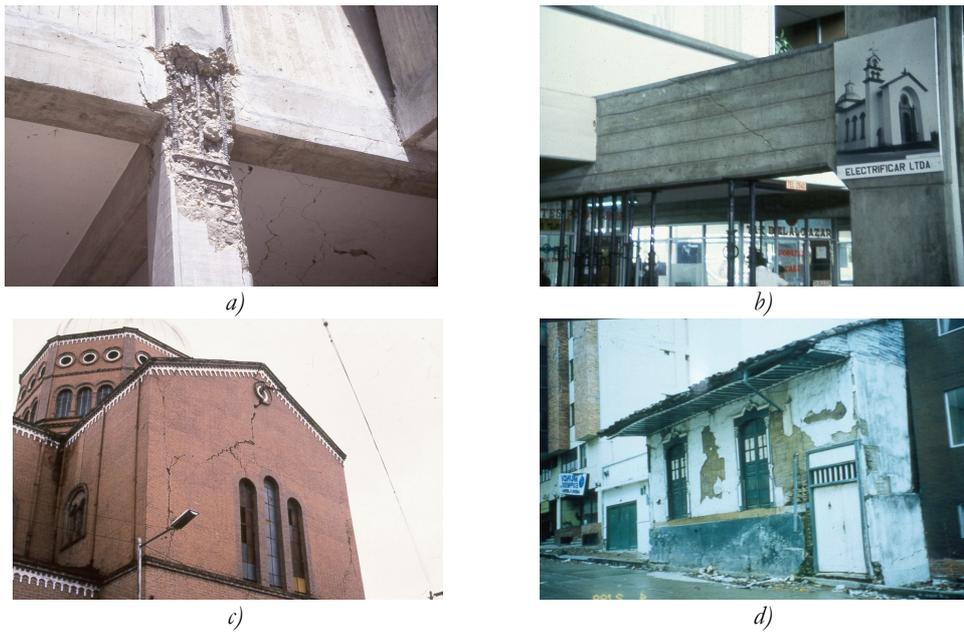
El daño en elementos no estructurales no afecta la estabilidad de los edificios, pero puede poner en peligro la seguridad de los ocupantes. Para la evaluación los elementos no estructurales son clasificados en dos grupos: los elementos cuya evaluación es obligatoria y los de evaluación opcional, esta clasificación se presenta en la Tabla 5.2.

**Tabla 5.2. Elementos no estructurales**

Elementos de evaluación obligatoria	Muros divisorios
	Fachada
	Escaleras
Elementos de evaluación opcional	Cielorrasos
	Instalaciones
	Cubierta
	Tanques elevados

Las variables de condiciones del suelo y preexistentes son valoradas de acuerdo con su estado en el momento de la evaluación, para su calificación se utilizan las calificaciones lingüísticas de: muy buenas (MB), media o pobre (M) y muy mala (MM). En las condiciones del suelo se tiene en cuenta todo lo que puede afectar la estabilidad del edificio, como los deslizamientos y los asentamientos. Las condiciones preexistentes incluyen aspectos que pueden hacer al edificio más vulnerable ante un sismo.

Para aclarar la clasificación de los daños la Figura 5.2 ilustra algunos ejemplos de daños en elementos estructurales; la Figura 5.3 presenta algunos daños en elementos no estructurales; la Figura 5.4 da dos ejemplos en los que las condiciones del suelo ponen en peligro la estabilidad de un edificio; y la Figura 5.5 presenta cuatro ejemplos de malas condiciones preexistentes.



**Figura 5.2. Daño en elementos estructurales: a) Daño severo en un nudo de hormigón armado; b) Daño moderado en una viga de hormigón armado; c) Daño fuerte en un muro de mampostería; d) Daño fuerte en un muro de bahareque**



**Figura 5.3. Daño en elementos no estructurales: a) Daño severo en muros divisorios, b) Daño fuerte en escaleras**



**Figura 5.4. Condiciones del suelo: a) Licuación del suelo; b) Deslizamientos del suelo**



**Figura 5.5. Condiciones preexistentes: a) Mala calidad en la construcción; b) Irregularidades verticales, piso blando; c) Irregularidades en planta; d) Mala configuración estructural: algunos elementos están fuera de los ejes principales**

En la capa intermedia, se obtiene un índice por cada grupo de variables. Teniendo en cuenta los cuatro índices disponibles es posible definir, en la capa de salida, el daño en el edificio utilizando reglas lógicas difusas con la evaluación de los elementos estructurales y no estructurales. Luego se obtiene la habitabilidad del edificio teniendo en cuenta además las condiciones del suelo. Finalmente, el sistema define un nivel de reparabilidad del edificio teniendo en cuenta también las condiciones preexistentes del edificio. Como resultado se obtiene por ejemplo: “habitabile después de reparaciones menores” o “acceso restringido: habitabile después de reparaciones” o “inseguro: habitabile después de refuerzo estructural” o “peligroso: posible demolición o rehabilitación total del edificio”. La Figura 5.6 muestra la estructura de la red neuronal usada en el modelo propuesto.

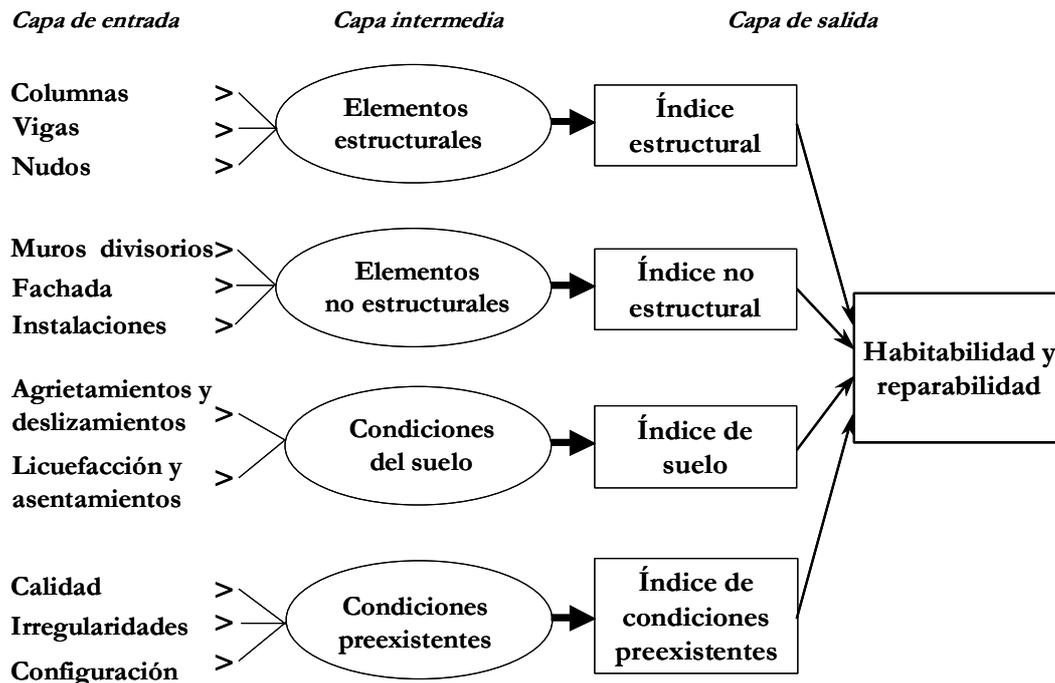


Figura 5.6. Estructura de la red neuronal

### 5.3.1 Descripción de la red neuronal artificial

*Capa de entrada.* Los conjuntos difusos para cada variable  $i$  (columnas, muros o vigas), en la capa de entrada, son obtenidos de las calificaciones lingüísticas del daño dadas por los evaluadores  $D_j$  en cada nivel  $j$  y su extensión  $w_j$ . La extensión del daño (porcentaje de elementos de un tipo en cada nivel de daño) varía de 0 a 100 y es normalizado,

$$w_j = \frac{D_j}{\sum_N D_j}, \quad \sum_N w_j = 1 \tag{5.1}$$

La calificación acumulada del daño en cada variable  $D_i$  es obtenida con la unión de los conjuntos difusos escalados, teniendo en cuenta las funciones de pertenencia del daño  $\mu_{D_j}(D_j)$  y su extensión asignada por el evaluador. La unión entre conjuntos difusos está definida por la máxima dependencia

$$D_i = (D_N \cup D_L \cup D_M \cup D_H \cup D_S) \tag{5.2}$$

$$\mu_{D_i}(D) = \max(w_{N,i} \times \mu_{D_N}(D_{N,i}), \dots, w_{S,i} \times \mu_{D_S}(D_{S,i})) \tag{5.3}$$

Por medio de la defusificación, usando el método del centroide de área (COA), se obtiene un índice de calificación  $C_i$  para cada variable de cada grupo de neuronas

$$C_i = \left[ \max(w_{N,i} \times \mu_{D_N}(D_{N,i}), \dots, w_{S,i} \times \mu_{D_S}(D_{S,i})) \right]_{\text{centroid}} \quad (5.4)$$

Cada variable tiene predefinidas las funciones de pertenencia básicas de los conjuntos difusos correspondientes a los cinco niveles de daño posibles. Las calificaciones lingüísticas cambian en cada caso como se mencionó antes.

*Capa intermedia.* En esta capa se tienen cuatro neuronas, que corresponden a cada uno de los grupos de variables: elementos estructurales, elementos no estructurales, condiciones del suelo y condiciones preexistentes. En este modelo neuronal las neuronas de entrada no influyen sobre todas las neuronas intermedias, sólo lo hacen sobre la neurona que corresponde al grupo de variables al que pertenecen. Las variables de entrada de estas cuatro neuronas son las calificaciones  $C_i$  obtenidas de cada grupo de neuronas y su respectivo peso  $W_p$ , o grado de importancia predefinido. Con estas calificaciones y pesos de cada variable  $i$  se obtiene un índice global para cada grupo  $k$ , por medio de la unión y desfusificación de los conjuntos difusos escalados. Esto se logra con las funciones de pertenencia  $\mu_{C_{ki}}(C_{ki})$  y los pesos  $W_{ki}$

$$\mu_{CEE}(C) = \max(W_{EE1} * \mu_{C_{EE1}}(C_{EE1}), \dots, W_{EEi} * \mu_{C_{EEi}}(C_{EEi})) \quad (5.5)$$

$$I_{EE} = \left[ \max(W_{EE1} * \mu_{C_{EE1}}(C_{EE1}), \dots, W_{EEi} * \mu_{C_{EEi}}(C_{EEi})) \right]_{\text{centroide}} \quad (5.6)$$

Los pesos  $W_{ki}$  han sido predefinidos con la ayuda de expertos en ingeniería estructural. Para los elementos estructurales estos dependen del sistema estructural que se analiza y se indican en Tabla 5.3. Los pesos aplicados para los elementos no estructurales se presentan en la Tabla 5.4. La Tabla 5.5 indica los pesos correspondientes a las condiciones del suelo, y la Tabla 5.6 los utilizados para las condiciones preexistentes.

**Tabla 5.3. Pesos para los elementos estructurales según el tipo de edificio**

Sistema estructural	Vigas	Columnas	Nudos o conexiones	Muros	Muros de carga	Losas
Pórticos en hormigón armado	19	46	25	-	-	10
Pórticos en hormigón armado con muros estructurales	15	-	20	57	-	8
Mampostería confinada	-	-	-	-	73	27
Mampostería reforzada					73	27
Mampostería no reforzada	-	-	-	-	70	30
Muros en bahareque	-	-	-	-	77	23
Pórticos en acero	18	39	35	-	-	8
Pórticos en madera	23	45	21	-	-	11

**Tabla 5.4. Pesos para elementos no estructurales**

Elemento	Peso
Muros divisorios	35
Fachada	35
Escaleras	30

**Tabla 5.5. Pesos para las condiciones del suelo**

Elemento	Peso
Grietas en el suelo y deslizamientos	50
Licuaación, asentamientos y subsidencias	50

**Tabla 5.6. Pesos para las condiciones preexistentes del edificio**

Elemento	Peso
Calidad de los materiales	25
Irregularidades en planta	25
Irregularidades en altura	25
Configuración estructural	25

Las variables de condiciones del suelo y condiciones preexistentes pueden ser tomadas o no en cuenta dentro de la evaluación, dependiendo de su importancia en los resultados. Esto hace que en algunos casos la habitabilidad y reparabilidad puedan ser obtenidas únicamente a partir del daño estructural y no estructural.

*Capa de salida.* En esta capa se obtienen índices globales para los elementos estructurales, no estructurales, las condiciones del suelo y las condiciones preexistentes, que corresponden a una calificación lingüística final en cada caso. El nivel de daño es obtenido de acuerdo con la proximidad del valor del índice obtenido a la función de daño de referencia. Los niveles para los elementos estructurales y no estructurales son definidos igualmente como: ninguno, leve, moderado fuerte y severo. También para las condiciones preexistentes y del suelo se definen como: muy buenas, buenas, regulares, malas y muy malas. En esta capa tiene lugar el proceso de entrenamiento de la red neuronal. Los índices que identifican cada nivel cualitativo (centro del cluster) cambian de acuerdo con los índices calculados en cada evaluación que se hace con la red y con una tasa de aprendizaje. Esta última determina la velocidad de entrenamiento de la red. El procedimiento de aprendizaje es descrito en el siguiente apartado. Después de hallar las calificaciones finales utilizando bases de reglas lógicas difusas se determina el daño global en el edificio, su habitabilidad y su reparabilidad. En secciones posteriores se explica éste procedimiento. La Figura 5.7 presenta un diagrama más completo de la red neuronal utilizada.

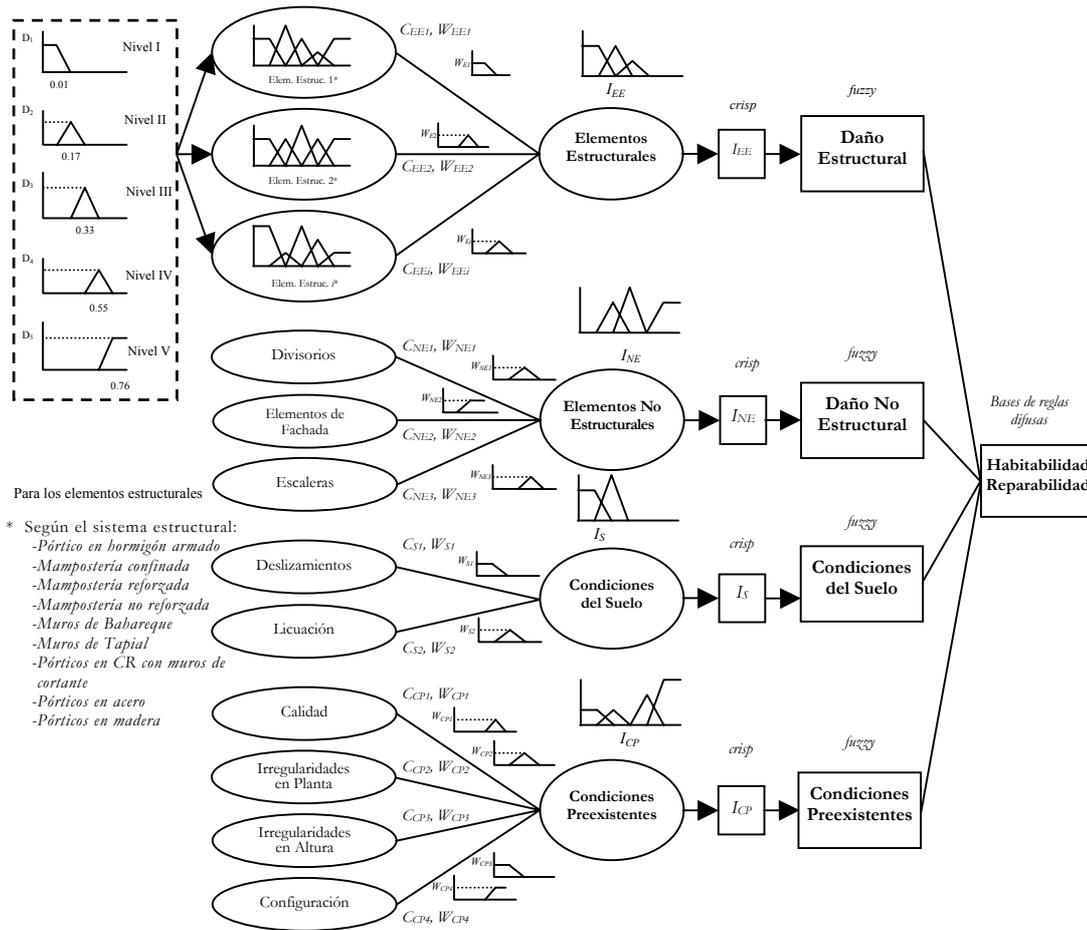


Figura 5.7. Estructura de la red neuronal utilizada

### 5.3.2 Aprendizaje de la red neuronal

La red neuronal es calibrada en la capa de salida cuando se definen las funciones de daño en relación con la matriz de índices de daño. Para dar inicio a este proceso se incluyeron una serie de valores arbitrarios en la red; es decir se definió un valor inicial para cada nivel de daño. Para la determinación de estos índices iniciales se consideraron los propuestos en el ATC-13 (ATC 1985), los de Park, Ang y Wen (1984), las curvas de fragilidad usadas en el HAZUS (FEMA 1999) y los índices utilizados por Sánchez-Silva y García (2001). Estos corresponden a los centros de área de cada función de pertenencia en cada nivel de daño. La Tabla 5.7 presenta una comparación entre los índices aquí propuestos, los de Park, Ang y Wen y los de Sánchez-Silva y García. Se incluyen en el caso de los índices de Park, Ang y Wen los rangos en que varían y su valor medio.

Los índices iniciales para la matriz de daño se escogieron con base en los índices de Park, Ang y Wen, dado que estos han sido calibrados con diferentes estudios y daños de terremotos reales y son los que cuentan con mayor aceptación. Sus autores consideran la existencia de colapso desde 0,8; mientras que Stone y Taylor (1993) indican que el colapso se espera a partir de 0,77. Teniendo en cuenta

este planteamiento se acordó utilizar 0,76 como valor para el índice del nivel de destrucción o colapso. En la elección de los índices de los niveles severo y moderado se ha intentado ser conservativos, dadas las controversias que se han presentado.

**Tabla 5.7. Tabla comparativa de los índices de daño**

Nivel de daño	Park, Ang y Wen	Sánchez y García	Propuestos
Muy leve	< 0.1 0.07	0.10	0.07
Leve	0.10 – 0.25 0.175	0.20	0.17
Moderado	0.25 – 0.40 0.325	0.35	0.33
Severo	0.40 – 0.80 0.6	0.60	0.55
Destrucción	>0.80 0.8	0.90	0.76

La calibración se hace por nivel de daño y sólo para los índices correspondientes a los grupos de variables considerados en cada evaluación que calibra el sistema. En la capa de salida el aprendizaje utiliza el algoritmo de Kohonen

$$I_{kj}(t+1) = I_{kj}(t) + \alpha(t)[I_{kj}(t) - I_{kj}] \quad (5.7)$$

donde  $I_{kj}$  es el valor del índice de un grupo de variables  $k$  que se recalcula considerando una tasa de aprendizaje  $\alpha$  y la diferencia entre el índice resultante de la presente evaluación y el índice previo en cada nivel de daño  $j$ . La tasa de aprendizaje  $\alpha$  está definida por

$$\alpha(t) = 0.1 * \text{Exp}(-0.1 * t) \quad (5.8)$$

donde  $t$  es el número de veces que el índice que se calibra ha sido usado. Para el entrenamiento de la red se utilizaron las evaluaciones hechas después del terremoto del Quindío en Colombia en 1999. En el entrenamiento no se tuvieron en cuenta sistemas estructurales como pórticos en madera y acero; esto debido a la ausencia de estos sistemas estructurales en la zona afectada por el sismo. Se utilizaron pocos edificios con pórticos en hormigón armado con muros de cortante; esto debido al reducido número de evaluaciones de estructuras de este tipo. La Figura 5.8 muestra un resumen del proceso de cálculo del sistema.

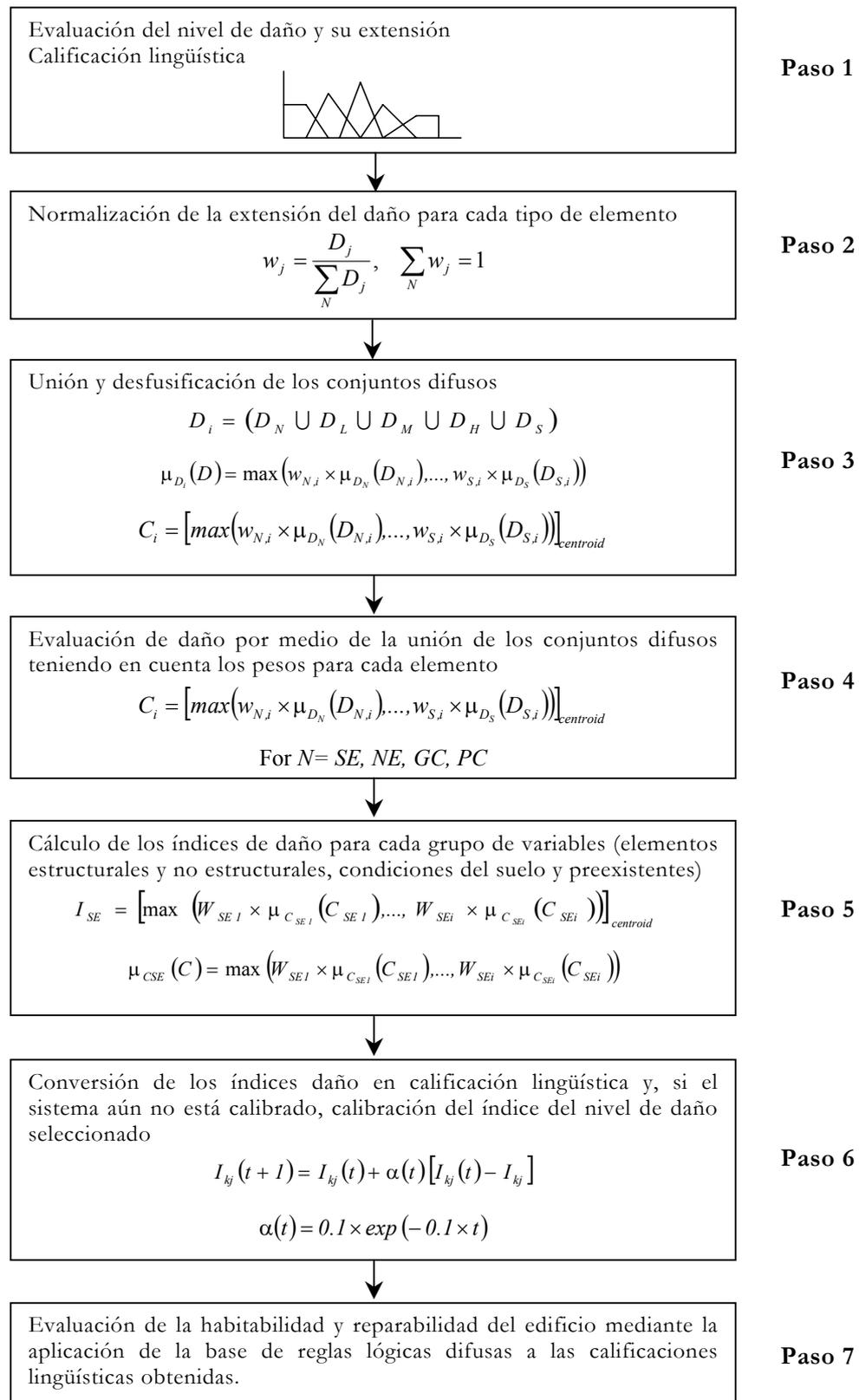


Figura 5.8. Diagrama de flujo del proceso de evaluación

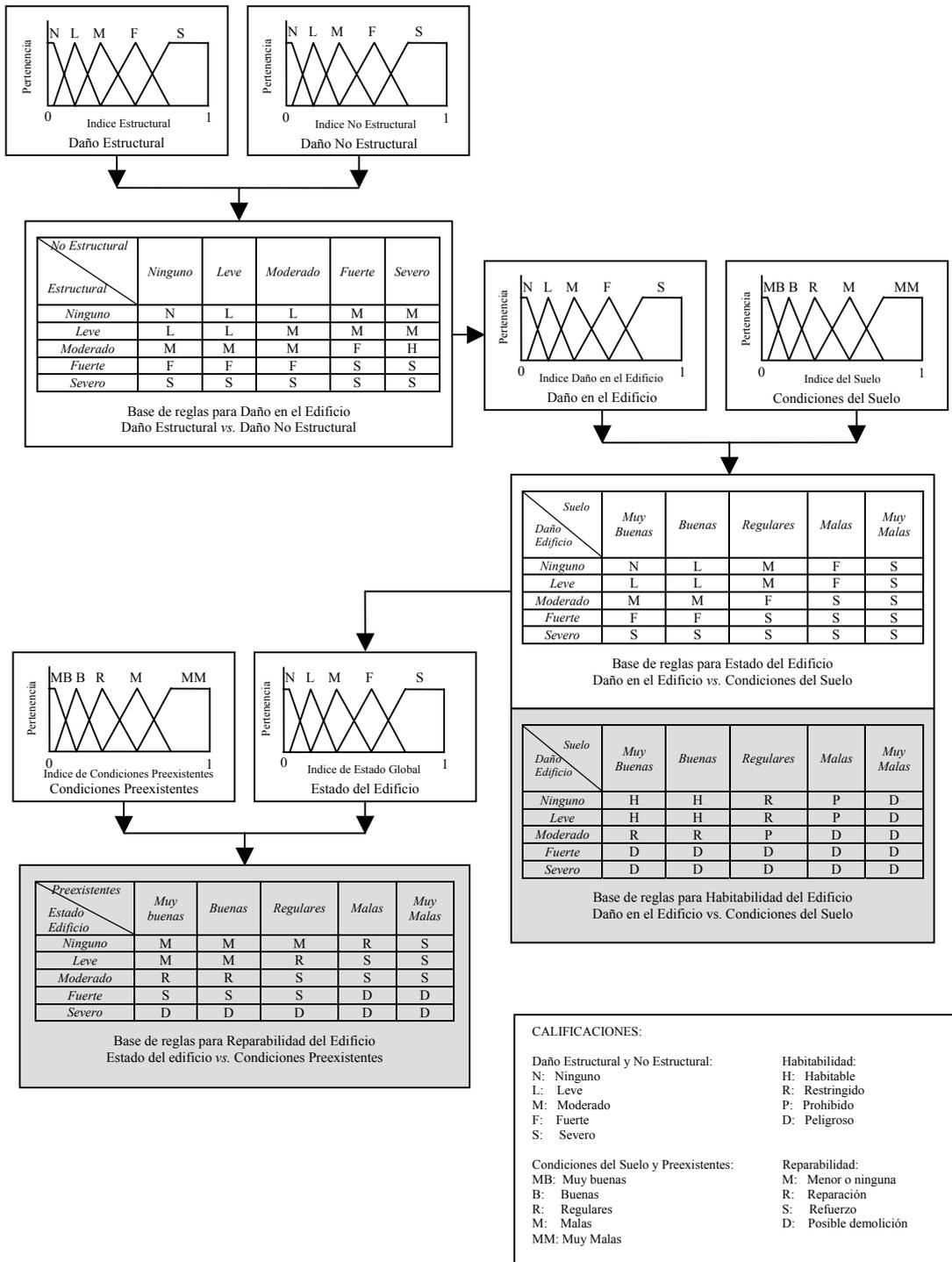


Figura 5.9. Determinación de la habitabilidad y reparabilidad de un edificio

### 5.3.3 Base de reglas lógicas difusas

La habitabilidad y reparabilidad del edificio se evalúan basándose en el nivel de daño de los elementos estructurales y no estructurales, el estado del suelo y las condiciones preexistentes. La Figura 5.9 ilustra el uso de reglas difusas para estas estimaciones. El nivel de daño global del edificio es deducido a partir de los resultados de daño estructural y no estructural; y tiene cinco posibles calificaciones: ninguno, leve, moderado, fuerte y severo. El estado global del edificio y la habitabilidad son estimados teniendo en cuenta el daño global del edificio y las condiciones del suelo en dos diferentes bases de reglas difusas. La habitabilidad puede ser clasificada en cuatro niveles: habitable, uso restringido, prohibida la entrada y peligroso. La reparabilidad depende de otra base de reglas lógicas que contempla las condiciones preexistentes del edificio. Aquí se contribuye a definir la factibilidad técnica y económica de una reparación. La reparabilidad tiene cuatro posibles niveles: ninguna o reparaciones menores, reparación, refuerzo, y posible demolición. De esta forma para cada edificio que se evalúa se obtienen las dos decisiones críticas que son básicas en la fase de respuesta a la emergencia, después de ocurrido un sismo fuerte (Carreño *et al.* 2004b/d).

## 5.4 Programa de ordenador para uso en el campo

El modelo propuesto se encuentra implementado en una aplicación para ordenador amigable al usuario desarrollada en Visual Basic llamada “Evaluación de Daño en Edificios, EDE”, este programa ha sido adoptado para su uso oficial en caso de terremoto en las ciudades de Bogotá y Manizales en Colombia. En la Figura 5.10 se observa la presentación del programa para la ciudad de Manizales.



Figura 5.10. Presentación del programa EDE

Este programa busca apoyar el evaluador inexperto guiándolo durante la evaluación por medio de descripciones y fotografías de los diferentes niveles de daño para cada elemento que se evalúa. El evaluador debe ingresar la información a partir de una inspección visual del edificio. La Figura 5.11 muestra un ejemplo de cómo se califica el daño en los elementos estructurales y las ayudas, descripciones y fotos que da el programa para identificar los diferentes niveles de daño.



**Figura 5.11. Calificación de un elemento estructural: a) Extensión de cada nivel de daño; b) Descripciones y fotografías que ayudan a identificar cada nivel**

La Figura 5.12 presenta un ejemplo de evaluación del nivel de daño en elementos no estructurales, en este caso los muros divisorios, y las descripciones y fotografías que da el programa al evaluador inexperto.



**Figura 5.12. Calificación de un elemento no estructural: a) Calificación del nivel de daño; b) Descripciones y fotografías que ayudan a identificar cada nivel**

En la Figura 5.13 se observa la evaluación de las condiciones del suelo, en este caso de las fallas en taludes o movimientos de masa, así como la descripción y fotografías de apoyo al evaluador.



Figura 5.13. *a)* Calificación de las condiciones del suelo; *b)* Descripción y fotografías que ayudan a identificar posibles problemas con las condiciones del suelo

La Figura 5.14 presenta el ejemplo de evaluación de una variable de las condiciones preexistentes, la configuración estructural, así como las descripciones y fotografías de ayuda al usuario.

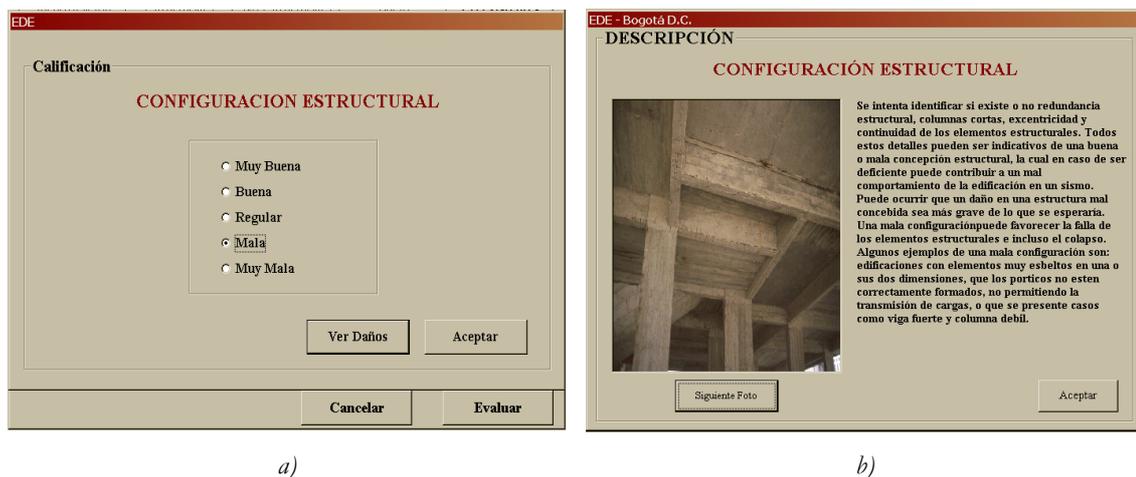
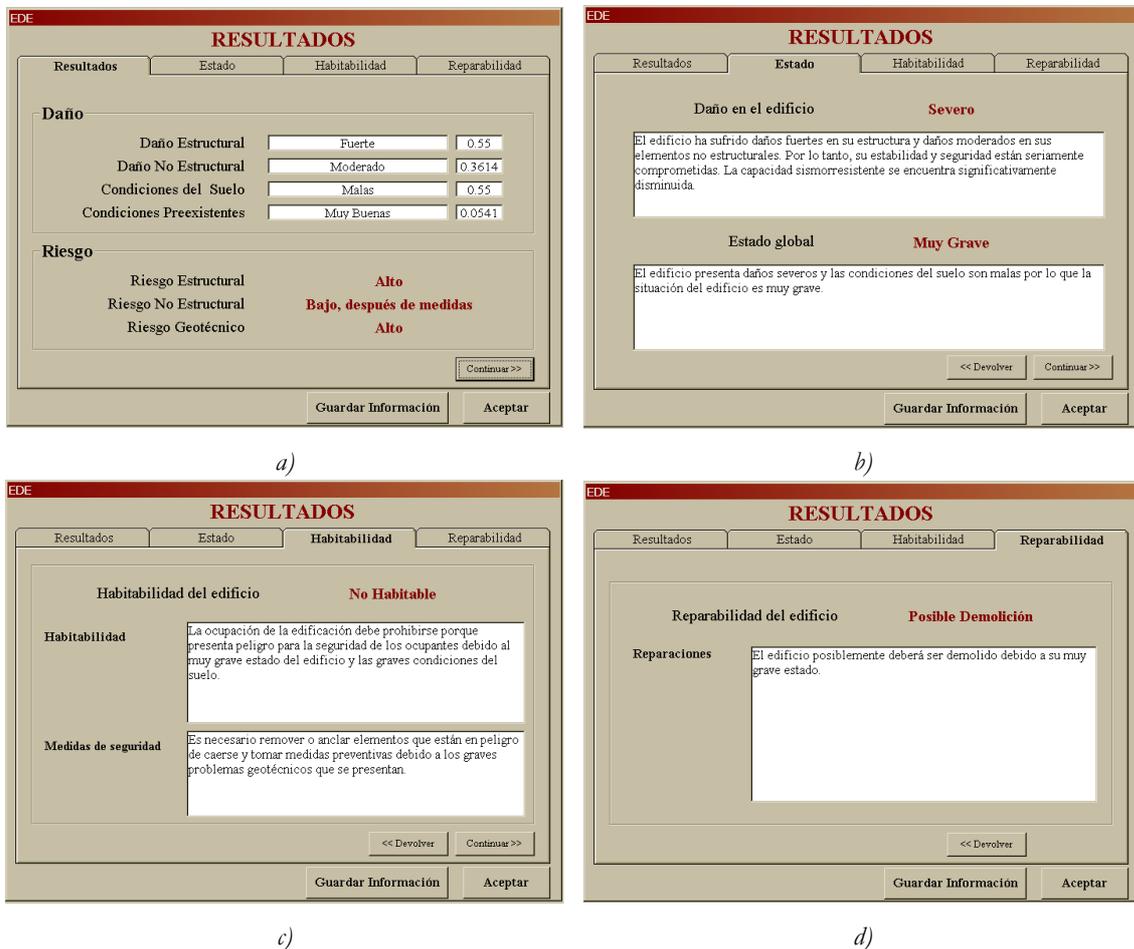


Figura 5.14. *a)* Calificación de las condiciones preexistentes; *b)* Descripción y fotografías que ayudan a identificar posibles problemas con las condiciones preexistentes

A partir de esta información el programa hace el análisis del estado del edificio y evalúa su habitabilidad y reparabilidad. En la Figura 5.15 se observa la presentación de los resultados obtenidos, en los cuales además de los resultados numéricos y calificaciones lingüísticas correspondientes se dan algunas descripciones. Los resultados son organizados en cuatro secciones, en la primera se dan los resultados numéricos del daño o condición, las calificaciones lingüísticas correspondientes y el riesgo asociado a estos. La segunda sección, llamada de Estado, presenta las calificaciones del daño en el edificio y su estado global, y una breve descripción de cada una. La tercera sección, Habitabilidad, da una decisión sobre si el edificio evaluado es habitable o no, una descripción y se pueden sugerir algunas medidas de seguridad. Finalmente, la cuarta sección, Reparabilidad, califica la reparabilidad del edificio y da una breve descripción.



**Figura 5.15. Presentación de resultados. a) Resultados numéricos y sus calificaciones lingüísticas y riesgo asociado; b) Estado del edificio; c) Habitabilidad; d) Reparabilidad**

## **5.5 Ejemplos de evaluación utilizando el modelo propuesto**

En esta sección se presentan tres ejemplos que ilustran la aplicación del modelo que se propone para la evaluación de daño y habitabilidad de edificios después de un sismo. Los edificios que se presentan son casos reales de edificios dañados durante un terremoto de enero de 1999 en Colombia ocurrido en la zona del Eje Cafetero. Los ejemplos corresponden a tres topologías diferentes de edificios. En cada caso se presentan las características más importantes del edificio, así como la extensión y nivel de daño en los diferentes elementos estructurales y no estructurales. Se presentan también algunas fotos de los daños que se observaron en cada caso. Los resultados obtenidos para cada ejemplo son presentados en cuatro secciones diferentes. La sección Daño presenta los resultados numéricos de los índices de daño o condición y las calificaciones lingüísticas correspondientes a cada grupo de elementos. La sección Riesgo califica el nivel de riesgo para la seguridad de los ocupantes debido a los daños de elementos estructurales, no estructurales y a las condiciones del suelo, también evalúa el estado global del edificio. La sección de Habitabilidad toma una decisión sobre si el edificio es habitable o no, además sugiere algunas medidas de seguridad que deben ser tomadas. Finalmente la sección sobre Reparabilidad sugiere algunas medidas que deben ser adoptadas, pero sin una descripción detallada, para esto se requiere la intervención de un profesional experto en estructuras. Todos los resultados numéricos, calificaciones lingüísticas, comentarios y descripciones son dadas por el programa de ordenador en el que se implementó el modelo. Al final de cada una de las tablas de resultados se incluye un diagrama de flujo, el cual describe la aplicación de las reglas lógicas difusas para obtener el estado global del edificio, su habitabilidad y reparabilidad.

El ejemplo 1 corresponde a un edificio de pórticos en hormigón armado de 5 niveles, ubicado en una esquina, que no presenta daños mayores, pero con una mala configuración estructural. Su resultado es de habitable, pero necesita reparación.

El ejemplo 2 es la evaluación de un edificio de mampostería no reforzada de 3 niveles, que presenta colapso parcial y además muy malas condiciones del suelo y preexistentes. Como resultado se obtiene que su ocupación es peligrosa, y el edificio posible demolición.

El ejemplo 3 corresponde a un edificio de mampostería confinada de 3 niveles. Este edificio sufrió bastantes daños, sobre todo en elementos no estructurales. Las condiciones del suelo no se consideran relevantes para esta evaluación, ya que son muy buenas. Como resultado su ocupación debe ser prohibida y el edificio necesita ser reforzado.

**Ejemplo 1**

<b>Información general</b>	
<i>Inspección del edificio:</i>	Exterior e interior
<i>Año de construcción:</i>	1950 a 1984
<i>Número de niveles sobre el nivel del suelo:</i>	5
<i>Sótanos:</i>	0
<i>Sistema estructural:</i>	Pórtico en hormigón armado
<i>Tipo de entrepiso:</i>	Losa maciza
<i>Localización en la manzana:</i>	Esquina



<b>Condiciones generales del edificio</b>	
<i>Colapso:</i>	No
<i>Edificio inclinado o uno de sus niveles:</i>	No
<i>Falla o asentamiento de la cimentación :</i>	No
<i>Nivel con mayor daño:</i>	3

<b>Daño en elementos estructurales</b>						
<i>Vigas:</i>	Ninguno: 70	Leve: 30	Moderado: 0	Fuerte: 0	Severo: 0	
<i>Columnas:</i>	Ninguno: 45	Leve: 50	Moderado: 5	Fuerte: 0	Severo: 0	
<i>Nudos:</i>	Ninguno: 80	Leve: 20	Moderado: 0	Fuerte: 0	Severo: 0	
<i>Entrepiso:</i>	Ninguno: 40	Leve: 60	Moderado: 0	Fuerte: 0	Severo: 0	



Columna con daño moderado



Viga y losa con daño leve

<b>Daño en elementos no estructurales</b>					
<i>Particiones:</i>	Moderado	<i>Fachada:</i>	Leve	<i>Escalera:</i>	Ninguno



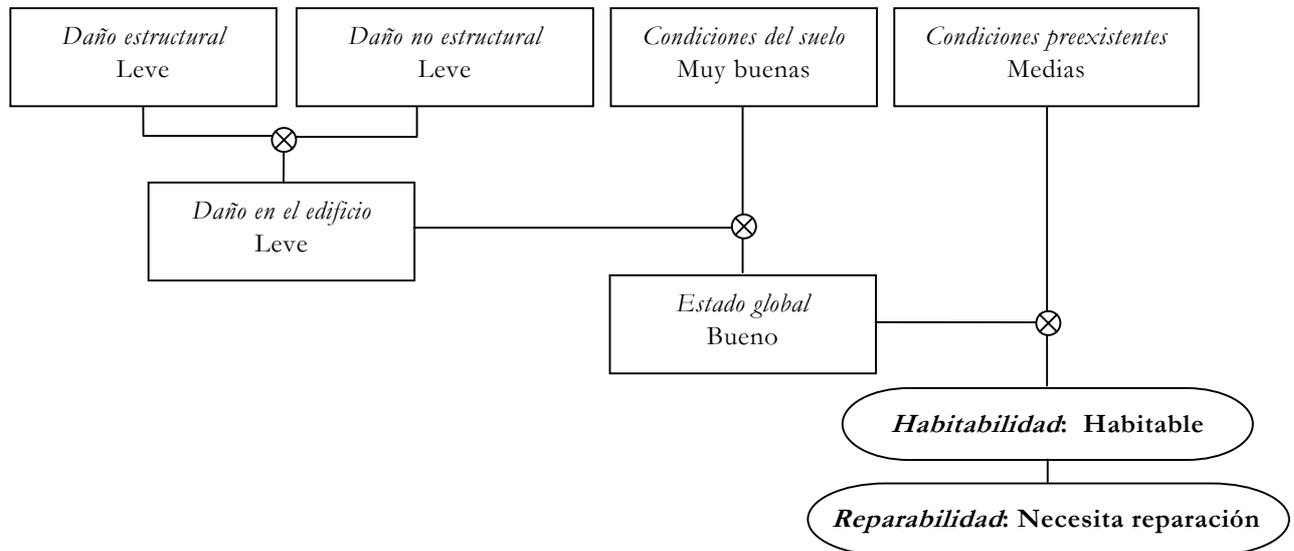
Particiones con daño moderado

<b>Condiciones del suelo</b>	
<i>Grietas y deslizamientos de tierra:</i>	Ninguno (Muy buenas)
<i>Asentamientos o licuación del suelo:</i>	Ninguno (Muy buenas)

<b>Condiciones preexistentes</b>	
<i>Calidad de los materiales de construcción:</i>	Buena
<i>Irregularidades en planta:</i>	Media
<i>Irregularidades de altura:</i>	Media
<i>Configuración estructural:</i>	Pobre (Mala)

**Resultados ejemplo 1**

<b>Daño</b>	
<i>Daño estructural:</i>	Leve 0.1519
<i>Daño no estructural:</i>	Leve 0.2395
<i>Condiciones del suelo:</i>	Muy buenas 0.0541
<i>Condiciones preexistentes:</i>	Regulares 0.33
<b>Riesgo</b>	
<i>Riesgo estructural:</i>	Bajo
<i>Riesgo no estructural:</i>	Bajo
<i>Riesgo geotécnico:</i>	Bajo
<i>Daño en el edificio:</i>	Leve El edificio tiene daño leve estructural y no estructural. La capacidad sismorresistente no ha sido disminuida.
<i>Estado global:</i>	Bueno El estado del edificio y las condiciones del suelo son buenos.
<b>Habitabilidad</b>	
	Habitable El edificio puede ser habitado con normalidad
<i>Medidas de seguridad:</i>	No es necesario tomar medidas de seguridad en particular.
<b>Reparabilidad</b>	
	Necesita reparación El edificio necesita algunas reparaciones posiblemente debidas a daños menores y a sus condiciones preexistentes. Como el edificio fue construido entre 1950 y 1984, es posible que necesite un refuerzo estructural para adaptarlo a las formativas de construcción sismorresistente vigentes. Es recomendable hacer un estudio de vulnerabilidad sísmica.

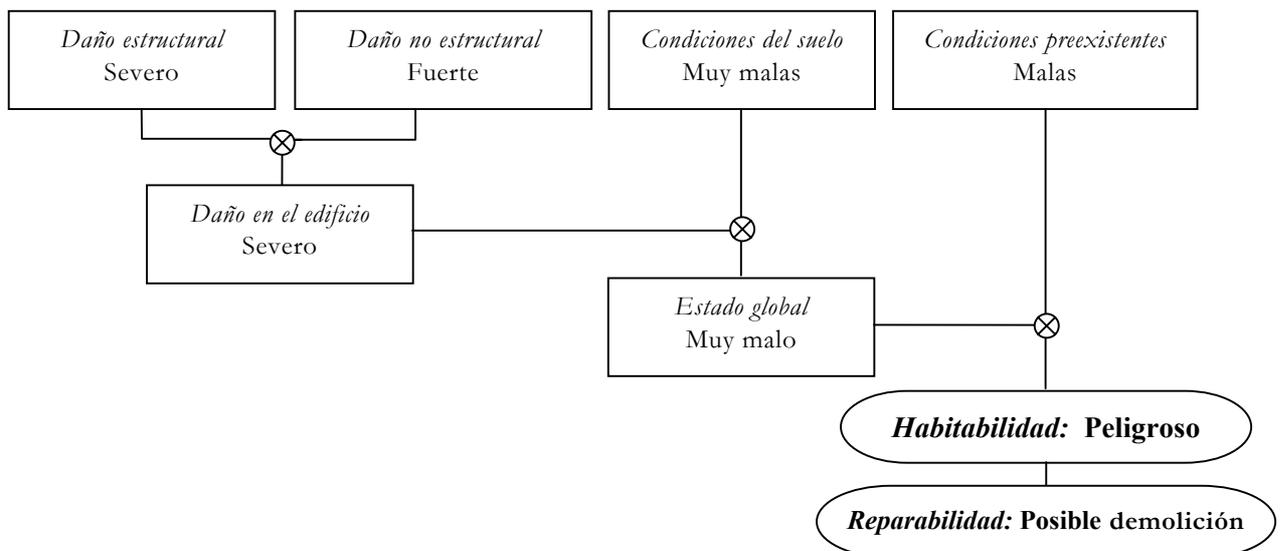


**Ejemplo 2**

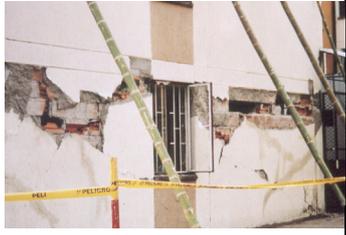
<b>Información general</b>		
<i>Inspección del edificio:</i>	Exterior e interior	
<i>Año de construcción:</i>	1950 a 1984	
<i>Número de niveles sobre el nivel del suelo:</i>	3	
<i>Sótanos:</i>	0	
<i>Sistema estructural:</i>	Mampostería no reforzada	
<i>Tipo de entrepiso:</i>	Losa maciza	
<i>Localización en la manzana:</i>	Intermedia	
<b>Condiciones generales del edificio</b>		
<i>Colapso:</i>	Parcial	
<i>Edificio inclinado o uno de sus niveles:</i>	No	
<i>Falla o asentamiento de la cimentación :</i>	No	
<i>Nivel con mayor daño:</i>	1	
<b>Daño en elementos estructurales</b>		
<i>Muros de carga:</i>	Ninguno: 0 Leve: 0 Moderado: 30 Fuerte: 20 Severo: 50	
<i>Entrepiso:</i>	Ninguno: 0 Leve: 0 Moderado: 30 Fuerte: 60 Severo: 10	
	Daño severo en muros de carga de mampostería no reforzada (colapso parcial)	
<b>Daño en elementos no estructurales</b>		
<i>Particiones:</i>	Fuerte	<i>Fachada:</i> Fuerte <i>Escaleras:</i> Fuerte
	Escaleras con daño fuerte (debajo)	
<b>Condiciones del suelo</b>		
<i>Grietas y deslizamientos de tierra:</i>	Generalizado (muy malas)	
<i>Asentamientos o licuación del suelo:</i>	Generalizado (muy malas)	
<b>Condiciones preexistentes</b>		
<i>Calidad de los materiales de construcción:</i>	Pobre (muy mala)	
<i>Irregularidades en planta:</i>	Muy mala	
<i>Irregularidades de altura:</i>	Muy mala	
<i>Configuración estructural:</i>	Muy mala	

**Resultados ejemplo 2**

<b>Daño</b>	
<i>Daño estructural:</i>	Severo 0.76
<i>Daño no estructural:</i>	Fuerte 0.5533
<i>Condiciones del suelo:</i>	Muy malas 0.76
<i>Condiciones preexistentes:</i>	Malas 0.6537
<b>Riesgo</b>	
<i>Riesgo estructural:</i>	Muy alto
<i>Riesgo no estructural:</i>	Alto
<i>Riesgo geotécnico:</i>	Muy alto
<i>Daño en el edificio:</i>	Severo El edificio sufrió un daño estructural severo y fuerte daño no estructural. El edificio ha colapsado parcialmente o ha sufrido daños que lo ponen en peligro de colapso.
<i>Estado global:</i>	Muy malo Los daños severos del edificio y las muy malas condiciones del suelo hacen que el estado global del edificio sea muy malo.
<b>Habitabilidad</b>	
	Peligroso Debe prohibirse la ocupación del edificio debido al riesgo de colapso por las muy malas condiciones del edificio y del suelo.
<i>Medidas de seguridad:</i>	Deben instalarse barreras exteriores para evitar el paso de peatones y vehículos cerca al edificio.
<b>Reparabilidad</b>	
	Posible demolición Es posible que el edificio deba demolerse debido a su mal estado y a las condiciones del suelo.

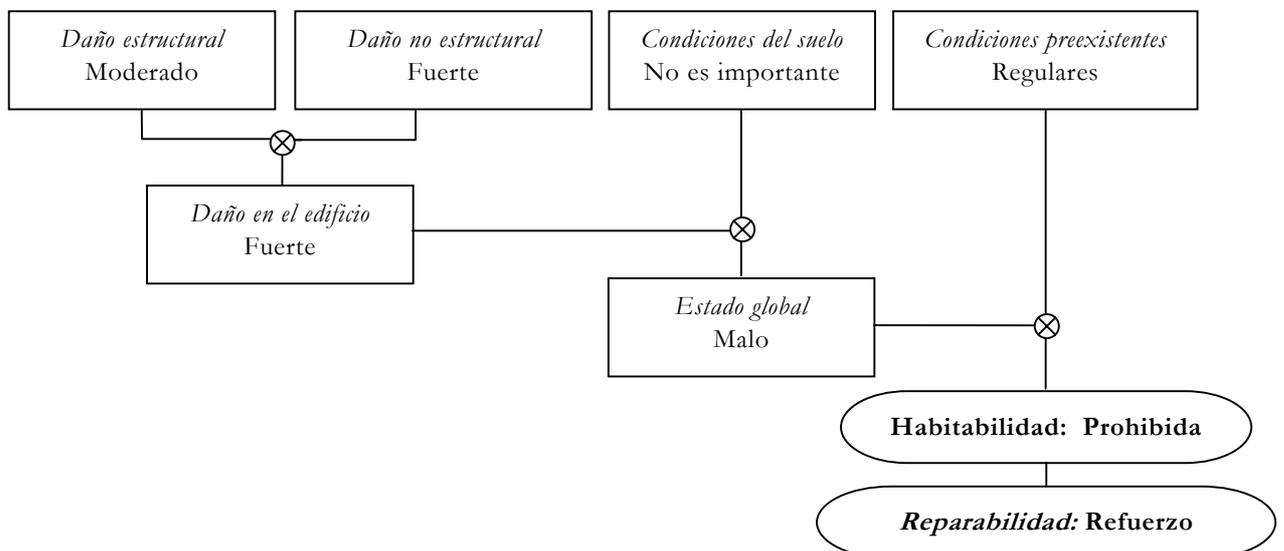


**Ejemplo 3**

<b>Información general</b>		
<i>Inspección del edificio:</i>	Exterior e interior	
<i>Año de construcción:</i>	1985 a 1997	
<i>Número de niveles sobre el nivel del suelo:</i>	3	
<i>Sótanos:</i>	0	
<i>Sistema estructural:</i>	Mampostería confinada	
<i>Tipo de entrepiso:</i>	Losa maciza	
<i>Localización en la manzana:</i>	Libre	
<b>Condiciones generales del edificio</b>		
<i>Colapso:</i>	No	
<i>Edificio inclinado o uno de sus niveles:</i>	No	
<i>Falla o asentamiento de la cimentación :</i>	No	
<i>Nivel con mayor daño:</i>	1	
<b>Daño en elementos estructurales</b>		
Muros de carga:	Ninguno: 20    Leve: 30    Moderado: 50    Fuerte: 0    Severo: 0	
Entrepiso:	Ninguno: 10    Leve: 40    Moderado: 50    Fuerte: 0    Severo: 0	
		
Daño moderado en muros de carga de mampostería confinada		Daño moderado en losa
<b>Daño en elementos no estructurales</b>		
<i>Particiones:</i> Fuerte	<i>Fachada:</i> Fuerte	<i>Escalera:</i> Fuerte
<b>Condiciones del suelo</b>		
<i>Grietas y deslizamientos de tierra:</i>	No es relevante (muy buenas)	
<i>Asentamientos o licuación del suelo:</i>	No es relevante (muy buenas)	
<b>Condiciones preexistentes</b>		
<i>Calidad de los materiales de construcción:</i>	Pobre (muy mala)	
<i>Irregularidades en planta:</i>	Considerable	
<i>Irregularidades de altura:</i>	Considerable	
<i>Configuración estructural:</i>	Muy mala	

**Resultados ejemplo 3**

Daño	
<i>Daño estructural:</i>	Moderado 0.35
<i>Daño no estructural:</i>	Fuerte 0.5533
<i>Condiciones del suelo:</i>	Información no relevante
<i>Condiciones preexistentes:</i>	Regulares 0.35
Riesgo	
<i>Riesgo estructural:</i>	Bajo, después de tomar algunas medidas de seguridad
<i>Riesgo no estructural:</i>	Alto
<i>Riesgo geotécnico:</i>	Bajo
<i>Daño en el edificio:</i>	Fuerte El edificio sufrió daño moderado en sus elementos estructurales y daño fuerte en los no estructurales que pueden afectar la estabilidad del edificio en caso de una replica. La capacidad sismo resistente ha sido reducida.
<i>Estado global:</i>	Malo El edificio fue seriamente dañado pero las condiciones del suelo son buenas.
Habitabilidad	
	Prohibida La ocupación del edificio es peligrosa debido a las malas condiciones del edificio.
<i>Medidas de seguridad:</i>	Es necesario remover y anclar los elementos que están en peligro de caer, demoler algunos elementos no estructurales e instalar barreras internas para demarcar zonas de alto riesgo en el edificio.
Reparabilidad	
	Refuerzo El edificio necesita ser reforzado debido a su mal estado y a sus regulares condiciones preexistentes. En este caso un experto en estructuras debe ser consultado para poder tomar una decisión.





## 6 CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

La gestión de riesgos se lleva a cabo por medio de una diversidad de acciones que se relacionan con las diferentes etapas que se repiten entre los desastres. Esta tesis presenta tres resultados principales relacionados con dichas etapas. Primero se propone una acción *ex ante*, es decir, que se realiza con anterioridad a la ocurrencia de un desastre, con el fin de contribuir a evitar que dichos desastres se presenten y/o para disminuir sus efectos. Dicha acción corresponde a una metodología para la evaluación holística del riesgo sísmico. Se propone también una acción *ex post*, que corresponde al manejo del desastre, concretada en un sistema neuro-difuso para la evaluación de habitabilidad y daño en edificios afectados por un sismo. El tercer resultado importante de la tesis es una propuesta metodológica para la evaluación de la gestión del riesgo, que también es una acción *ex ante*.

### 6.1 Conclusiones sobre aspectos relacionados con las metodologías propuestas en la tesis

#### A. Metodología de evaluación *ex ante* del riesgo sísmico urbano

1. La estimación del riesgo requiere un enfoque multidisciplinar que tome en cuenta no sólo el daño físico, el número y gravedad de las víctimas o las pérdidas económicas, sino también los aspectos sociales, organizacionales e institucionales relacionados con el nivel de desarrollo de la comunidad y que contribuyen a una evaluación más completa del riesgo. A nivel urbano, por ejemplo, la vulnerabilidad, vista como un factor interno del riesgo, puede ser relacionada con el nivel de exposición o la susceptibilidad física de los edificios y la infraestructura, pero también con la fragilidad social y la falta de resiliencia de la

comunidad expuesta. La ausencia de organización institucional y de la comunidad, una débil preparación para la respuesta a la emergencia, la inestabilidad política y una economía débil contribuyen al aumento del riesgo. Por todo esto, las consecuencias potenciales negativas están relacionadas no sólo con los efectos de los fenómenos peligrosos, sino también con la resiliencia de la comunidad, es decir, con la capacidad de absorber estos efectos y controlar sus implicaciones.

2. Se ha propuesto un modelo para la evaluación holística y multidisciplinar del riesgo sísmico urbano, con base en el uso paramétrico de las variables que representan los diferentes aspectos del riesgo. Dicho enfoque permite formular un modelo lo más realista posible, en el cual la retroalimentación con nuevos datos, las mejoras o el uso de variables alternativas pueden realizarse de manera continua. Se utilizan variables de riesgo físico a partir de las cuales se construye el índice de riesgo físico y variables de contexto (sociales y económicas) con las que se construye un coeficiente de agravamiento, lo que lleva a un modelo completamente nuevo.
3. El modelo propuesto para la evaluación holística del riesgo sísmico facilita la gestión integral del riesgo por parte de los diferentes actores implicados en la toma de decisiones sobre la reducción del riesgo. Su aplicación permite hacer un seguimiento de la situación del riesgo en una zona urbana y la eficacia de las medidas de prevención y mitigación. Los resultados pueden ser analizados y permiten establecer prioridades para la mitigación y acciones de prevención y planeamiento a fin de modificar las condiciones que tienen una mayor influencia sobre el riesgo de la zona.

## **B. Metodología de evaluación de la efectividad de la gestión de riesgos**

4. El índice propuesto de gestión de riesgos, *DRMi*, es un índice consistente y metódico desarrollado para medir el desempeño de la gestión de riesgos. El índice permite hacer la evaluación en forma sistemática y cuantitativa con base en puntos de referencia de un país en diferentes períodos de tiempo, así como hacer comparaciones entre diferentes países. Este índice también permite realizar la evaluación de la gestión de riesgo de desastre a nivel subnacional y urbano, estableciendo puntos de referencia o patrones de funcionamiento de la gestión del riesgo, para definir objetivos de funcionamiento y mejorar su eficiencia.
5. El *DRMi* es un índice que mide el desempeño de la gestión del riesgo con base en una escala de niveles o logros, hacia los cuales los gobiernos de los países deben dirigir sus esfuerzos en la formulación, implementación y evaluación de cuatro políticas públicas: identificación de riesgos, reducción de riesgos, manejo de desastres y gobernabilidad y protección financiera.

### C. Metodología de evaluación *ex post* de daño y habitabilidad de edificios

6. Se propuso un novedoso sistema de apoyo a la compleja tarea de evaluación de daños en edificios después de un terremoto, basado en técnicas de inteligencia computacional como redes neuronales artificiales y conjuntos difusos. Este modelo hace posible una evaluación más exacta del daño y habitabilidad por parte de los profesionales inexpertos. Este tipo de herramienta es conveniente en la práctica porque durante la evaluación de daños y habitabilidad se maneja información subjetiva e incompleta que requiere el uso de calificaciones lingüísticas que pueden ser representadas apropiadamente por conjuntos difusos. Se utilizó una red neuronal artificial para calibrar el sistema partiendo del juicio de expertos. El entrenamiento de la red neuronal fue realizado usando la base de datos de evaluaciones reales hechas por los ingenieros expertos en edificios dañados por el sismo de enero de 1999 en Colombia.
7. La posibilidad de calibrar el sistema experto para que sea utilizado en caso de un terremoto, depende de la disponibilidad de bases de datos confiables de daños en edificios, obtenidas por medio de inspecciones y calificaciones hechas por expertos. Desafortunadamente, no existen suficientes bases de datos disponibles actualmente en la cantidad deseada. Por lo tanto, para una mejor calibración del sistema experto propuesto, es necesario, a través de la coordinación de asociaciones profesionales de la ingeniería y de las universidades, desarrollar bases de datos apropiadas, considerando todos los tipos estructurales que existen en las áreas sísmicas, para completar el proceso de aprendizaje para estas construcciones.
8. Aunque sería también posible realizar futuros desarrollos en el campo de los algoritmos de evaluación de daños, principalmente es necesario mejorar la recolección de datos del daño en edificios y la coordinación de la respuesta a la emergencia después de un terremoto. Las metodologías convencionales existentes en la actualidad están bien diseñadas, pero su puesta en práctica todavía no es adecuada. No es posible evitar errores cometidos por inexpertos si una herramienta, como el sistema experto aquí propuesto, no está disponible en el momento de un sismo fuerte.

### 6.2 Conclusiones sobre los resultados obtenidos a partir de la aplicación de las metodologías propuestas

9. El modelo propuesto de evaluación holística del riesgo sísmico permite comparar el riesgo entre diferentes ciudades del mundo. En este estudio el modelo se ha aplicado a las ciudades de Bogotá, Colombia, y Barcelona, España. A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que el riesgo sísmico físico de Bogotá, en promedio, ha tenido

un leve aumento en los últimos diez años. También se detecta una disminución significativa del coeficiente de agravamiento en términos de fragilidad social y falta de resiliencia. Aunque, de acuerdo con las evaluaciones realizadas, el riesgo sísmico total de Bogotá ha aumentado, se ha detectado que los esfuerzos por mejorar los aspectos sociales y de capacidad de respuesta frente a desastres han tenido efectos positivos. Esto es algo de especial importancia para la gestión del riesgo de la ciudad e ilustra el beneficio de las evaluaciones de riesgo con un enfoque holístico, que son la única posibilidad de detectar la mejora. En el caso de Barcelona no se ha podido evaluar la evolución de la situación del riesgo en el tiempo, pero se ha podido realizar una comparación con la ciudad de Bogotá y ver como se refleja en los índices calculados el hecho de que Barcelona esta situada en una zona de baja sismicidad y Bogotá en una zona de amenaza sísmica intermedia. Además, se pudo observar que, en promedio, el coeficiente de agravamiento  $F$  es menor para Barcelona, aunque la diferencia no es muy grande.

10. La aplicación del índice de gestión de riesgo,  $DRMi$ , a 11 países de América Latina y el Caribe ha permitido configurar un ranking de países para cada uno de los índices que componen el  $DRMi$ . A partir de la posición relativa de los países se puede concluir que los países del grupo evaluado que presentan las condiciones de mayor riesgo relativo y menor desempeño en la gestión de riesgos son República Dominicana, El Salvador, Ecuador y Guatemala. Les siguen, en un nivel intermedio, Colombia y Perú y también Jamaica y Argentina. Sin embargo, estos dos últimos casos presentan una situación especial, pues Jamaica presenta un alto nivel de riesgo y también un buen desempeño en la gestión, mientras que Argentina tiene un riesgo relativo menor y un bajo desempeño en la gestión. Finalmente, Costa Rica, Chile y México tienen niveles bajos de riesgo relativo y un buen desempeño en la gestión de riesgos. Este índice se aplicó también a la ciudad de Bogotá y a Colombia a un nivel subnacional, es decir, por departamentos. Se encontró que el departamento con mejores avances en la gestión de riesgos es Antioquia, que tiene el mismo nivel de desarrollo que la ciudad Bogotá.
11. La metodología de evaluación *ex post* del daño y habitabilidad no ha sido utilizada hasta ahora en una emergencia sísmica real. Los ejemplos presentados en la tesis fueron tomados de las bases de datos desarrollada a partir de la evaluación de habitabilidad y daño hechas después del sismo de 1999 en Colombia y se refieren a tres sistemas estructurales: pórticos en hormigón armado, mampostería no reforzada y mampostería confinada. En el entrenamiento de la red neuronal utilizada no se tuvieron en cuenta sistemas estructurales tales como pórticos en madera y acero, debido a la ausencia de estos sistemas estructurales en la zona afectada por el sismo.

### 6.3 Conclusiones sobre la transferencia de resultados

12. La metodología de evaluación holística del riesgo sísmico urbano ha sido aplicada, en el marco del Programa de Información e Indicadores de Gestión de Riesgos para América Latina y el Caribe del Banco Inter-Americano de Desarrollo, a la ciudad de Bogotá, Colombia. Sus resultados han sido transferidos a La Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, DPAAE, de la ciudad. Se aplicó también a la ciudad de Barcelona, España y los resultados obtenidos se transfirieron a Dirección General de Emergencias y Seguridad Civil del Departamento de Interior de la Generalitat de Catalunya.
13. Actualmente la metodología *ex ante* está siendo aplicada a Metro Manila, Filipinas, en el marco del proyecto “Disaster Risk Reduction of Megacities and Complex Urban Metropolises”, que realiza *The Earthquake and Megacities Initiative, EMI*, con el apoyo del Bureau for Crisis Prevention and Recovery (BCPR) del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el ProVention Consortium.
14. Con base en el sistema neuro-difuso propuesto se desarrolló un programa de ordenador llamado *Evaluación de daño en edificios, EDE*. Actualmente, este programa es utilizado como herramienta oficial por las oficinas de la gestión de riesgo de desastre de las ciudades de Bogotá y Manizales, en Colombia. Este programa fue desarrollado con el apoyo de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) y el ProVention Consortium.
15. El *DRMi* puede mostrar la evolución de la gestión de riesgos anual o bianualmente debido a las decisiones políticas y a la implementación de medidas de gestión exitosas. Esto es importante desde el punto de vista de proveer soporte a las acciones o esfuerzos de los gobiernos nacionales o subnacionales, así como de proporcionar una mejor protección social, mientras que paulatinamente el progreso socioeconómico gradual se va logrando. Es por esto que el *DRMi* es una herramienta útil para entidades como en Banco Inter-Americano de Desarrollo, BID, quien financió su desarrollo.

### 6.4 Futuras líneas de investigación

#### A. Evaluación holística *ex ante* del riesgo sísmico

- Sería deseable poder aplicar el método a la evaluación de otras ciudades, para poder comparar los resultados. Se espera que otras ciudades de las Américas sean evaluadas con este enfoque, iniciando próximamente la ciudad de Quito, Ecuador.
- Identificar posibles nuevos indicadores a tener en cuenta en la metodología, tanto para la conformación del índice de riesgo físico, como del coeficiente de agravamiento.

- Realizar estudios de los datos estadísticos de sismos pasados que ayuden a mejorar las funciones de transformación que se utilizan en la evaluación del riesgo físico.
- En el futuro pueden hacerse pruebas de sensibilidad de los resultados obtenidos a la variación de los pesos para cada centro urbano que se evalúe teniendo en cuenta solamente la opinión de expertos locales. Este análisis de sensibilidad puede hacerse también utilizando técnicas de simulación por Monte Carlo.
- Aunque la metodología es aplicada en esta tesis sólo al caso del riesgo por terremoto, es posible también su aplicación al estudio del riesgo por otras amenazas y realizar además análisis del riesgo multi-amenaza, ya que el planteamiento de la metodología lo permite.

## **B. Evaluación de la efectividad de la gestión de riesgos**

- Nuevas investigaciones pueden explorar otros posibles indicadores que describan otros aspectos relevantes para cada una de las políticas públicas consideradas. Estos indicadores pueden variar de acuerdo con la institucionalidad existente e incluso dependiendo del tipo de amenazas predominantes en cada territorio. Esto implicaría también definir con grupos de expertos las descripciones de los cinco niveles de desempeño para calificar cada indicador.
- Pueden hacerse pruebas con otros tipos de funciones que identifiquen los niveles de desempeño para los indicadores, o se puede proponer una nueva curva que relacione el índice de gestión de riesgos con la efectividad, que represente mejor la realidad.
- Sería óptimo poder aplicar el *DRMi* al estudio de más ciudades y países, ya que la única aplicación realizada hasta ahora es Bogotá. Es deseable poder aplicar este índice a países de fuera de América Latina, para hacer comparaciones más amplias. En el futuro inmediato se aplicará a Metro Manila, Filipinas.
- El *DRMi* podrá ser de utilidad en el caso de la evaluación de la gestión del riesgo en países, ya que constituye un desarrollo en la línea propuesta en la Conferencia Mundial de Reducción de Desastres realizada en Kobe, Japón, en 2005. En esta Conferencia, con la Declaración de Hyogo, se adoptó el Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015: Aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres (*Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters*). En esta Declaración se proponen metas estratégicas y prioridades de acción, así como estrategias de implementación y seguimiento asociado, siendo una actividad clave el desarrollo de sistemas de indicadores de riesgo de desastre.

### C. Metodología de evaluación *ex post* de daño y habitabilidad en edificios

- Es posible proponer nuevos índices que identifiquen los niveles de daño para los diferentes elementos, ya que ahora se utilizan los mismos para todos los elementos, es decir, estructurales, no estructurales, condiciones del suelo y condiciones preexistentes. Los nuevos índices podrían desarrollarse con base en funciones de daño experimentales y en bases de datos reales de daños ocasionados por sismos recientes.
- Para mejorar la calibración del sistema de evaluación de daños es posible desarrollar una base de datos con información de daños ocasionados por los sismos que vayan ocurriendo, para cubrir mejor todas las tipologías estructurales posibles.
- Desarrollar una nueva versión de este sistema para la evaluación de daños en edificios antiguos, muy comunes en países europeos, y que no pueden ser evaluados bajo los mismos criterios que los edificios modernos ya que tienen un comportamiento diferente. En el momento de concluir esta tesis esta idea es considerada como un posible proyecto futuro por el Centro Universitario Europeo de los Bienes Culturales (CUEBC), en Ravello, y por el Servicio sísmico Nacional de Italia.
- El uso de la inteligencia computacional es posible en muchas actividades de la ingeniería civil, en las cuales sus herramientas pueden ser aplicadas con éxito; sin embargo, no han tenido una difusión apropiada. Por lo tanto, se podría promover su uso para proporcionar soluciones convenientes y versátiles a varios problemas en éste campo del conocimiento.



## REFERENCIAS

- AIS (2002). *Guía técnica para inspección de edificaciones después de un sismo Manual de campo*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Alcaldía Mayor de Bogotá – Fondo de Prevención y Atención de Emergencias. Bogotá D.C., Colombia.
- AIS (2003). *Manual de campo para la inspección de edificaciones después de un sismo*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Alcaldía de Manizales, Oficina Municipal para la Prevención y Atención de Desastres. Manizales, Colombia.
- AIS (2003b). *Sistema experto para la evaluación post-sísmica del daño en edificaciones – EDE Manizales*. CD-ROM, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Colombia.
- AIS (2004). *Sistema experto para la evaluación post-sísmica del daño en edificaciones – EDE Bogotá*. CD-ROM, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Bogotá, Colombia.
- ATC (1985). *Earthquake damage evaluation data for California*, ATC 13. Applied Technology Council Redwood City, CA.
- ATC (1989a). *Procedures for postearthquake safety evaluation of buildings*, ATC 20. Applied Technology Council. Redwood City, CA.
- ATC (1989b). *Field manual: Postearthquake safety evaluation of buildings*, ATC 20-1. Applied Technology Council Redwood City, CA.
- ATC (1995). *Addendum to the ATC 20 Postearthquake building safety evaluation procedures*, ATC 20-2. Applied Technology Council. Redwood City, CA.
- ATC (2003). *Users manual: Mobile postearthquake building safety evaluation data acquisition system ATC 20i*, version 1.0. Redwood City, CA
- ATC (2005). *Field manual: Postearthquake safety evaluation of buildings*, ATC 20-1, second edition. Applied Technology Council Redwood City, CA.
- Barbat A.H. (2003a). “Vulnerability and Disaster Risk Indices from Engineering Perspective and Holistic Approach to Consider Hard and Soft Variables at Urban Level”, IADB/IDEA *Program on Indicators for Disaster Risk Management*, <http://idea.unalmz.edu.co>, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

- Barbat A.H. (2003b). "Detailed application of the holistic approach for seismic risk evaluation on an urban center using relative indices", IADB/IDEA *Program on Indicators for Disaster Risk Management*, <http://idea.unalmzl.edu.co> Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Benson C. (2003). "Potential approaches to the development of indicators for measuring risk from a macroeconomic perspective", IADB/IDEA *Program on Indicators for Disaster Risk Management*, <http://idea.unalmzl.edu.co>, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Blakie P., Cannon T., Davis I., Wisner B. (1996). *Vulnerabilidad, el Entorno Social de los Desastres*, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, La RED, ITDG, Bogotá.
- Bonett R. (2003). *Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- Briguglio L. (2003a). "Some Considerations with Regard to the Construction of an Index of Disaster Risk with Special Reference to Islands and Small States", IADB/IDEA *Program on Indicators for Disaster Risk Management*, <http://idea.unalmzl.edu.co>, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Briguglio L. (2003b). "Methodological and practical considerations for constructing socio-economic indicators to evaluate disaster risk", IADB/IDEA *Program on Indicators for Disaster Risk Management*, <http://idea.unalmzl.edu.co>, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Campos A., Cardona O.D. y Carreño M.L. (2003). "Evaluación de daños en edificaciones después de un sismo", *II Congreso nacional de ingeniería sísmica. Innovaciones y desarrollos en ingeniería sísmica*, Medellín Colombia, 12, 13 y 14 de noviembre de 2003.
- Cardona O.D. (1985). "Hazard, Vulnerability and Risk Assessment", unedited working paper, Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology IZIS, Skopje, Yugoslavia.
- Cardona O.D. (2001). *Estimación Holística del Riesgo Sísmico utilizando Sistemas Dinámicos Complejos*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- Cardona O.D. (2005a). "Indicadores de Riesgo de Desastre y Gestión de Riesgos: Informe resumido". BID/IDEA *Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos*, Universidad Nacional de Colombia, Manizales. <http://idea.unalmzl.edu.co>
- Cardona O.D. (2005b). "Sistema de Indicadores para la Gestión del Riesgo de Desastres: Informe Técnico Principal". BID/IDEA *Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos*, Universidad Nacional de Colombia, Manizales. <http://idea.unalmzl.edu.co>
- Cardona O.D. y Barbat A.H. (2000). *El Riesgo Sísmico y su Prevención*, Cuaderno Técnico 5, Calidad Siderúrgica, Madrid, España.
- Cardona O.D., Hurtado J.E., Duque G., Moreno A., Chardon A.C., Velásquez L.S. y Prieto S.D. (2003a). "La Noción de Riesgo desde la Perspectiva de los Desastres: Marco Conceptual para su Gestión Integral". IADB/IDEA *Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos*, <http://idea.unalmzl.edu.co>, Universidad Nacional de Colombia, Manizales
- Cardona O.D., Hurtado J.E., Duque G., Moreno A., Chardon A.C., Velásquez L.S. y Prieto S.D. (2003b). "Indicadores para la Medición del Riesgo: Fundamentos para

- un Enfoque Metodológico”, IADB/IDEA *Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos*, <http://idea.unalmz.edu.co> Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Cardona O.D., Hurtado J.E., Duque G., Moreno A., Chardon A.C., Velásquez L.S. y Prieto S.D. (2004). “Dimensionamiento relativo del riesgo y de la gestión - Metodología Utilizando Indicadores a Nivel Nacional” IDB/IDEA *Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos*, <http://idea.unalmz.edu.co>, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Carreño-Tibaduiza M.L (2001). *Sistema Experto para la Evaluación del Daño Postsísmico en Edificios*, Tesis de Magister, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia.
- Carreño M. L. (2004). “Expert System for Post Earthquake Building Damage Evaluation and Massive Risk Occupancy”. Advisors: O.D. Cardona y A.H. Barbat. *Global Symposium on Hazard Risk Reduction*. World Bank in Washington, D.C., July 26-28, 2004.
- Carreño M.L., Cardona O.D., y Barbat A.H. (2003). Expert system for post-earthquake building damage evaluation. *Proceedings of the ninth international conference on civil and structural engineering computing*, ISBN 0-948749-88-1, CD-ROM, Edited by B.H.V. Topping, Egmond-aan-Zee – The Netherlands.
- Carreño, M.L., Cardona O. D. y Barbat A. H. (2004a). “System for post-earthquake building habitability and reparability evaluation”, *Sísmica 2004, 6º Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Sísmica*, Guimarães, Portugal, 14-16 de Abril de 2004.
- Carreño M. L., Cardona O.D. y Barbat A.H. (2004b). “Sistema neuro-difuso para toma de decisiones después de un sismo”, *Métodos computacionais em engenharia* © APMTAC, ISBN 972-49-2008-9, Lisboa, Portugal, 31 de Maio – 2 de Junho, 2004.
- Carreño M. L., Cardona O.D. y Barbat A.H. (2004c). “Expert system for building damage evaluation in case of earthquake”. *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Paper No. 3047, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004.
- Carreño M.L., Cardona O.D. y Barbat A.H. (2004d). “The evaluation of ancient building vulnerability before and after an earthquake: - Automated Neural Networks and vulnerability evaluation”. *14º curso intensivo. Retrofitting of ancient non monumental built-up and local seismic culture: problems, methods, techniques*, Ravello, Italia. 8 - 14 Dicembre 2004.
- Carreño M.L., Cardona O.D. y Barbat A.H. (2004). *Metodología para la evaluación del desempeño de la gestión del riesgo*. Colección de Monografías Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería – CIMNE, Barcelona, España.
- Carreño M.L., Cardona O.D. y Barbat A.H. (2005a). *Sistema de indicadores para la evaluación de riesgos*. Colección de Monografías Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería – CIMNE, Barcelona, España.
- Carreño M.L., Cardona O.D. y Barbat A.H. (2005b). *Evaluación “ex-post” del estado de daño en los edificios afectados por un terremoto*. Colección de Monografías Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería – CIMNE, Barcelona, España.
- Carreño M.L., Cardona O.D. y Barbat A.H. (2005c). “Evaluation of the risk management performance”, *International Conference 250th Anniversary of the 1755 Lisbon Earthquake*, Lisboa, Portugal, 1-4 Noviembre 2005.

- Carreño M.L., Cardona O.D. y Barbat A.H. (2005d). "Seismic risk evaluation for an urban center". *International Conference 250th Anniversary of the 1755 Lisbon Earthquake*, Lisboa, Portugal, 1-4 Noviembre 2005.
- Carreño M.L., Cardona O.D. y Barbat A.H. (2006a). Urban seismic risk evaluation: a holistic approach, *Natural Hazards* (in press).
- Carreño M.L., Cardona O.D. y Barbat A.H. (2006b). A disaster risk management performance index, *Natural Hazards* (in press).
- Carreño M.L., Cardona O.D. y Barbat A.H. (2006c). Neuro-fuzzy assessment of building damage and safety after an earthquake, in *Intelligent computational paradigms in earthquake engineering* (in press). Ed. por Asst. Prof. Nikos D. Lagaros y Asst. Prof. Yiannis Tsompanakis. Idea Group.
- CENAPRED (1996a). *Norma para la Evaluación del Nivel de Daño por Sismo en Estructuras y Guía Técnica de Rehabilitación (Estructuras de Concreto Reforzado)*. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Cuadernos de Investigación, No 37, marzo de 1996, México.
- CENAPRED (1996b). *Norma para la evaluación del nivel de daño por sismo en estructuras y Guía Técnica de Rehabilitación (estructuras de madera)*. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Cuaderno de Investigación No 36, México.
- CEPAL (2003). *Manual para la estimación de los efectos socio-económicos y ambientales de los desastres*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe y el Banco Mundial. Cuatro tomos.
- Coburn A. y Spence R. (2002). *Earthquake protection*. 2<sup>nd</sup> edition. Ed. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK.
- Comfort L. (1999). *Shared Risk: Complex Systems in Seismic Response*, Pergamon, New York.
- Davis I. (2003). "The Effectiveness of Current Tools for the Identification, Measurement, Analysis and Synthesis of Vulnerability and Disaster Risk". IDB/IDEA *Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos*, <http://idea.unalmz.edu.co>, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Dowrick D.J. (1987). *Earthquake resistant design for engineers and architects* (2nd edition), Chichester, England: John Wiley & Sons.
- Federal Emergency Management Agency, FEMA (1989): *Estimating Losses From Future Earthquakes*, Panel Report and Technical Background, Series 51, FEMA 177/June.
- Federal Emergency Management Agency, FEMA (1999). *Earthquake loss estimation methodology*. HAZUS-99.
- Funtowicz S., y Ravetz J. (1992). The Role of Science in Risk Assessment. *Social Theories of Risk*. Ed. S. Krimsky y D. Golding. Westport, Praeger: 59-88.
- Gilbert R., Kreimer A. (1999). "Learning from the World Bank's Experience of Natural Disaster Related Assistance", Urban and Local Government Working Paper Series 2, World Bank Washington, DC.
- Goretti A. (2001). *Post-earthquake building usability: An assessment*. Technical Report SSN/RT/01/03, Italy.
- Hayman B., Davis C., Krumpal P.F. (1991). "An Assessment of Worldwide Disaster Vulnerability". *Disaster Management* 4(1): 3-14

- Hyman B. (1998). *Fundamentals of Engineering Design*, Upper Saddle River, Prentice Hall, New Jersey.
- ICC/CIMNE (2004). *An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns*. WP08 Application to Barcelona. Proyecto RISK-UE
- Irizarry J. (2004). *An advanced approach to seismic risk assessment. Application to the cultural heritage and the urban system of Barcelona*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- ISDR (2003). *A framework to guide and monitor disaster risk reduction*, draft proposal, ISDR/UNDP, <http://www.unisdr.org/dialogue/basicdocument.htm> online conference <http://www.unisdr.org/dialogue/>
- JRC-EC (2002). *State-of-the-art Report on Current Methodologies and Practices for Composite Indicator Development*, Applied Statistics Group, Joint Research Centre, European Commission, Institute for Protection and Security of the Citizen Technological and Economic Risk Management, Ispra, Italy.
- JRC-EC (2003). *First Workshop on Composite Indicators of Country Performance*. Applied Statistics Group, Joint Research Centre, European Commission, Institute for Protection and Security of the Citizen Technological and Economic Risk Management, Ispra, Italia.
- Lavell A. (2000). "Draft Annotated Guidelines for Inter-Agency Collaboration in Programming for Disaster Reduction", unprinted for Emergency Response Division at UNDP, Geneva.
- Masure P. (2003). "Variables and indicators of vulnerability and disaster risk for land-use and urban or territorial planning", IDB/IDEA *Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos*, <http://idea.unalmz.edu.co>, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Masure P. y Lutoff C. (2002). *Handbook on urban system exposure (USE). Assessment to natural disasters*. Proyecto RISK-UE.
- Mileti D.S. (1999). *Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States*. Washington, D.C. Joseph Henry Press.
- Mitchell T. (2003). *An operational framework for mainstreaming disaster risk reduction*, Benfield Hazard Research Centre Disaster Studies Working Paper 8
- Munda G. (2003). "Methodological Exploration for the Formulation of a Socio-Economic Indicators Model to Evaluate Disaster Risk Management at the National and Sub-National Levels". A Social Multi-Criterion Model, IADB/IDEA *Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos*, <http://idea.unalmz.edu.co>, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Munich Re (1999). *A Year, a Century, and a Millennium of Natural Catastrophes are all nearing their End*, Press release of 20 December. Munich Re, Munich, Germany.
- Papa F., y Zuccaro G. (2003). *Manuale di esercitazioni sul danno ed agibilità. 13th intensive course, Local seismic cultures and earthquake vulnerability reduction in traditional masonry buildings*, Ravello, Salerno, Italy
- Park Y.J., Ang A., y Wen Y. (1984). *Seismic damage analysis and damage-limiting design of R.C. buildings*, Structural Research Series, Report No 516, University of Illinois at Urban-Champaign, Urbana.

- Pidgeon N.F. (1992). The Psychology of Risk, in *Engineering Safety*, Blockley, D. (Ed.), MacGraw-Hill International Series in Civil Engineering, London.
- Ramírez A. (1996). *Formularios Para Evaluación Postsísmica*. Proyecto para la Mitigación del Riesgo Sísmico. CARDER, Pereira, Colombia.
- Rashed T. y Weeks J. (2003). Assessing Vulnerability to Earthquake Hazards through Spatial Multicriteria Analysis of Urban Areas, *International Journal of Geographical Information Science*, Vol 17, No 6, 547-576, San Diego State University, SDSU, San Diego.
- Rodríguez M. y Castrillón E. (1995). *Manual de Evaluación Postsísmica de la Seguridad Estructural de Edificaciones*. Basado en investigaciones Realizadas para el Departamento del Distrito Federal. Instituto Nacional de Ingeniería UNAM. Series del Instituto de Ingeniería 569 Septiembre, México D.F., México.
- Rogge J.R. (1992). Una Agenda de Investigación para el Manejo de Desastres y Emergencias, PNUD-UNDRO, Universidad de Minotoba
- Sanchez-Silva M., y García L. (2001). Earthquake damage assessment based on fuzzy logic and neural networks, EERI, *Earthquake Spectra*, 17 (1), pp. 89-112.
- SMIS (1998). *Manual de Evaluación Postsísmica de la Seguridad Estructural de Edificaciones*. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, A.C. Secretaria de Obras y Servicios Gobierno del Distrito Federal
- Soddu P. y Martini M.G. (2003). Seismic emergency management: S.I.G.E. and EGERIS project. *Foro Euro mediterráneo sobre prevención de catástrofes*. 6 a 8 de octubre Madrid, España.
- SSC (1999). *Earthquake Risk Management: A Toolkit for Decision-Makers*, Sacramento, California: Seismic Safety Commission of the State of California.
- Stone W.C. y Taylor A.W. (1993). *Seismic performance of circular bridge columns designed in accordance with AASHTO/CALTRANS standards*, NIST Building Science Series, 170, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg MD.
- Taylor C., Vanmarcke E., Davis J. (1998). Evaluating Models of Risk from Natural Hazards Paying the Price, Kunreuther H., Roth R.J., (Eds.) Joseph Henry Press, Washington.
- Universidad de los Andes (1997). *Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá*, Ingeominas, 17 volúmenes, Santa Fe Bogotá
- Universidad de los Andes (2005). *Escenarios de riesgo y pérdidas por terremoto para Bogota, D.C.*, Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos CEDERI, Alcaldía Mayor de Bogotá, Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, DPAAE, Bogota, Colombia
- UN-OCHA (2000). *Structured Humanitarian Assistance Reporting, SHARE*, Geographic Information Support Team (GIST), www.reliefweb.int.
- White G.F., Haas E., (1975). *Assessment of Research on Natural Hazards*, Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Wikjman A., Timberlake L. (1984). *Natural Disasters: Acts of God or Acts of Man?*, Earthscan, Washington, D.C.
- Wilches-Chaux G. (1989). *Desastres, Ecologismo y Formación Profesional*, SENA, Popayán, Colombia.

- Wisner B. (2001). "Vulnerability in Disaster Theory and Practice: From Soup to Taxonomy, Then to Analysis and Finally Tool", *International Work-Conference on Vulnerability in Disaster Theory and Practice*, University of Wageningen, Netherlands.
- Zapata R. (2004). Comunicación personal en Washington D.C.
- Zuccaro G., & Papa F. (2002). Multimedia handbook for seismic damage evaluation and post event macroseismic assessment. Proceedings, XXIII General Assembly of the European Seismological Commission, Genova (CD Rom).



## Apéndice A. GLOSARIO

Las siguientes definiciones permiten aclarar los conceptos utilizados en esta tesis, son el resultado de un proceso de depuración de varios años desde la década de los 80 y varios proyectos desarrollados. Durante este tiempo han sido publicados y adaptados varios de estos términos por diferentes instituciones relacionadas con la gestión del riesgo. La mayoría fueron extraídas de Cardona (2001, 2004) y AIS (2002, 2003).

**ACABADOS O ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES:** Partes y componentes de un edificio que no pertenecen a la estructura o a su cimentación. Aquí se incluyen elementos que aunque no contribuyen a poner en peligro la estabilidad del edificio, si representan un riesgo para la vida y seguridad de los ocupantes.

**ALERTA (TEMPRANA):** Situación que se declara a través de instituciones, organizaciones e individuos responsables y previamente identificados, para la provisión de información adecuada, precisa y efectiva con anterioridad a la manifestación de un fenómeno peligroso, con el fin de que los organismos operativos de emergencia activen procedimientos de acción preestablecidos y la población tome precauciones específicas. Además de informar a la población acerca del peligro, los estados de alerta se declaran con el propósito de que la población y las instituciones adopten una acción específica ante la situación que se presenta.

**AMENAZA ANTROPOGÉNICA O ANTRÓPICA:** Un peligro latente generado por la actividad humana en la producción, distribución, transporte y consumo de bienes y servicios y la construcción y uso de edificios e infraestructura. Comprenden una gama amplia de peligros como lo son las distintas formas de contaminación de aguas, aire y suelos, los incendios, las explosiones, los derrames de sustancias tóxicas, los accidentes en los sistemas de transporte, la ruptura de presas de retención de agua, etc.

**AMENAZA NATURAL:** Un peligro latente asociado con la posible manifestación de un fenómeno físico cuyo génesis se encuentra totalmente en los procesos naturales de transformación y modificación del ambiente. Suele clasificarse de acuerdo con el origen del fenómeno que la caracteriza en: amenazas geodinámicas (endógenas o tectónicas, como sismos, erupciones volcánicas; o exógenas, como la remoción en masa y las subsidencias); hidrológicas (como inundaciones lentas o rápidas, sedimentación, erosión, desertificación); atmosféricas (como tormentas y otros fenómenos meteorológicos, u oceánico-atmosféricas como huracanes o El Niño); y biológicas (como vectores de enfermedad y plagas).

**AMENAZA SOCIO NATURAL:** Un peligro latente asociado con la posible manifestación de fenómenos físicos cuya existencia, intensidad o recurrencia se relaciona con procesos de degradación ambiental o de intervención humana en los ecosistemas naturales. Entre los múltiples ejemplos de este tipo de fenómeno se incluyen casos de inundación y deslizamiento que resultan de procesos de deforestación y deterioro de cuencas; erosión costera por la destrucción de manglares; y la falta de adecuados sistemas de drenaje de aguas pluviales en zonas urbanas. Las amenazas socio-naturales se crean en la intersección de la naturaleza con la acción humana y representan un proceso de conversión de recursos en amenazas. Los cambios en el ambiente y las nuevas amenazas que se generarán con el Cambio Climático Global son el ejemplo más notable de la noción de amenaza socio-natural. Algunos de estos fenómenos en ocasiones son resultado de procesos exclusivamente naturales, caso en el cual constituyen sólo una amenaza natural.

**AMENAZA:** Peligro latente que representa la posible manifestación de un fenómeno de origen natural, socio-natural (ver definición abajo) o antropogénico, que se anticipa puede producir efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, los bienes y servicios y/o el ambiente expuestos. Es un factor de riesgo externo que se expresa como la probabilidad de que un evento se presente con una cierta intensidad, en un sitio específico y dentro de un periodo de tiempo definido.

**ANÁLISIS DE RIESGO:** Desde la perspectiva de los desastres, en su forma más simple es el postulado de que el riesgo es el resultado de relacionar la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios fenómenos peligrosos en un territorio y con referencia a grupos o unidades sociales y económicas particulares. Cambios en uno o más de estos parámetros modifican el riesgo en sí mismo, es decir, el total de pérdidas esperadas y las consecuencias en un área determinada. Análisis de amenazas y de vulnerabilidades componen facetas del análisis de riesgo y deben estar articulados con este propósito y no comprender actividades separadas e independientes. Un análisis de vulnerabilidad es imposible sin un análisis de amenazas y viceversa.

**CAPACIDAD:** Una combinación de todos los atributos y recursos de la comunidad u organización que pueden dirigirse positivamente hacia la gestión del riesgo.

**CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE:** Es el tipo de edificación que a través de su diseño y construcción se ajusta a parámetros establecidos por un reglamento o norma que busca desarrollar estructuras con razonable seguridad para la vida. Más aun, ha sido posible aplicar criterios económicos en el diseño sismorresistente optando por estructuras menos fuertes que lo necesario y, como consecuencia, de menor costo inicial; las cuales al ser sometidas a un movimiento sísmico severo, deben sufrir daños controlados, sin colapsar, y disipar así una parte importante de la energía absorbida. Lo que significa que al degradarse la estructura existe la posibilidad de que se salve del colapso y por lo tanto las vidas que se encuentran en su interior.

**CRISIS:** Condición de inestabilidad que involucra cambios abruptos o decisivos. Es el proceso de liberación de los elementos sumergidos y reprimidos de un sistema como resultado de una perturbación exógena o endógena, que conduce a la parálisis de los elementos protectores y moderadores, a la extensión de los desórdenes, la aparición de incertidumbres de todo tipo y de reacciones en cadena y eventualmente a la mutación o desaparición del sistema en crisis. Las crisis pueden ser el resultado de un desastre o constituir ellas mismas el desastre. Ofrecen oportunidades de cambios positivos y no solamente negativos.

**DAÑOS ESTRUCTURALES:** El daño severo o colapso de muchas estructuras durante terremotos importantes es, por lo general, consecuencia directa de la falla de un sólo elemento o serie de elementos con ductilidad o resistencia insuficiente.

Cuando ocurren sismos muy fuertes es común que se produzcan daños estructurales en columnas, tales como grietas diagonales, causadas por cortante o torsión, o grietas verticales, desprendimiento del recubrimiento, aplastamiento del concreto y pandeo de las barras longitudinales por exceso de esfuerzos de flexo-compresión. En vigas se producen grietas diagonales y rotura de estribos por cortante o torsión y grietas verticales, rotura del refuerzo longitudinal y aplastamiento del concreto por la flexión por cargas alternadas. Las conexiones entre elementos estructurales son, por lo general, los puntos más críticos. En las uniones viga-columna (nudos) el cortante produce grietas diagonales y es común ver fallas por adherencia y anclaje del refuerzo longitudinal de las vigas a causa del poco desarrollo del mismo o a consecuencia de esfuerzos excesivos de flexión. En las losas se pueden producir grietas por punzonamiento alrededor de las columnas y grietas longitudinales a lo largo de la losa de piso debido a la excesiva demanda de flexión que puede imponer el sismo.

**DAÑOS NO ESTRUCTURALES:** Generalmente se deben a la unión inadecuada entre los muros de relleno o divisorios, las instalaciones y la estructura, o a la falta de rigidez de la misma, lo que se traduce en excesivas deformaciones que no pueden ser absorbidas por este tipo de componentes. Los daños no estructurales más comunes son el agrietamiento de elementos divisorios de mampostería, el aplastamiento de las uniones entre estructuras y los elementos no estructurales, el desprendimiento de acabados y la rotura de vidrios y de instalaciones de diferente tipo.

**DEGRADACIÓN (DETERIORO) AMBIENTAL:** Procesos que dañan la base de recursos naturales o que afectan de manera adversa procesos naturales y

ecosistemas, reduciendo su calidad y productividad. Los efectos potenciales son variados e incluyen la transformación de recursos en amenazas de tipo socio-natural.

**DESARROLLO SOSTENIBLE:** Proceso de transformaciones naturales, económico-sociales, culturales e institucionales, que tienen por objeto un aumento acumulativo y durable en la cantidad y calidad de bienes, servicios y recursos, unidos a cambios sociales tendientes a mejorar de forma equitativa la seguridad y la calidad de la vida humana y asegurar el mejoramiento de sus condiciones de vida, sin deteriorar el ambiente natural ni comprometer las bases de un desarrollo similar para las futuras generaciones.

**DESASTRE:** Situación o proceso social que se desencadena como resultado de la manifestación de un fenómeno de origen natural, socio-natural o antrópico que, al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en una población, en su producción e infraestructura, causa alteraciones intensas, graves y extendidas en las condiciones normales de funcionamiento del país, región, zona, o comunidad afectada, las cuales no pueden ser enfrentadas o resueltas de manera autónoma utilizando los recursos disponibles a la unidad social directamente afectada. Estas alteraciones están representadas de forma diversa y diferenciada por, entre otras cosas, la pérdida de vida y salud de la población; la destrucción, pérdida o inutilización total o parcial de bienes de la colectividad y de los individuos, así como daños severos en el ambiente, requiriendo de una respuesta inmediata de las autoridades y de la población para atender a los afectados y reestablecer umbrales aceptables de bienestar y oportunidades de vida.

**DUCTILIDAD:** El comportamiento sísmico adecuado de una estructura depende, además de su resistencia, de su habilidad para disipar energía vibratoria a partir del instante en que sus deformaciones exceden el límite elástico, es decir, de su ductilidad. La vibración de la estructura en el rango plástico durante sismos fuertes significa, por lo tanto, la ocurrencia de daños estructurales y no estructurales. Esto no debe confundirse con el comportamiento deficiente que una estructura puede tener frente a un sismo moderado, debido a un déficit de resistencia o a una ductilidad escasa, es decir, con su vulnerabilidad.

**EDIFICACIÓN:** Es una construcción cuyo uso principal es la habitación u ocupación por seres humanos (NSR-98).

**EFFECTOS DIRECTOS:** Aquellos que mantienen relación de causalidad directa e inmediata con la ocurrencia de un fenómeno físico, representados usualmente por el daño en las personas, infraestructuras, sistemas productivos, bienes y capitales, servicios y ambiente, y por el impacto inmediato en las actividades sociales y económicas.

**EFFECTOS INDIRECTOS:** Aquellos que mantienen relación de causalidad con los efectos directos, representados usualmente por impactos concatenados o posteriores sobre la población, sus actividades económicas y sociales o sobre el ambiente. Por ejemplo, pérdidas de oportunidades productivas e ingresos futuros, aumentos en los niveles de pobreza, aumentos en costos de transporte debido a la pérdida de puentes y caminos, etc.

**ELEMENTOS EN RIESGO (EXPUESTOS):** Es el contexto social y material representado por las personas y por los recursos, producción, infraestructura, bienes, servicios y ecosistemas que pueden ser afectados directamente por un fenómeno físico.

**ELEMENTOS O MIEMBROS ESTRUCTURALES:** Componentes del sistema estructural del edificio.

**EMERGENCIA:** Estado caracterizado por la alteración o interrupción intensa y grave de las condiciones normales de funcionamiento u operación de una comunidad, zona o región, causada por un fenómeno o por la inminencia del mismo, que requiere de una reacción inmediata y exige la atención de las instituciones del Estado, los medios de comunicación y de la comunidad en general. Representa la fase inmediata después del impacto de un fenómeno físico peligroso cuando las condiciones mínimas necesarias para la supervivencia y funcionamiento de la unidad social afectada no se satisfacen. Constituye una fase o componente de una condición de desastre pero no es, per se, una noción sustitutiva de desastre. Puede haber condiciones de emergencia sin un desastre.

**ESCENARIOS DE RIESGO:** Un análisis, presentado en forma escrita, cartográfica o diagramada, utilizando técnicas cuantitativas y cualitativas, y basado en métodos participativos, de las condiciones, causas y las dimensiones del riesgo que afecta a territorios y grupos sociales determinados. Significa una consideración pormenorizada de las amenazas y vulnerabilidades, de los procesos sociales causales del riesgo y de los actores sociales que contribuyen a las condiciones de riesgo existentes. Como metodología ofrece una base para la toma de decisiones sobre la intervención del riesgo; lo que supera la simple estimación de diferentes escenarios de consecuencias o efectos potenciales en un área geográfica.

**ESTRUCTURA O SISTEMA ESTRUCTURAL:** Es un ensamblaje de elementos, diseñado para soportar las cargas gravitacionales y resistir las fuerzas horizontales (NSR-98).

**EVALUACIÓN DE DAÑOS:** Existen algunas diferencias en las metodologías utilizadas en la evaluación del daño (definición de la intensidad y extensión del daño, evaluación global de daño o evaluación de daños de componentes individuales, etc.). Una vez definido el daño los evaluadores deben identificar cuál es el nivel de daño apropiado para el edificio inspeccionado.

**EVALUACIÓN DE HABITABILIDAD:** Evaluación rápida y con limitaciones de tiempo, basada en criterio y juicio experto, en la inspección visual e información fácil de recopilar, con el fin de detectar durante una crisis sísmica, los edificios dañados por un terremoto que pueden ser utilizados salvaguardando razonablemente la vida humana (Goretti 2001). Es evidente que se acepta que puedan ocurrir otros daños con las réplicas pero el edificio debe seguir siendo seguro para la vida humana.

**EVALUACIÓN DE LA AMENAZA:** Es el proceso mediante el cual se determina la posibilidad de que un fenómeno físico se manifieste, con un determinado grado de severidad, durante un período de tiempo definido y en un

área determinada. Representa la recurrencia estimada y la ubicación geográfica de eventos probables.

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD:** Proceso mediante el cual se determina el grado de susceptibilidad y predisposición al daño o pérdida de un elemento o grupo de elementos expuestos ante una amenaza particular y los factores y contextos que pueden impedir o dificultar de manera importante la recuperación, rehabilitación y reconstrucción con los recursos disponibles en la unidad social afectada.

**FENÓMENO (EVENTO) PELIGROSO:** Suceso natural, socio-natural o antrópico que se describe en términos de sus características, su severidad, ubicación y área de influencia. Es la materialización en el tiempo y el espacio de una amenaza. Es importante diferenciar entre un fenómeno potencial o latente que constituye una amenaza, y el fenómeno mismo, una vez que éste se presenta.

**GESTIÓN DE RIESGOS:** Proceso social complejo que conduce al planeamiento y aplicación de políticas, estrategias, instrumentos y medidas de intervención orientadas a impedir, reducir, prever y controlar los efectos adversos de fenómenos peligrosos sobre la población, la infraestructura, los sistemas productivos, los bienes y servicios y el ambiente. Acciones integradas de reducción, previsión y control de riesgos y los factores particulares de riesgo a través de actividades de prevención, mitigación, preparación para, y atención de emergencias y desastres y la rehabilitación, reconstrucción y recuperación post-impacto.

**HABITABILIDAD:** No existe una clara definición de habitabilidad en la literatura, aunque en principio se puede definir un edificio habitable como aquel que cumple los requerimientos de seguridad y comodidad que hace posible que se considere el edificio operativo aunque tenga algunos daños. Es indudable que la definición de habitabilidad implica responsabilidades para el evaluador, por esta razón en algunos países los edificios habitables se clasifican como inspeccionados (AIS 2003).

**HOLISMO:** Doctrina que propugna la concepción de cada realidad como un todo distinto de la suma de las partes que lo componen. (DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA - Vigésima segunda edición).

**HOLÍSTICO:** Perteneciente o relativo al holismo. (DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA - Vigésima segunda edición).

**INTEGRAL:** Dicho de cada una de las partes de un todo: Que entra en su composición sin serle esencial, de manera que el todo puede subsistir, aunque incompleto, sin ella. (DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA - Vigésima segunda edición).

**INTENSIDAD:** Medida cuantitativa y cualitativa de la severidad de un fenómeno en un sitio específico.

**INTERVENCIÓN CORRECTIVA:** Proceso que pretende reducir los niveles de riesgo existentes en la sociedad o en un sub-componente de la sociedad, producto de procesos históricos de ocupación del territorio, de fomento a la producción y la construcción de infraestructuras y edificaciones, entre otras cosas. Reacciona a, y

compensa el riesgo ya construido en la sociedad. Ejemplos de acciones o instrumentos de la gestión correctiva incluyen la construcción de diques para proteger poblaciones ubicadas en las zonas de inundación, el refuerzo de edificios para dotarlos de niveles adecuados de protección sísmo resistente o contra huracanes, cambios en el patrón de cultivos para adecuarse a condiciones ambientales adversas, reforestación de cuencas para disminuir procesos de erosión, deslizamiento e inundación.

**INTERVENCIÓN PROSPECTIVA:** Significa la anticipación o previsión de riesgos futuros que pueden asociarse con nuevos procesos de desarrollo e inversión, tomando las medidas para garantizar que nuevos factores de riesgo no surjan con las iniciativas o proyectos de construcción, producción, circulación, comercialización, etc. La intervención prospectiva debe verse como un componente integral de la planificación del desarrollo y del ciclo de planificación de nuevos proyectos, sean estos desarrollados por gobierno, sector privado o sociedad civil. El objetivo último de este tipo de intervención es evitar nuevos riesgos, garantizar adecuados niveles de sostenibilidad de las inversiones, y así evitar tener que aplicar medidas costosas de intervención correctiva en el futuro.

**LÍNEAS (REDES) VITALES:** Infraestructura básica o esencial. Energía: presas, subestaciones, líneas de fluido eléctrico, plantas de almacenamiento de combustibles, oleoductos, gasoductos. Transporte: redes viales, puentes, terminales de transporte, aeropuertos, puertos fluviales y marítimos. Agua: plantas de tratamiento, acueductos, alcantarillados, canales de irrigación y conducción. Comunicaciones: redes y plantas telefónicas, estaciones de radio y televisión, oficinas de correo e información pública.

**MITIGACIÓN DE RIESGOS:** Planificación y ejecución de medidas de intervención dirigidas a reducir o disminuir el riesgo existente. La mitigación asume que en muchas circunstancias no es posible, ni factible controlar el riesgo totalmente; es decir, que en muchos casos no es posible impedir o evitar totalmente los daños y sus consecuencias sino más bien reducirlos a niveles aceptables y factibles. La mitigación de riesgos puede operar en el contexto de la reducción o eliminación de riesgos existentes, o aceptar estos riesgos y, a través de los preparativos, los sistemas de alerta (temprana), etc. buscar disminuir las pérdidas y daños que ocurrirían con la incidencia de un evento peligroso.

**PÉRDIDA:** Valor adverso de orden económico, social o ambiental alcanzado por una variable durante un tiempo de exposición específico.

**PLAN DE CONTINGENCIA:** Procedimientos operativos específicos y preestablecidos de coordinación, alerta, movilización y respuesta ante la manifestación o la inminencia de un fenómeno peligroso particular para el cual se tienen escenarios definidos.

**PLAN DE EMERGENCIAS:** Definición de funciones, responsabilidades y procedimientos generales de reacción y alerta institucional, inventario de recursos, coordinación de actividades operativas y capacitación a través de ejercicios de simulación y revisión de procedimientos, con el fin de salvaguardar la vida,

proteger los bienes y recobrar la normalidad tan pronto como sea posible después de que se presente un fenómeno peligroso.

**PLAN DE GESTIÓN DE RIESGOS:** Conjunto coherente y ordenado de estrategias, programas y proyectos, que se formula para orientar las actividades de reducción, previsión y control de riesgos, la preparación para la atención de la emergencia y la recuperación en caso de desastre. Al garantizar condiciones apropiadas de seguridad frente a los diversos riesgos existentes y disminuir las pérdidas materiales y consecuencias sociales que se derivan de los desastres, se mejora la calidad de vida de la población y se aumenta la sostenibilidad.

**PREVENCIÓN DE RIESGOS:** Medidas y acciones dispuestas con anticipación que buscan prevenir nuevos riesgos o impedir que aparezcan. Significa trabajar en torno a amenazas y vulnerabilidades factibles. Visto de esta manera, la prevención de riesgos se refiere a la intervención prospectiva del Riesgo, mientras que la mitigación de riesgos se refiere a la intervención correctiva. Dado que la prevención absoluta rara vez es posible, la prevención tiene una connotación semi-utópica y debe ser vista a la luz de consideraciones sobre el riesgo aceptable, el cual es socialmente determinado.

**PRONÓSTICO:** Cuando se aplica a los fenómenos físicos se refiere a la determinación de la probabilidad de que un fenómeno físico se manifieste con base en: el estudio de su mecanismo físico generador, el monitoreo del sistema perturbador y/o el registro de eventos en el tiempo. Un pronóstico puede ser a corto plazo, generalmente basado en la búsqueda e interpretación de señales o eventos precursores del fenómeno peligroso; a mediano plazo, basado en la información estadística de parámetros indicadores de la potencialidad del fenómeno, y a largo plazo, basado en la determinación del evento máximo probable o creíble dentro de un período de tiempo que pueda relacionarse con la planificación del área afectable.

**RECUPERACIÓN:** Proceso de reestablecimiento de condiciones adecuadas y sostenibles de vida mediante la rehabilitación, reparación, reconstrucción o reemplazo de la infraestructura, bienes y servicios destruidos, interrumpidos o deteriorados en el área afectada, y la reactivación o impulso del desarrollo económico y social de la comunidad.

**REDUCCIÓN DE RIESGOS:** Medidas de intervención correctivas y/o prospectivas dirigidas a cambiar o disminuir las condiciones de riesgo existente o de nuevos riesgos que se puedan generar. Son medidas de prevención-mitigación y preparación, que se adoptan en forma anticipada a la manifestación de un fenómeno físico con el fin de: *a)* evitar que se presente un fenómeno peligroso, reducir su peligrosidad o evitar la exposición de los elementos ante el mismo; *b)* disminuir sus efectos sobre la población, la infraestructura, los bienes y servicios y el ambiente, reduciendo la vulnerabilidad que exhiben.

**RESILIENCIA:** Capacidad de un ecosistema, sociedad o comunidad de absorber un impacto negativo o de recuperarse una vez haya sido afectada por un fenómeno peligroso.

**RESPUESTA:** Etapa de la atención que corresponde a la ejecución de las acciones previstas en la etapa de preparación y que, en algunos casos, ya han sido antecedidas por actividades de alistamiento y movilización, motivadas por la declaración de diferentes estados de alerta. Corresponde a la reacción inmediata para la atención oportuna de la población.

**RIESGO ACEPTABLE:** Posibles consecuencias sociales, económicas y ambientales que, implícita o explícitamente, una sociedad o un segmento de la misma asume o tolera por considerar innecesario, inoportuno o imposible una intervención para su reducción dado el contexto económico, social, político, cultural y técnico existente. Es el nivel de probabilidad de una consecuencia dentro de un período de tiempo, que se considera admisible para determinar las mínimas exigencias o requisitos de seguridad, con fines de protección y planificación, ante posibles fenómenos peligrosos.

**RIESGO COLECTIVO:** Posibilidad o peligro de sufrir daños o pérdidas. Es la probabilidad de que se presente un determinado nivel de efectos adversos de carácter económico, social o ambiental en un sitio particular y durante un período de tiempo definido, cuya magnitud y severidad son tales que afectarían la comunidad en general. Se obtiene de relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

**RIESGO ESTRUCTURAL:** Se acepta, en general, y así se recoge en algunas normativas, que los edificios se diseñen para resistir sismos fuertes sin colapso, aun cuando se produzcan daños estructurales severos; sismos moderados sin daño estructural, pero con algún daño en elementos no estructurales; y sismos leves sin daño.

**SISMO O TERREMOTO:** Es una transformación brusca de energía debido a que la energía de deformación acumulada en la litosfera se convierte súbitamente en energía cinética, ésta se manifiesta por medio de movimientos ondulatorios que se transmiten en el interior y en la superficie de la tierra. Aunque la energía se atenúa con la distancia, es absorbida por los edificios y, en caso de sismos severos, disipada.

**SISTEMA DE GESTIÓN DE RIESGOS:** Organización abierta, dinámica y funcional de instituciones y su conjunto de orientaciones, normas, recursos, programas y actividades de carácter técnico-científico, de planificación, de preparación para emergencias y de participación de la comunidad, cuyo objetivo es la incorporación de las prácticas y procesos de la gestión de riesgos en la cultura y en el desarrollo económico y social de las comunidades.

**SISTEMA INTEGRADO DE INFORMACIÓN:** Cuando se aplica a la gestión de riesgos se refiere a la base de conocimiento sobre las amenazas, vulnerabilidades y riesgos, de vigilancia y alerta, de capacidad de respuesta y de procesos de gestión, al servicio de las instituciones y de la población; fundamental para la toma de decisiones y la priorización de las actividades y proyectos de gestión de riesgos.

**SOLICITACIONES:** Son las fuerzas u otras acciones que afectan la estructura debido al peso propio de la misma, de los elementos no estructurales, de sus ocupantes y sus posesiones, de efectos ambientales tales como el viento o el sismo,

de los asentamientos diferenciales y de los cambios dimensionales causados por variaciones en la temperatura o efectos reológicos de los materiales. En general corresponden a todo lo que pueda afectar la estructura.

**VARIABLE LINGÜÍSTICA:** Aquella que puede tomar por valor términos del lenguaje natural, como mucho, poco, alto, o bajo.

**VULNERABILIDAD:** Según la Norma Colombiana de Construcciones Sismo Resistentes NSR-98, es la cuantificación del potencial de mal comportamiento con respecto a una sollicitación.

En general se acepta que la vulnerabilidad de un edificio puede ser estructural y no-estructural. La vulnerabilidad estructural está relacionada fundamentalmente con la capacidad que tiene la estructura para soportar los desplazamientos y los esfuerzos que uno o varios movimientos sísmicos pueden causarle durante su vida útil. La vulnerabilidad no-estructural, por otra parte, tiene relación con la operación o funcionamiento del edificio, lo que depende del comportamiento de elementos tales como acabados, divisiones, instalaciones, equipos, etc. De su desempeño en el caso de un sismo depende que el edificio mantenga su operación y pueda seguir ofreciendo sus servicios. Este aspecto es de máxima importancia en el caso de aquellos edificios cuya función es vital, como es el caso de los edificios esenciales. Infortunadamente, los últimos terremotos han demostrado graves “colapsos funcionales”, en particular en hospitales, aún cuando sus estructuras han tenido daños leves. Esta circunstancia ha motivado la revisión de normas, y en particular del coeficiente de importancia asignado a estos edificios, lo cual está demostrado que no es una garantía suficiente para lograr un buen comportamiento.

## Apéndice B. PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO

### B.1. Proceso analítico jerárquico, PAJ

El Proceso Analítico Jerárquico (Analytical Hierarchy Process - AHP) es una técnica bastante usada para la toma de decisiones con atributos múltiples (Saaty 1980; 1987). Permite la descomposición de un problema en una jerarquía y asegura que tanto los aspectos cualitativos como cuantitativos de un problema sean incorporados en el proceso de evaluación, durante la cual la opinión es extraída sistemáticamente por medio de comparaciones entre pares (*pairwise*). El PAJ es una metodología de decisión compensatoria porque las alternativas que son eficientes con respecto a uno o más objetivos pueden compensarse mediante su desempeño con respecto a otros objetivos. El PAJ permite la aplicación de datos, experiencia, conocimiento, e intuición de una forma lógica y profunda dentro de una jerarquía como un todo.

El núcleo del PAJ es una comparación de atributos entre pares ordinales; subindicadores en este contexto, en los cuales enunciados de preferencia son identificados. Para un objetivo dado, las comparaciones son realizadas por pares de subindicadores, primero planteando la pregunta “¿Cuál de los dos es el más importante?” y segundo “¿Por cuánto?”. La fortaleza de la preferencia es expresada en una escala semántica de 1 a 9, lo que permite la medida dentro del mismo orden de magnitud. La preferencia de 1 indica igualdad entre dos subindicadores mientras que una preferencia de 9 indica que un subindicador es 9 veces más grande o más importante que aquel con el que es comparado. De esta forma las comparaciones están siendo realizadas entre pares de subindicadores donde la percepción es lo suficientemente significativa para hacer una distinción. Estas comparaciones resultan en una matriz  $A$  de comparaciones (ver Tabla B.1) donde  $A_{ii} = 1$  y  $A_{ij} = 1 / A_{ji}$ .

Tabla B.1. Matriz de comparaciones A de tres subindicadores (escala semántica)

Objetivo	Indicador A	Indicador B	Indicador C
Indicador A	1	3	1
Indicador B	1 / 3	1	1 / 5
Indicador C	1	5	1

Para el ejemplo ilustrado en la Tabla B.1, el indicador A es tres veces más importante que el indicador B, y consecuentemente el indicador B tiene un tercio de la importancia del indicador A. Cada juicio refleja, en la realidad, la percepción de la relación de las contribuciones relativas (pesos) de los dos indicadores al objetivo total que se valora como se muestra en la Tabla B.2.

Tabla B.2. Matriz de comparaciones A de tres subindicadores (pesos)

Objetivo	Indicador A	Indicador B	Indicador C
Indicador A	$w_A/w_A$	$w_A/w_B$	$w_A/w_C$
Indicador B	$w_B/w_A$	$w_B/w_B$	$w_B/w_C$
Indicador C	$w_C/w_A$	$w_C/w_B$	$w_C/w_C$

Los pesos relativos de los su-indicadores son calculados usando una técnica de vectores propios. Una de las ventajas de este método es que es capaz de verificar la consistencia de la matriz de comparación a través del cálculo de los valores propios (eigenvalues).

El PAJ tolera la inconsistencia a través de la cantidad de redundancia. Para una matriz de tamaño  $n \times n$  sólo comparaciones  $n-1$  son requeridas para establecer pesos para los indicadores  $n$ . El número real de comparaciones realizadas en el PAJ es  $n(n-1)/2$ . Esta redundancia es una característica útil como lo es, en forma análoga, la estimación de un número como resultados de obtener el promedio de repetidas observaciones. Esto conduce resulta en un conjunto de pesos que son menos sensitivos a errores de juicio. Además, esta redundancia permite la medición de los errores de juicio al dar medios para calcular una relación de inconsistencia.

Esta técnica se ajusta bien al tipo de problemas complejos de toma de decisiones que involucran metas múltiples relacionadas con la planificación. La principal ventaja del PAJ es que se basa en la comparación de pares; la mente humana puede manejar fácilmente dos problemas distintos y examinar sus diferencias.

El PAJ facilita el análisis multicriterio basado en importancias relativas. Es una técnica útil para asignar los factores de participación o importancia de los componentes de un indicador de una manera más rigurosa que la directa apreciación utilizando el “juicio” o “sentimiento” de los expertos (Hyman 1998).

Utilizando la Tabla B.3 propuesta por Saaty y Vargas (1991) para la asignación de importancias o preferencias se puede asignar un puntaje de importancia relativa por parejas de indicadores, teniendo como referencia qué

tanto, en forma comparativa, cada indicador refleja el aspecto que se desea representar.

**Tabla B.3. Escala de asignación de importancia comparativa entre parejas**

Juicio de Importancia	Puntaje
Extremadamente más importante	9
	8
Muy fuertemente más importante	7
	6
Fuertemente más importante	5
	4
Moderadamente más importante	3
	2
Igualmente importante	1

La asignación de los puntajes de importancia relativa se realiza comparando la importancia del primer indicador con respecto a los demás. Por ejemplo, el área destruida de edificios es moderadamente más importante (puntaje 5) que el número de centrales telefónicas afectadas, cuando se tiene como referente el riesgo sísmico físico. Con base en estos puntajes iniciales se formula la matriz para el análisis de consistencia. Esta matriz se ajusta y evalúa hasta que se considere que la consistencia es adecuada.

De acuerdo con la técnica PAJ la relación de consistencia  $CR$  es el cociente entre el índice de consistencia  $CI$  de una matriz de comparaciones dada y el valor del mismo índice para una matriz de comparaciones generada aleatoriamente

$$CR = \frac{CI}{CI_{random}} \leq 0.1 \tag{B.1}$$

donde el índice de consistencia,  $CI$ , es definido como

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{B.2}$$

y  $\lambda_{max}$  es el valor propio principal, real mayor, de la matriz de comparación por pares. La confiabilidad es suficiente si  $CR$  es menor o igual a 0.1. Si no es así es necesario revisar los criterios con que se conformó la matriz de comparación. Si la consistencia es buena se calcula el vector propio correspondiente al valor propio principal, normalizándolo se obtienen los pesos o influencias que se utilizan en la evaluación.

## B.2. Cálculo de los pesos para la evaluación holística del riesgo

A continuación se presentan las matrices de comparación para los factores de riesgo físico y de agravamiento. Se indica también sus respectivos valores propios, índice y relación de consistencia, y el cálculo de los pesos. Los pesos calculados fueron utilizados para la evaluación de las ciudades de Bogotá y Barcelona.

**Tabla B.3. Matriz de comparación para riesgo físico**

	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$
$F_{RF1}$	1	4	4	2	3	3	5	5
$F_{RF2}$	0,25	1	1	0,5	1	1	3	3
$F_{RF3}$	0,25	1	1	0,5	1	1	3	3
$F_{RF4}$	0,50	2	2	1	2	2	4	4
$F_{RF5}$	0,33	1	1	0,5	1	1	3	3
$F_{RF6}$	0,33	1	1	0,5	1	1	3	3
$F_{RF7}$	0,20	0,33	0,33	0,25	0,33	0,33	1	1
$F_{RF8}$	0,20	0,33	0,33	0,25	0,33	0,33	1	1

Valor propio = 8,11

CI = 0,0152

CR = 0,0108

**Tabla B.4. Importancia para riesgo físico**

	Vector propio principal	Pesos
$F_{RF1}$	0,7410	0,31
$F_{RF2}$	0,2420	0,10
$F_{RF3}$	0,2420	0,10
$F_{RF4}$	0,4368	0,19
$F_{RF5}$	0,2496	0,11
$F_{RF6}$	0,2496	0,11
$F_{RF7}$	0,0958	0,04
$F_{RF8}$	0,0958	0,04

**Tabla B.5. Matriz de comparación para el coeficiente de agravamiento**

	$F_{FS1}$	$F_{FS2}$	$F_{FS3}$	$F_{FS4}$	$F_{FS5}$	$F_{FR1}$	$F_{FR2}$	$F_{FR3}$	$F_{FR4}$	$F_{FR5}$	$F_{FR6}$
$F_{FS1}$	1	4	4	1	1	3	3	4	4	3	3
$F_{FS2}$	0,25	1	1	0,25	0,25	0,5	0,5	1	1	0,5	0,5
$F_{FS3}$	0,25	1	1	0,25	0,25	0,5	0,5	1	1	0,5	0,5
$F_{FS4}$	1	4	4	1	1	3	3	4	4	3	3
$F_{FS5}$	1	4	4	1	1	3	3	4	4	3	3
$F_{FR1}$	0,33	2	2	0,33	0,33	1	1	2	2	0,5	0,5
$F_{FR2}$	0,33	2	2	0,33	0,33	1	1	2	2	0,5	0,5
$F_{FR3}$	0,25	1	1	0,25	0,25	0,5	0,5	1	2	0,33	0,33
$F_{FR4}$	0,25	1	1	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	1	0,33	0,33
$F_{FR5}$	0,33	2	2	0,33	0,33	2	2	3	3	1	1
$F_{FR6}$	0,33	2	2	0,33	0,33	2	2	3	3	1	1

Valor propio = 11,24

CI = 0,024

CR = 0,016

**Tabla B.6. Pesos para el coeficiente de agravamiento**

	Vector propio principal	Pesos
$F_{FS1}$	1,0000	0,18
$F_{FS2}$	0,2136	0,04
$F_{FS3}$	0,2136	0,04
$F_{FS4}$	1	0,18
$F_{FS5}$	1	0,18
$F_{FR1}$	0,33928	0,06
$F_{FR2}$	0,33928	0,06
$F_{FR3}$	0,21601	0,04
$F_{FR4}$	0,1895	0,04
$F_{FR5}$	0,47833	0,09
$F_{FR6}$	0,47833	0,09

### B.3. Pesos para la evaluación de la gestión de riesgos

A continuación se presentan las matrices de comparación conformadas por los expertos de la Dirección de Prevención y Atención de Desastres de la ciudad de Bogotá D.C. con su respectiva relación e índice de consistencia y los pesos obtenidos a partir de su vector propio principal para los subindicadores de las cuatro políticas públicas.

### B.3.1 Identificación del riesgo

Los subindicadores de identificación del riesgo fueron identificados en el Capítulo 4 como:

- IR1 Inventario sistemático de desastres y pérdidas
- IR2 Monitoreo de amenazas y pronóstico
- IR3 Evaluación de amenazas y su representación
- IR4 Evaluación de vulnerabilidad y riesgo
- IR5 Información pública y participación comunitaria
- IR6 Capacitación y educación en gestión de riesgos

La Tabla B.7 presenta la matriz de comparación obtenida y la Tabla B.8 los pesos resultantes.

**Tabla B.7. Matriz de importancias relativas para la identificación riesgo (DPAE)**

	IR1	IR2	IR3	IR4	IR5	IR6
IR1	1	0,2	0,2	0,2	1	0,3
IR2	5	1	0,5	1	5	2
IR3	5	2	1	2	5	4
IR4	5	1	0,5	1	5	2
IR5	1	0,2	0,2	0,2	1	0,3
IR6	3	0,5	0,25	0,5	3	1

Valor propio = 6,0877

CI = 0,018

CR = 0,014

**Tabla B.8. Pesos utilizados para los indicadores de identificación del riesgo**

Indicador	Vector propio principal	Vector propio principal normalizado	Pesos
IR1	0,0982	0,05	5
IR2	0,4441	0,22	22
IR3	0,7280	0,36	36
IR4	0,4441	0,22	22
IR5	0,0969	0,05	5
IR6	0,2381	0,12	12

### B.3.2 Reducción del riesgo

Los subindicadores de reducción del riesgo fueron identificados en el Capítulo 4 como:

- RR1 Integración del riesgo en la definición de usos y la planificación
- RR2 Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental
- RR3 Implementación de técnicas de protección y control de fenómenos
- RR4 Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos
- RR5 Actualización y control de la aplicación de normas y códigos
- RR6 Intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados

La Tabla B.9 presenta la matriz de comparación obtenida y la Tabla B.10 los pesos resultantes.

**Tabla B.9. Matriz de importancias relativas para la reducción del riesgo (DPAE)**

	RR1	RR2	RR3	RR4	RR5	RR6
RR1	1	1	0,25	0,5	3	1
RR2	1	1	0,25	0,50	3	1
RR3	4	4	1	2	5	4
RR4	2	2	0,5	1	5	2
RR5	0,33	0,33	0,2	0,2	1	0,3
RR6	1	1	0,25	0,5	3	1

Valor propio = 6,1343

CI = 0,027

CR = 0,022

**Tabla B.10. Pesos utilizados para los indicadores de reducción del riesgo**

Indicador	Vector propio principal	Vector propio principal normalizado	Pesos
RR1	0,3172	0,14	14
RR2	0,1896	0,09	9
RR3	0,1597	0,07	7
RR4	0,69	0,31	31
RR5	0,4382	0,20	20
RR6	0,4122	0,19	19

### B.3.3 Gestión de desastres

Los subindicadores de gestión de desastres fueron identificados en el Capítulo 4 como:

- MD1 Organización y coordinación de operaciones de emergencia
- MD2 Planificación de la respuesta en caso de emergencia y sistemas de alerta
- MD3 Dotación de equipos, herramientas e infraestructura
- MD4 Simulación, actualización y prueba de la respuesta interinstitucional
- MD5 Preparación y capacitación de la comunidad
- MD6 Planificación para la rehabilitación y reconstrucción

La Tabla B.11 presenta la matriz de comparación obtenida y la Tabla B.12 los pesos resultantes.

**Tabla B.11. Matriz de importancias relativas para el gestión de desastres (DPAE)**

	MD1	MD2	MD3	MD4	MD5	MD6
MD1	1	2	2	5	4	5
MD2	0,5	1	1	5	2	5
MD3	0,5	1	1	5	2	5
MD4	0,2	0,2	0,2	1	0,33	1
MD5	0,3	0,5	0,5	3	1	3
MD6	0,2	0,2	0,2	1	0,33	1

Valor propio = 6,0684

CI = 0,014

CR = 0,011

**Tabla B.12. Pesos utilizados para los indicadores de gestión de desastres**

Indicador	Vector propio principal	Vector propio principal normalizado	Pesos
MD1	0,2272	0,11	11
MD2	0,2272	0,11	11
MD3	0,8023	0,40	40
MD4	0,4392	0,22	22
MD5	0,0923	0,05	5
MD6	0,2272	0,11	11

**B.3.4 Gobernabilidad y protección financiera**

Los subindicadores de gobernabilidad y protección financiera fueron identificados en el Capítulo 4 como:

- PF1 Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada
- PF2 Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional
- PF3 Localización y movilización de recursos de presupuesto
- PF4 Implementación de redes y fondos de seguridad
- PF5 Seguros y estrategias de transferencia de perdidas activos públicos
- PF6 Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado

La Tabla B.13 presenta la matriz de comparación obtenida y la Tabla B.14 los pesos resultantes.

**Tabla B.13. Matriz de importancias relativas para la protección financiera (DPAE)**

	PF1	PF2	PF3	PF4	PF5	PF6
PF1	1	0,33	2	5	2	5
PF2	3	1	5	6	5	6
PF3	0,5	0,2	1	3	1	3
PF4	0,2	0,17	0,33	1	0,33	1
PF5	0,5	0,2	1	3	1	3
PF6	0,2	0,17	0,17	1	0,33	1

Valor propio = 6,0909

CI = 0,018

CR = 0,015

**Tabla B.14. Pesos utilizados para los indicadores de protección financiera**

Indicador	Vector propio principal	Vector propio principal normalizado	Pesos
PF1	-0,3942	0,21	21
PF2	-0,8583	0,46	46
PF3	-0,2159	0,12	12
PF4	-0,0887	0,05	5
PF5	-0,2159	0,12	12
PF6	-0,0828	0,04	4

#### **B.4. Referencias**

- Saaty T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill Book Co., N.Y.
- Saaty R.W. (1987). “The analytic hierarchy process- what it is and how it is used”, *Mathematical Modeling*, 9, 161-176.
- Hyman B. (1998). *Fundamentals of Engineering Design*, Upper Saddle River, Prentice Hall, New Jersey.
- Saaty T.L., Vargas L.G. (1991). *Prediction, Projection, and Forecasting: Applications of the Analytical Hierarchy Process in Economics, Finance, Politics, Games, and Sports*. Boston: Kluwer Academic Publishers

## Apéndice C. TEORÍA DE CONJUNTOS DIFUSOS

### C.1. Algunas definiciones básicas

*Conjunto difuso.* Es un conjunto sin un límite definido. La transición entre “pertenecer a un conjunto” y “no pertenecer a un conjunto” es gradual y esta transición suave es caracterizada por una función de pertenencia. Los conjuntos definidos de forma imprecisa desempeñan un papel importante en el pensamiento humano, particularmente en los dominios del reconocimiento de patrones, de la comunicación de la información y de la abstracción (Zadeh, 1965).

*Inteligencia computacional (Soft computing).* Es un enfoque emergente de la computación que tiene un paralelo notable con la capacidad de la mente humana de razonar y de aprender en un ambiente de incertidumbre e imprecisión (Zadeh, 1992). Los componentes principales de la *soft computing* son la lógica difusa, la computación neuronal y los algoritmos genéticos. Según Jang, Sun y Mizutani (1997), las principales características del procesamiento neuro-fuzzy y del *soft computing* son: que utilizan la experticia humana, son modelos computacionales inspirados en la biología, aplican nuevas técnicas de optimización, implican cálculo numérico, tienen nuevos campos de aplicación, tienen un modelo de aprendizaje libre, significan procesos de cálculo intenso, son tolerantes a fallos, sus características pueden ser enfocadas hacia un objetivo y tienen aplicaciones en el mundo real.

*Razonamiento aproximado.* El razonamiento con lógica difusa no es exacto sino en cierta forma impreciso. De acuerdo con las premisas y las implicaciones difusas las conclusiones que se obtienen o se deducen igualmente difusas (Rutkowska, 2002).

*Variable lingüística.* Este concepto fue introducido por Zadeh (1975) para proporcionar una base para el razonamiento aproximado, así: “por una variable lingüística se quiere decir que se trata de una variable cuyos valores son palabras u oraciones en un lenguaje natural o artificial. La motivación para el uso de palabras o de oraciones en lugar de números es que las caracterizaciones lingüísticas son, en general, menos precisas que los valores numéricos” (Rutkowska, 2002).

La matemática de los conjuntos difusos trabaja con conjuntos que no tienen límites perfectamente definidos, es decir, la transición entre la pertenencia y no-pertenencia de una variable a un conjunto es gradual. Estos conjuntos se caracterizan por las funciones de pertenencia, que dan flexibilidad a la modelación utilizando expresiones lingüísticas, tales como mucho, poco, leve, severo, escaso, suficiente, caliente, frío, joven, viejo, etc. Surgió de la necesidad de solucionar problemas complejos con información imprecisa, para los cuales la matemática y lógica tradicionales no son suficientes. La lógica difusa es un lenguaje que permite trasladar sentencias sofisticadas del lenguaje natural a un formalismo matemático.

La lógica difusa fue inventada en 1960 por Lofti Zadeh, guiado por el principio de que las matemáticas pueden ser usadas para encadenar el lenguaje con la inteligencia humana. Algunos conceptos pueden ser mejor definidos con palabras, los conjuntos difusos ayudan a construir mejores modelos de la realidad.

## C.2. Características generales de los conjuntos difusos

Estas son algunas de las características matemáticas de los conjuntos difusos según Rutkowska (2002), Jang *et al.* (1997), Nauk *et al.* (1997), Kosko (1992) y Martín del Brio y Sanz (2001). En la Figura C.1 se presentan algunas de las características de un conjunto difuso.

*Conjunto difuso:* Expresa el grado de pertenencia al conjunto que tiene cada uno de los elementos. El conjunto difuso  $A$  en  $X$  puede definirse como el conjunto de los pares ordenados

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \quad (C.1)$$

donde  $\mu_A(x)$  es la función de pertenencia al conjunto difuso.

*Funciones de pertenencia:* dan para cada elemento de  $X$  un grado de membresía al conjunto  $A$ . El valor de esta función está en el intervalo entre 0 y 1, siendo 1 el valor para máxima pertenencia. Si el valor de esta función se restringiera solamente a 0 y 1, se tendría un conjunto clásico, o no-difuso. Esta función no es única. Las funciones utilizadas más frecuentemente son las de tipo trapezoidal, singleton, triangular (T), tipo S, exponencial, tipo  $\Pi$  (forma de campana).

*Apoyo:* En un conjunto difuso  $A$  es el conjunto de todos los puntos  $x$  para los cuales la función de pertenencia ( $\mu_A(x)$ ) es mayor que cero.

*Centro:* En un conjunto difuso  $A$  es el conjunto de todos los puntos para los cuales la función de pertenencia ( $\mu_A(x)$ ) es igual a 1.

*Normalidad:* Un conjunto difuso es normal si siempre existe un punto para el cual la función de pertenencia es 1, es decir el *centro* no está vacío.

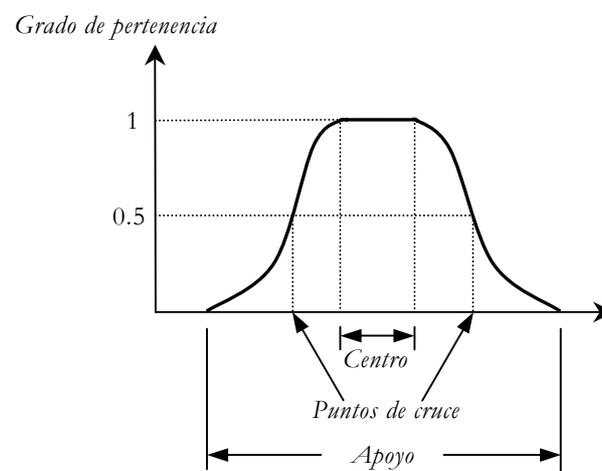
*Puntos de cruce (Crossover):* Son los puntos del conjunto difuso para los cuales  $\mu_A(x)=0.5$

*Conjunto difuso simple (Singleton):* Es el conjunto difuso para el cual el *apoyo* es solamente un punto, en el cual el valor de la función de pertenencia es 1.

*Conjunto  $\alpha$ -corte:*  $A_\alpha$  de un conjunto difuso  $A$  al todos los puntos  $x$  para los que se cumple  $A_\alpha = \{x | \mu_A(x) \geq \alpha\}$

*Conjunto  $\alpha$ -corte marcado:*  $A'_\alpha$  de un conjunto difuso  $A$  al todos los puntos  $x$  para los que se cumple  $A'_\alpha = \{x | \mu_A(x) > \alpha\}$

*Convexidad:* Un conjunto es convexo si y solo si para cualesquiera  $x_1, x_2 \in X$  y cualquier  $\lambda \in [0,1]$  se cumple que  $\mu_A(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \geq \min\{\mu_A(x_1), \mu_A(x_2)\}$ . Se dice que un conjunto es convexo si todos sus conjuntos de nivel  $\alpha$  son convexos.



**Figura C.1. Algunas características de un conjunto difuso**

*Números difusos:* Es un conjunto difuso en la recta real ( $\mathbb{R}$ ) que satisface las condiciones de normalidad y convexidad, la función de pertenencia es continua a trozos y el centro del centro del conjunto difuso consiste de un único valor.

*Intervalo difuso:* Un conjunto difuso es un intervalo difuso si en la recta real ( $\mathbb{R}$ ) que satisface las condiciones de normalidad y convexidad y la función de pertenencia es continua a trozos.

*Simetría:* Un conjunto difuso es simétrico si alrededor de un punto  $x=c$  se cumple  $\mu_A(c+x) = \mu_A(c-x)$ , para todo  $x \in X$

*Conjunto difuso abierto a la derecha:* Un conjunto difuso  $A$  es abierto a la derecha si cumple que  $\lim_{x \rightarrow -\infty} \mu_A(x) = 1$  y  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \mu_A(x) = 0$

*Conjunto difuso abierto a la izquierda:* Un conjunto difuso  $A$  es abierto a la izquierda si cumple que  $\lim_{x \rightarrow -\infty} \mu_A(x) = 0$  y  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \mu_A(x) = 1$

*Conjunto difuso cerrado:* Un conjunto difuso  $A$  es cerrado si cumple que  $\lim_{x \rightarrow -\infty} \mu_A(x) = \lim_{x \rightarrow +\infty} \mu_A(x) = 0$

*Ancho de conjuntos difusos normales y convexos:* Esta definido como la distancia entre los dos únicos puntos de cruce  $Ancho(A) = |x_2 - x_1|$ , donde  $\mu_A(x_1) = \mu_A(x_2) = 0.5$

### C.3. Operaciones entre conjuntos difusos

En los conjuntos difusos son aplicables las tres operaciones básicas de los conjuntos clásicos (unión, intersección y complemento), además de realizar operaciones entre ellos también es posible aplicar operadores sobre un conjunto difuso, este es el caso de la concentración y la dilatación. En la Tabla C.1 se encuentran algunas de las operaciones básicas de los conjuntos difusos.

**Tabla C.1. Operaciones entre conjuntos difusos**

Operación	Definición
Contención o Subconjunto	$A$ es subconjunto de $B$ si y solo si $\mu_A(x) \leq \mu_B(x)$ , para todo $x$ . $A \subseteq B \Leftrightarrow \mu_A(x) \leq \mu_B(x)$
Unión	La unión de los conjuntos difusos $A$ y $B$ es el conjunto difuso $C$ , y se escribe como $C = A \cup B$ o $C = A \text{ OR } B$ , su función de pertenencia está dada por $\mu_C(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x)$
Intersección	La intersección de los conjuntos difusos $A$ y $B$ es el conjunto difuso $C$ , y se escribe como $C = A \cap B$ o $C = A \text{ AND } B$ , su función de pertenencia está dada por $\mu_C(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x)$
Complemento (negación)	El complemento del conjunto difuso $A$ , denotado por $\bar{A}$ ( $\neg A$ , $NOT A$ ), se define como $\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$
Producto Cartesiano	Si $A$ y $B$ son conjuntos difusos en $X$ y $Y$ , el producto cartesiano de los conjuntos $A$ y $B$ $A \times B$ en el espacio $X \times Y$ tiene la función de pertenencia $\mu_{A \times B}(x, y) = \min(\mu_A(x), \mu_B(y))$
Co-producto Cartesiano	$A + B$ en el espacio $X \times Y$ tiene la función de pertenencia $\mu_{A + B}(x, y) = \max(\mu_A(x), \mu_B(y))$
Norma	Para un conjunto difuso $A$ $\mu_{Norma(A)}(x) = \frac{\mu_A(x)}{\max[\mu_A(x)]}$ , para $x \in U$
Concentración	Modificador del conjunto difuso $A$ , hace más estrecha la función de pertenencia $\mu_{Conc(A)}(x) = (\mu_A(x))^2$ , para $x \in U$
Dilatación	Modificador del conjunto difuso $A$ , hace más ensancha la función de pertenencia $\mu_{Dilat(A)}(x) = (\mu_A(x))^{0.5}$ , para $x \in U$

## C.4. Desfusificación

Los problemas basados en conjuntos difusos se originan de la utilización de calificaciones lingüísticas. Luego de formar los conjuntos difusos correspondientes a un determinado problema es necesario obtener una respuesta de estos. En muchos casos es importante que esta respuesta no sea difusa y se debe pasar de una respuesta difusa a una que no lo es. Para lograr esto se ha desarrollado el concepto de Desfusificación. Se han propuesto varios métodos para lograr esta transformación, algunos de ellos se explican a continuación. El método de desfusificación debe ser escogido de acuerdo con la aplicación que se desea hacer (Jang *et al.* 1997).

### C.4.1 Centroide de área (COA)

Este método consiste en hallar para cada conjunto difuso su área y la ubicación del centroide de área. El valor desfusificado es el resultado del cociente entre el producto entre las sumatoria de los productos del las áreas y sus centroides, y la sumatoria de las áreas

$$\text{Valor desfusificado} = \bar{X} = \frac{\sum A_i \bar{x}_i}{\sum A_i} \quad (\text{C.2})$$

$$\text{ó} \quad COA = \frac{\int \mu_A(x) \cdot x \, dx}{\int \mu_A(x) \, dx}$$

### C.4.2 Procedimiento máximo

Aquí se supone que la función de pertenencia tiene solamente un punto máximo simple, se toma el valor de desfusificación en este punto máximo

$$y_0(B) = \arg \max \{ \mu_B(y) | y \in Y \} \quad (\text{C.3})$$

En caso que la función de pertenencia de la salida tenga varios puntos máximos, se crea un grupo ( $B_{max}$ ) con estos puntos (soluciones óptimas)

$$B_{max} = \left\{ y \in Y \mid \mu(y) = \max_{z \in Y} \mu_B(z) \right\} \quad (\text{C.4})$$

De este grupo de máximos se debe obtener un único punto. Esto se puede hacer de varias formas. Un método es escoger aleatoriamente un punto óptimo (supone que todas las soluciones son igualmente buenas), pero preferiblemente que sea un punto en la mitad del conjunto de soluciones. La solución puede escogerse también hallando el valor medio del conjunto, si este es un conjunto finito

$$y_0(B) = \frac{1}{N} \sum_{y \in B_{\max}} y \quad (\text{C.5})$$

donde  $N$  es el número de elementos en el conjunto.

### C.4.3 Centro de Gravedad

Con este método se tiene en cuenta información relacionada con la función de pertenencia  $\mu_B$ . Se toma la media de todos los pesos

$$y_0(B) = \frac{1}{\sum \mu_B(y)} \sum_{y \in B_{\max}} y \mu_B(y) \quad (\text{C.6})$$

## C.5. Reglas difusas Si-Entonces

Como en la lógica clásica, la lógica difusa se ocupa del razonamiento formal con proposiciones, pero a diferencia de esta, los valores de las proposiciones pueden tener valores intermedios entre verdadero y falso. El concepto de variable lingüística fue un escalón al concepto de reglas difusas SI-ENTONCES, estas son una base para la lógica difusa que a menudo es utilizada en aplicaciones prácticas (Zadeh, 1975; Rutkowska, 2002; y Zadeh, 1996). El concepto de reglas difusas es importante cuando las dependencias descritas por estas reglas son imprecisas o cuando no se requiere un alto grado de precisión (Rutkowska 2002).

En una regla difusa se asume como

Si  $x$  es  $A$  entonces  $y$  es  $B$

Donde  $A$  y  $B$  son valores lingüísticos definidos por conjuntos difusos dentro de los universos  $X$  y  $Y$ . Como en la lógica clásica a menudo “ $x$  es  $A$ ” es llamada *premisa* y “ $y$  es  $B$ ” es llamada la *conclusión o consecuencia*. Este tipo de reglas puede ser utilizado para modelar y analizar un sistema.

Varios métodos para calcular la relación  $R = A \rightarrow B$  han sido propuestos.  $R$  puede ser visto como un conjunto difuso con una función de pertenencia en dos dimensiones

$$\mu_R(x, y) = f(\mu_A(x), \mu_B(y)) = f(a, b) \quad (\text{C.7})$$

## C.6. Razonamiento Difuso

También llamado razonamiento aproximado es un procedimiento de inferencia que saca conclusiones con reglas *si-entonces* utilizando conjuntos difusos (Jang *et al.* 1997).

Siendo  $A$ ,  $A'$ , y  $B$  conjuntos difusos que pertenecen a  $X$ ,  $X$ , y  $Y$  respectivamente. Asume que la implicación difusa  $A \rightarrow B$  es expresada como una relación  $R$  en  $X \times Y$ . El conjunto difuso  $B$  inducido por “ $x$  es  $A$ ” y la regla difusa “si  $x$  es  $A$  entonces  $y$  es  $B$ ” están definidos como

$$\begin{aligned}\mu_{B'}(y) &= \max_x \min[\mu_{A'}(x), \mu_R(x, y)] \\ &= \vee_x [\mu_{A'}(x) \wedge \mu_R(x)]\end{aligned}\tag{C.8}$$

De acuerdo al problema que se desea resolver se han desarrollado diferentes reglas para el razonamiento difuso, en estas puede variar el número de antecedentes y de consecuencias. Se emplea también diferentes operadores para relacionar los conjuntos difusos como  $Y$ ,  $O$ , *Implicación*, *Desfusificación*, entre otros.

## C.7. Aplicaciones

La teoría de conjuntos difusos ha sido ampliamente aplicada en campos como: la Medicina, Economía, Ecología y Biología. Se ha empleado en empresas de producción de artículos eléctricos y electrónicos como una herramienta de control, se ha utilizado para el desarrollo de procesadores y computadoras.

Los conjuntos difusos son usados para toma de decisiones y estimaciones en Sistemas de Control como son: aire acondicionado, control de automóviles y controladores en sistemas industriales.

En el campo de la Ingeniería Civil, la lógica difusa esta siendo aplicada también en control de cierre de compuertas en presas (Chile), control de tráfico (Puerto Rico), control de secaderos de hoja de tabaco (Cuba), control de balanceo en puentes grúa control de nivel de líquidos en contenedores y se espera que su aplicación se generalizará de manera muy notable en los próximos años.

La evolución del daño sísmico fue estudiada por Song, Hao, Murakami y Sadohara (1996) utilizando lógica difusa. Zhao y Chen (2002) propusieron un sistema difuso para el diagnóstico del daño en puentes de hormigón armado. Ellos construyen unas funciones de pertenencia de las variables de entrada con un algoritmo de fuzzy partitioning e induciendo reglas difusas de los datos numéricos. El diagnóstico se basa en tres tipos de factores: factores de diseño, como tipo estructural, longitud de las luces, ancho del tablero y cantidad de luces; factores ambientales como humedad y precipitación, clima de la región, volumen de tráfico y variaciones de temperatura; y otros factores como edad de la estructura, clase y localización de los daños. Finalmente, Ahlawat y Ramaswamy (2001) propusieron

un sistema de control de vibraciones estructurales utilizando la teoría de conjuntos difusos; y Anoop, Rao K.B. y Rao T.V.S.R.A. (2002) propusieron usarlos en la estimación de la vida útil de miembros estructurales en concreto reforzado.

## C.8. Referencias

- Ahlawat A.S., y Ramaswamy A. (2001). Multiobjective optimal structural vibration control using a fuzzy logic control system. *Journal of Structural Engineering* 127(11), pp. 1330–1337.
- Anoop M.B., Rao K.B., y Rao T.V.S.R.A. (2002). Application of fuzzy sets for estimating service life of reinforced concrete structural members in corrosive environments. *Engineering structures*, 24 (2002) pp. 1229-1242.
- Jang J.-S.R., Sun C. -T., y Mizutani E. (1997). *Neuro-Fuzzy and soft computing. A computational approach to learning and machine intelligence*. London, UK: Prentice-Hall.
- Kosko B. (1992). *Neural Networks and Fuzzy Systems: A dynamical systems approach to machine intelligence*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Martín del Brío B. y Sanz A. (2001). *Redes neuronales y sistemas borrosos*. Ra-Ma Editorial, Madrid, España.
- Nauck D., Klawonn F., & Kruse R. (1997). *Foundations of neuro-fuzzy systems*. Chichester, England: John Wiley & Sons.
- Rutkowska D. (2002). *Neuro-fuzzy architectures and hybrid learning*, Physica Verlag, Heidelberg, Germany.
- Song Bo, Hao S., Murakami S. & Sadohara S. (1996). Comprehensive evaluation method on earthquake damage using fuzzy theory, *Journal of Urban Planning and Development*, 122, 1, pp. 1-31.
- Zadeh L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8, 338-353.
- Zadeh L.A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning, *Information science*, Part I, Vol. 8, pp.199-249, Part II, Vol.8, pp.301-357, Part III, Vol. 9, pp. 43-80.
- Zadeh L.A. (1992). *Fuzzy logic, neural networks and soft computing*. One-page course announcement of CS 294-4, Spring 1993, the University of California at Berkeley.
- Zadeh L.A. (1996). *Fuzzy logic and the calculi of fuzzy rules and fuzzy graphs: a precis, Multiple Valued Logic*. Vol 1, pp. 1-38.
- Zhao Z., & Chen C. (2002). A fuzzy system for concrete bridge damage diagnosis. *Computers & Structures*, 80, pp. 629-641.

## Apéndice D. REDES NEURONALES ARTICIALES

### D.1. Algunas definiciones básicas

*Inteligencia computacional (Soft computing).* Es un enfoque emergente de la computación que tiene un paralelo notable a la capacidad de la mente humana de razonar y de aprender en un ambiente de incertidumbre e imprecisión (Zadeh, 1992). Los componentes principales de la *soft computing* son la lógica difusa, la computación neuronal y los algoritmos genéticos. Según Jang, Sun y Mizutani (1997), las principales características del procesamiento neuro-fuzzy y del *soft computing* son: que utilizan la experticia humana, son modelos computacionales inspirados en la biología, aplican nuevas técnicas de optimización, implican cálculo numérico, tienen nuevos campos de aplicación, tienen un modelo de aprendizaje libre, significan procesos de cálculo intenso, son tolerantes a fallos, sus características pueden ser enfocadas hacia un objetivo y tienen aplicaciones en el mundo real.

*Neurona artificial.* Dispositivo simple de cálculo que, a partir de un vector de entrada procedente del exterior o de otras neuronas, proporciona una única respuesta o salida.

*Redes neuronales.* Son sistemas que hacen uso los principios conocidos de la organización del cerebro humano. Consisten en un número de procesadores independientes y simples: las neuronas. Estas neuronas se comunican con otras por medio de conexiones ponderadas, los pesos sinápticos (Nauck, Klawonn y Kruse, 1997).

*Sistema neuro-difuso.* Es una combinación entre redes neuronales artificiales y sistemas difusos de tal forma que las redes neuronales o sus algoritmos de aprendizaje, son usados para determinar los parámetros del sistema difuso (Nauck et al. 1997).

Mediante las redes neuronales artificiales se intenta imitar el proceso de aprendizaje del cerebro humano. El cerebro esta formado por miles de millones de

neuronas conectadas entre sí. Utilizan información que es percibida, transmitida hasta las neuronas, y allí procesada por ellas para dar una respuesta a cada uno de los diferentes estímulos. Cada neurona tiene tres partes: un cuerpo celular, una estructura de entrada (Dendrita) y una de salida (Axon). La mayoría de las terminales de los axones se conectan con las dendritas de otras neuronas (Sinápsis). El comportamiento de una neurona es el siguiente: recibe una señal de entrada con una fuerza determinada, dependiendo de ellas la neurona emite una señal de respuesta, las sinápsis pueden variar en fuerza, algunas pueden dar una señal débil y otras una fuerte. A una neurona pueden llegar miles de señales de entrada, cada una con una fuerza o peso diferente. Matemáticamente el comportamiento de la neurona puede representarse por una lista de sus señales de entrada que son multiplicadas por sus pesos respectivos y posteriormente sumados, el resultado es llamado nivel de activación de la neurona del cual depende la señal de salida que es enviada a cada una de las neuronas a las que esta conectada a ella.

Una red neuronal artificial (RNA) es un sistema compuesto de muchos elementos procesadores simples, neuronas, conectados en paralelo, cuya función es determinada por la estructura de la red, la fuerza en las conexiones y el procesamiento realizado por los elementos en los nodos (Jang *et al.* 1997). Las RNA, igual que las personas, aprenden de la experiencia. Las neuronas están conectadas por medio de sinapsis, estas conexiones son direccionadas, es decir, la información sólo puede propagarse en un sentido. Las neuronas pueden agruparse en unidades estructurales denominadas capas y el conjunto de una o más capas constituye la red neuronal (Martín del Brío y Sanz 2001). Las conexiones pueden ser excitatorias o inhibitorias, según sea el peso sináptico positivo o negativo, respectivamente. Las conexiones también pueden ser intra-capa o inter-capa, según se conecten neuronas de una misma capa o de capas diferentes. Según el flujo de datos, las redes pueden ser unidireccionales (*feedforward*) o recurrentes (*feedback*).

Uno de los primeros modelos de redes neuronales fue el Perceptron diseñado por Rosenbalatt, el cual contaba con tres tipos de neuronas: sensoriales, asociativas y de respuesta (Rutkowska 2002). Las sensoriales tomaban entradas de fuera de la red, las unidades de respuesta llevaban señales fuera de la red al mundo externo y las asociativas eran exclusivamente internas. Estos tipos ahora son llamados unidades de entrada, de salida y ocultas. Rosenbalatt desarrolló métodos para que la red alterara los niveles sinápticos de forma que la red aprendiera a reconocer niveles de entrada.

Después de los años 80 la inteligencia artificial se hizo más popular y aumento su campo de aplicación. Se han desarrollado algoritmos para modelar procesos mentales de alto nivel como la asociación de conceptos, deducción, inducción y razonamiento.

En 1986 Rumelhart y McClelland demostraron que algunos problemas imposibles para los Perceptrons simples pueden ser resueltos por redes multi-nivel con funciones de activación no lineales, utilizando procesos simples de entrenamiento (algoritmos Back-propagation).

## D.2. Características generales

*Pesos:* Las redes neuronales pueden tener factores de peso adaptable o fijo. Las que tienen pesos adaptables emplean leyes de aprendizaje para ajustar el valor de la fuerza de interconexión con otras neuronas. Si se utilizan pesos fijos, su tarea debe estar previamente definida. Los pesos son determinados a partir de una descripción completa del problema a tratar. Los pesos adaptables son muy importantes, ya que no se conoce de antemano su valor correcto.

*Aprendizaje:* Se utilizan dos tipos de aprendizaje: supervisado y no supervisado. En el primero se le proporciona a la red tanto la salida como la entrada correcta, y la red ajusta sus pesos para disminuir el error en la salida que ella calcula. Este tipo es utilizado principalmente en el conocimiento de patrones. En el aprendizaje no supervisado a la red se le proporcionan únicamente los estímulos, y la red ajusta los pesos de sus interconexiones utilizando solamente los estímulos y la salida calculada por la red. El aprendizaje no supervisado puede describirse como la estimación de la función de densidad de probabilidad  $p(x)$  que describe la distribución de patrones  $x$  pertenecientes a un espacio de entrada  $R^n$ . La forma de aprendizaje que se utiliza depende del tipo de problema que se intenta resolver.

*Fases de operación:* Se presentan dos fases en la operación de una red neuronal artificial: entrenamiento y recuperación de lo aprendido. En la primera fase se le proporcionan estímulos de entrada y salida (según el caso), para que la red ajuste sus pesos de interconexión y minimice el error en la salida que calcula. En la segunda fase la red solamente calcula la respectiva salida.

*No son algorítmicas:* Las redes neuronales artificiales no se programan sólo para seguir una secuencia de instrucciones, sino que ellas mismas pueden generar sus propias reglas para aprender de su propia experiencia.

*Necesitan un patrón:* Las redes neuronales no son capaces de reconocer nada que no tenga algún tipo de patrón. Son muy buenas resolviendo problemas de asociación, evaluación y reconocimiento de patrones.

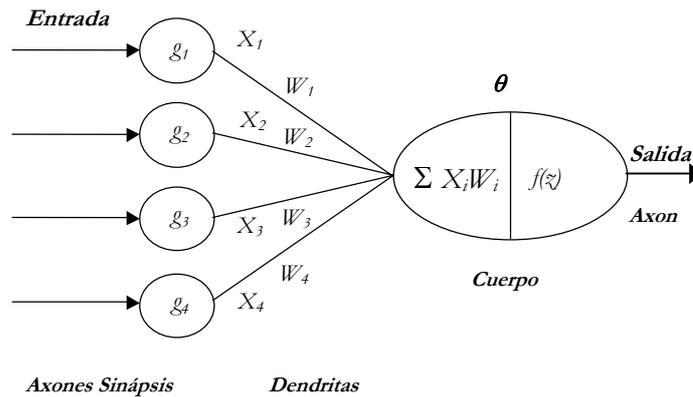
## D.3. Tipologías

Dependiendo de la estructura de la red neuronal existen varias tipologías, algunas de estas son: el Perceptrón, Backpropagation, Hopfield, y Kohonen.

### D.3.1 Perceptrón

En 1943 se desarrolló el primer modelo de neurona artificial por McCulloch y Pitts. El perceptrón intenta modelar el comportamiento de la neurona biológica, derivado del modelo hecho por McCulloch y Pitts (Looney 1997). Es la base de la arquitectura de las redes neuronales artificiales. El perceptrón trabaja con funciones de activación. En la Figura D.1 se observa el modelo de un perceptrón para reconocimiento de patrones. El cuerpo de la neurona es representado como

un sumador lineal de estímulos  $z_j$ , seguida por una función no lineal  $f(z_j)$  que es la función de activación, esta utiliza la suma de estímulos para determinar la salida de la neurona. En el perceptrón cada entrada es multiplicada por un factor de peso  $W$  correspondiente, los resultados son sumados y luego evaluados contra el valor de umbral  $\theta$ , si el valor es mayor al máximo el perceptrón se activa.



**Figura D.1. Modelo de un Perceptrón**

La primera capa actúa como un grupo de sensores que detectan una señal específica con la importancia correspondiente. La segunda capa toma las salidas de los detectores y clasifica el patrón de entrada dado. El aprendizaje empieza ajustando la fuerza en las conexiones (pesos  $w_i$ ) y el valor de umbral  $\theta$ . La función  $g_i$  es fija y está predeterminada.

El entrenamiento de un perceptrón se hace utilizando una función de aprendizaje. Si la respuesta dada por el perceptrón es incorrecta, se modifican todos los pesos de las conexiones de acuerdo a la siguiente función:

$$\Delta w_i = \eta t_i x_i \quad (\text{D.1})$$

donde  $\eta$  es la rata de aprendizaje,  $t_i$  en la salida deseada, y  $x$  es la entrada del perceptrón.

La función anterior puede ser utilizada también para la actualización del valor de umbral  $\theta$ . El valor de  $\eta$  puede ser constante a lo largo del entrenamiento, o puede variar en forma proporcional al error. Un  $\eta$  proporcional al error lleva a una convergencia rápida, pero causa un aprendizaje variable.

El perceptrón es capaz tan sólo de resolver funciones definidas por un hiperplano (objeto de dimensión N-1 contenida en un espacio de dimensión N), que corte un espacio de dimensión N. Es decir sólo puede resolver una función, si

todos los posibles resultados del problema pueden separarse de forma que no se combinen entre si.

Existen varios tipos de perceptrones dependiendo del número de capas que tenga. Un perceptrón simple o de dos capas, corresponde a una capa de entrada con neuronas lineales y una de salida con función de activación tipo escalón. Este sólo puede establecer dos regiones separadas por una frontera lineal en el espacio de patrones de entrada.

Un perceptrón de tres capas puede formar cualquier región convexa en este espacio. Cada elemento se comporta como un perceptrón simple. Un perceptrón de cuatro capas puede generar regiones de decisión arbitrariamente complejas. Puede resolver una gran variedad de problemas cuyas entradas sean analógicas; la salida sea digital y sea linealmente separable. El rango de tareas que el perceptrón puede realizar es más amplio que simples decisiones y reconocimiento de patrones. El perceptrón multicapa puede ser usado para la predicción de una serie de datos en el tiempo, como cambios financieros. Más detalles sobre las características y limitaciones del perceptron son explicadas por Bishop (1995).

### D.3.2 Backpropagation

Cuando se combinan varios perceptrones en una capa y los estímulos de entrada después son sumados, se tiene ya una red neuronal.

La falta de métodos de entrenamiento apropiados para los perceptrones multicapa (MLP) hizo que declinara el interés en las redes neuronales en los años 60 y 70. Esto no cambió hasta la reformulación del método de entrenamiento para MLPs Backpropagation a mediados de los años 80 por Rumelhart (1986).

En esta red, se interconectan varias unidades de procesamiento en capas, las neuronas de cada capa se conectan entre sí. Cada neurona de una capa proporciona una entrada a cada una de las neuronas de la siguiente capa. En la Figura D.2 se observa la arquitectura de este tipo de red.

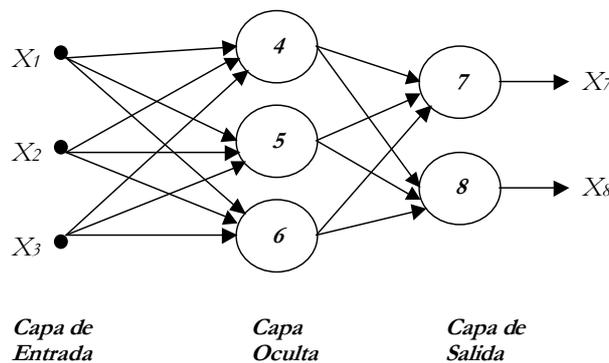


Figura D.2. Modelo de una red tipo Backpropagation

El término *backpropagation* se refiere al método para calcular el gradiente de error en una red *feed-forward* (de aprendizaje supervisado), que es una aplicación de la regla de la cadena de cálculo elemental (Jang *et al.* 1997). Indica la propagación hacia atrás de una señal de error a través de la red (Nauck *et al.* 1997). Básicamente el entrenamiento de este tipo de red consiste en lo siguiente:

- Pasada hacia delante (*forward pass*): las salidas son calculadas y el error en las unidades de salida es calculado.
- Pasada hacia atrás (*backward pass*): el error de las salidas es utilizado para alterar los pesos de las unidades de salida. Luego el error en las neuronas de las capas ocultas es calculado mediante propagación hacia atrás del error en las unidades de salida, y los pesos en las capas ocultas son alterados usando esos valores.

### D.3.3 Modelo Hopfield

Son redes de adaptación probabilística y recurrente. Funcionalmente entrarían en la categoría de las memorias autoasociativas, es decir que aprenden a reconstruir los patrones de entrada que memorizan durante el entrenamiento. Son monocapa con interconexión total y en la que el valor de salida de cada unidad es binario (sólo puede tomar los valores 0 o 1) y siguen una regla de aprendizaje no supervisado.

Están formadas por N neuronas interconectadas que actualizan sus valores de activación en forma independiente, todas son a la vez de entrada y salida. Es buena para resolver problemas de optimización. Tiene siempre una restricción por simetría en cada conexión ( $W_{jk}=W_{kj}$ ). Cuando una neurona mantiene su valor de activación se dice que es estable. Se llega a un estado estable cuando todas las neuronas son estables (Looney 1997).

Ante la presentación de un estímulo nuevo se obtiene una configuración inicial más o menos parecida a la de alguno de los estímulos almacenados, el sistema hace iteraciones hasta quedar en una configuración estable. En la Figura D.3 se observa la arquitectura del modelo de Hopfield. Una característica importante de este modelo es que una neurona nunca se realimenta a sí misma.

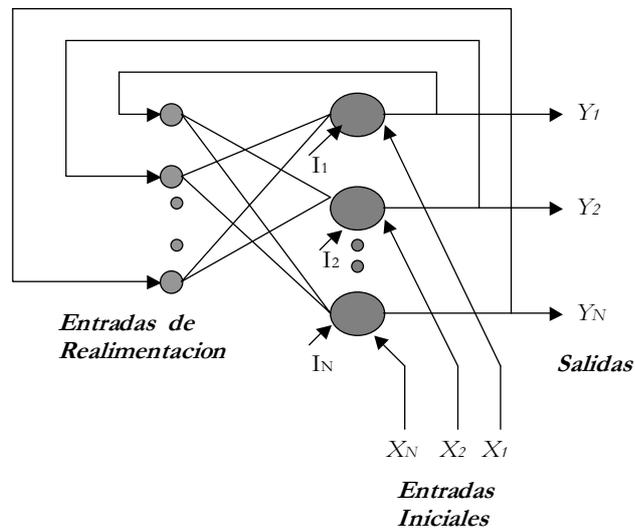
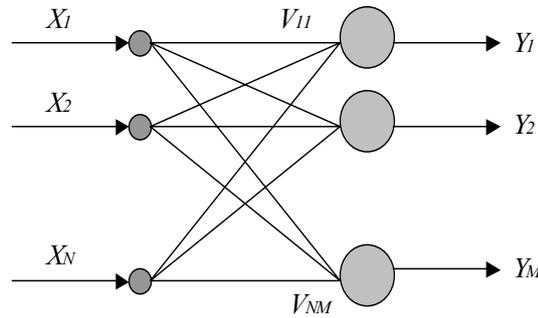


Figura D.3. Modelo de Hopfield

#### D.3.4 Modelo Kohonen

Esta red está basada en la capacidad que tiene el cerebro de formar mapas característicos de la información recibida del exterior. El objetivo de Kohonen era demostrar que un estímulo externo, suponiendo una estructura propia y una descripción funcional del comportamiento de la red, era suficiente para forzar la formación de mapas.

La red neuronal Kohonen, como se ilustra en la Figura D.4, contiene solamente una capa de neuronas y una capa de entrada, que se ramifica para todos los nodos. Pertenece a la categoría de redes competitivas o mapas de auto organización, es decir tiene un aprendizaje no supervisado. Tiene también funciones de activación lineales y flujo de información unidireccional (red en cascada). La red cuenta con  $N$  neuronas de entrada y  $M$  de salida, cada una de las neuronas de entrada está conectada a todas las de salida. Las unidades de entrada reciben datos continuos normalizados. La red clasifica los patrones de entrada en grupos de características similares, de tal manera que cada grupo activa siempre las mismas salidas.



**Figura D.4. Modelo de red neuronal Kohonen**

Puede decirse que entre las neuronas de la capa de salida existen conexiones laterales de inhibición implícitas aunque no estén conectadas. La influencia que una neurona tiene sobre las demás es función de la distancia entre ellas, se hace muy pequeña cuando están muy alejadas.

Cada una de las  $M$  neuronas tiene un vector de pesos  $V^{(m)}$  de dimensión  $N$ , que es la misma dimensión del vector de entradas  $X^{(q)}$ . Al principio los vectores de pesos son inicializados aleatoriamente. Se calculan las distancias cuadradas entre  $X^{(q)}$  y cada  $V^{(m)}$ ,  $m=1, \dots, M$  así:

$$D_{qm} = D_{qm}(X^{(q)}, V^{(m)}) = \sum_{(n=1, N)} (x_n^{(q)} - v_n^{(m)})^2 \quad (\text{D.2})$$

La distancia mínima  $D_{qm^*}$  determina la neurona  $m^*$  que es ganadora sobre las demás neuronas. Desde este punto es posible tomar diferentes estrategias, una de ellas es actualizar el vector de peso paramétrico de la neurona ganadora utilizando:

$$V^{(m^*)} = V^{(m^*)} + \eta(X^{(q)} - V^{(m^*)}) \quad (\text{D.3})$$

donde  $\eta$  es la tasa de aprendizaje, y las demás neuronas mantienen los valores anteriores. Otra estrategia que puede ser utilizada es actualizar positivamente (recompensar) todas las neuronas que son cercanas a la neurona ganadora, y actualizar negativamente (castigar) las neuronas que están a mayor distancia (Looney 1997).

Esta red una vez entrenada puede ser utilizada para clasificar patrones de entrada similares en el espacio  $N$ -dimensional.

#### D.4. Aplicaciones

Las redes neuronales pueden ser de diferentes modelos de aprendizaje y tipologías dependiendo del uso que se espere darle a cada una. Pueden ser aplicadas a diferentes campos tales como: Control de eficiencia de máquinas, reconocimiento de firmas, reconocimiento de blancos mediante sonares, predicciones en el tiempo, decisiones, análisis de inversiones, monitoreo, mercadotecnia, planeación estratégica, diagnóstico, diseño, optimización y en aplicaciones (recientemente) de ingeniería civil como la valoración de efectos sísmicos, solución de problemas de gerencia de construcción, control activo estructural y diagnósticos de daño (Paolucci 2000).

Una aplicación reciente ha sido en el pronóstico de caudales diarios y en el cálculo del nivel de agua en ciertos sitios en la época de crecida del río Iguazú.

En el sector industrial las redes neuronales son ampliamente utilizadas empleando modelos de ingeniería que incluyen conocimiento científico y tecnológico en la industria, cervecera, química, aérea, alimentaria, del acero, vidrio, cemento y telecomunicaciones.

En ingeniería civil, Lagaros, Papadrakakis, Fragiadakis, Stefanou y Tsompanakis (2005) propusieron la aplicación de las redes neuronales artificiales para el análisis probabilista de seguridad de sistemas estructurales sometidos a cargas sísmicas. Otro trabajo relacionado con el comportamiento estructural es el desarrollado por Hurtado (2001), quien aplica las redes neuronales en la mecánica estocástica.

Otras herramientas de inteligencia computacional han sido aplicadas en el campo de la evaluación de daños, como es el caso de Chou and Ghaboussi (2001), quienes estudiaron la aplicación de algoritmos genéticos a la detección de daños, usando medidas de los desplazamientos para identificar cambios en las propiedades de los elementos estructurales, como la sección transversal y el módulo de Young.

#### D.5. Referencias

- Bishop C. M. (1995). *Neural Networks for Pattern Recognition*. Clarendon press Oxford.
- Chou J-H, y Ghaboussi J. (2001). Genetic algorithm in structural damage detection. *Computers & Structures* 79, pp. 1335-1353.
- Hurtado J.E. (2001). Neural networks in stochastic mechanics. *Archives of computational methods in engineering, State of the art reviews*, 8 (3), p.p. 303-342.
- Jang J.-S.R., Sun C. -T., & Mizutani E. (1997). *Neuro-Fuzzy and soft computing. A computational approach to learning and machine intelligence*. London, UK: Prentice-Hall.
- Looney C.G. (1997). *Pattern Recognition using Neural Networks. Theory and Algorithms for Engineers and Scientists*.
- Lagaros N.D., Papadrakakis M., Fragiadakis M., Stefanou G. y Tsompanakis Y. (2005). Recent developments in neural network aided stochastic computations and earthquake engineering. *International Symposium on Neural Networks and Soft Computing in Structural Engineering* NNSC-2005. Cracow, Poland, June 30 - July 2, 2005.

- Martín del Brío B. y Sanz A. (2001). *Redes neuronales y sistemas borrosos*. Ra-Ma Editorial, Madrid, España.
- Nauck D., Klawonn F., & Kruse R. (1997). *Foundations of neuro-fuzzy systems*. Chichester, England: John Wiley & Sons.
- Paolucci, Roberto, Colli, P., y Giacinto, G.. Assessment of Seismic Site Effects in 2-D Alluvial Valleys Using Neural Networks. *Earthquake Spectra*, Volume16, Number 3. August 2000.
- Rumelhart D. E. Hinton G. E. y Williams R.J. (1986). Learning representations by backpropagating errors. *Nature*, 323, 533-6.
- Rutkowska D. (2002). *Neuro-fuzzy architectures and hybrid learning*, Physica Verlag, Heidelberg, Germany.
- Zadeh L. A. (1992). *Fuzzy logic, neural networks and soft computing*. One-page course announcement of CS 294-4, Spring 1993, the University of California at Berkeley.

# **Apéndice E. ANÁLISIS DE LAS METODOLOGÍAS EVALUACIÓN DE DAÑOS**

## **E.1. Análisis de las metodologías de evaluación rápida o de habitabilidad**

En la Tabla E.1 resumen algunas características de las metodologías presentadas en el Capítulo 2, los alcances, número de formularios, con sus páginas y se relaciona si las metodologías cuentan con un manual y cual es la extensión en número de páginas.

Por el gran volumen de edificios que hay que evaluar inmediatamente después de un sismo de magnitud considerable, la evaluación rápida debe ser un procedimiento ágil que permita cubrir el mayor número de estructuras en poco tiempo, generar un panorama de la severidad de los daños, de las medidas de emergencia que se deben tomar, de las evaluaciones especializadas que se deben realizar posteriormente y no debe requerir personal demasiado calificado ya que normalmente no se cuenta con un número suficiente de profesionales expertos en el comportamiento de estructuras para el volumen de edificios afectados.

Con el fin de tener un panorama sobre los alcances de las evaluaciones rápidas, se llevó a cabo un análisis de los formularios de las metodologías mencionadas anteriormente teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Objetivo de la evaluación
- Profesionales y tiempo de evaluación requerida
- Identificación, descripción e información general del edificio
- Inspección y descripción de los daños
- Criterios para la clasificación del daño
- Categorías de calificación global del edificio
- Recomendaciones y medidas de seguridad

A continuación se hace un resumen de los principales aspectos de las diferentes metodologías y sus respectivos formularios. En algunos casos se hace referencia sólo a algunas de ellas debido a que las demás tienen enfoques similares.

**Tabla E.1. Características de las metodologías evaluadas**

<b>Método Características</b>	<b>Macedonia (1985)</b>	<b>ATC-20 -2 (1995)</b>	<b>Japón (1985)</b>	<b>México (1998)</b>	<b>Italia (2000)</b>	<b>Colombia (2002)</b>
Evaluación de habitabilidad y de daños	Simultánea	2 tiempos	2 tiempos	2 tiempos	Simultánea	Simultánea
Número de formatos evaluación de edificios	1	2	2	2	1	1
Número de páginas	2 1 para completar y el reverso con los códigos y explicaciones	Rápido 1 Detallado 2	Rápido 2 Detallado 2	Rápido 1 Detallado 4	3	2
Avisos	NO	SI	SI	SI	NO	SI
Tiene manual?	SI	SI	SI	SI	SI	SI
No. de páginas manual	20	152	141	84	109	47

### **E.1.1 Objetivo de la evaluación**

La evaluación rápida tiene como objetivo principal determinar si los edificios después del sismo están en capacidad de tener un uso normal o si la entrada debe ser restringida o prohibida. Se pretende con ésta reducir el número de pérdidas de vidas ante la posibilidad de vuelco y caída de objetos debido a la ocurrencia de réplicas. Sin embargo en las diferentes metodologías a veces se le asignan mayores alcances (Tabla E.2).

**Tabla E.2. Comparación de objetivos y alcances evaluaciones rápidas según método**

Método	ATC-20 -2 (1989, 1995)	Japón (1985)	México (1998)
Objeto de la evaluación	Inspeccionar y evaluar rápidamente y con el mínimo de personal los edificios del área afectada	Evaluar el nivel de daño y el riesgo que representan las estructuras dañadas sísmicamente	Identificación de edificios que a primera vista son seguros y las que requieren de una valoración posterior o presentan daños de importancia
Alcances de la inspección	Externa	Interna y Externa	Externa

**E.1.2 Profesionales y tiempo de evaluación requerido**

Las metodologías rápidas han sido diseñadas teniendo en cuenta la necesidad de tener un panorama general rápidamente y de emplear en éste proceso el mayor número de personas relacionadas con la actividad de la construcción, pero sin requerir personal muy especializado como ingenieros estructurales y geotecnistas (ver Tabla E.3).

**Tabla E.3. Profesionales y tiempo de evaluación requerido – metodologías rápidas**

Método	ATC-20 (1989, 1995)	Japón (1985)	México (1998)
Perfil profesional requerido	Inspectores calificados, ingenieros civiles o arquitectos con 5 años de experiencia o ingenieros estructurales	Técnicos y profesionales en obras civiles	Ingenieros civiles o arquitectos
Tiempo de evaluación estimado	10 a 20 minutos	No se especifica	1 hora por edificio

**E.1.3 Identificación, descripción e información general del edificio**

Se hace necesario en cualquier procedimiento de evaluación de edificios, poderlas identificar de acuerdo a su localización, nomenclatura o nombre del edificio y definir algunos aspectos relacionados con sus características físicas como número

de niveles, tipología estructural, etc. o aspectos relacionados con el uso ya que permiten entender y definir el edificio objeto de la evaluación, describirlo y visualizar su importancia desde el punto de vista de atención de la emergencia o número de personas que la ocupan.

Se realizó un análisis de los diferentes aspectos evaluados del edificio en cada una de las metodologías, se puede concluir que las preguntas básicas para la descripción e información del edificio son: Dirección, nombre del edificio, uso del edificio, tipo de estructura, número de niveles.

Existen cuatro datos que aunque no son muy comunes en las metodologías se consideran importantes y son incluidos en las versiones más modernas, a raíz de las experiencias y aplicación de los formularios en diferentes sismos:

- La identificación del barrio o sector: debido a los problemas de estandarización de direcciones y a la necesidad de llevar a cabo posteriores cruces con la base de datos catastral
- El nombre y un teléfono de una persona de contacto: en caso de requerir una visita posterior o tener que llevar a cabo algún procedimiento de seguridad en el edificio es recomendable saber a quien se puede contactar
- El número de unidades residenciales con que cuenta el edificio y el número de unidades residenciales afectadas: para efectos de saber el número de familias afectadas
- El área del edificio, ya que con este dato y el porcentaje de daño se podrá estimar posteriormente las pérdidas económicas

#### **E.1.4 Inspección y descripción de los daños**

La evaluación de los daños normalmente incluye la revisión de condiciones generales de inclinación o estabilidad de la estructura, de los elementos estructurales, de los elementos no estructurales, riesgos geotécnicos y otros peligros como derrame de sustancias peligrosas, la Tabla E.4 resume los aspectos evaluados en cada método.

En el ATC-20 normalmente para hacer la evaluación rápida se revisa el exterior de la estructura y el suelo alrededor del edificio, sólo se debe entrar al edificio en caso de que existan dudas. En las evaluaciones originales, los inspectores debían indicar si se presentaba o no alguna de las condiciones señaladas o si existían dudas, simplemente marcando una X en las casillas “SI”, “NO” o “EXISTEN DUDAS”. Los aspectos evaluados en campo son los siguientes:

- Colapso total o parcial, o separación entre la estructura y su cimentación.
- Inclinación del edificio o de algún nivel
- Daño en muros u otros miembros estructurales
- Chimeneas, parapetos u otros elementos en peligro de caer
- Grietas, movimiento del suelo deslizamiento de talud
- Otros peligros (derrames tóxicos, líneas rotas, etc.)

En la propuesta de modificación del ATC 20-2, no se limitan a evaluar la presencia o no de estos daños, sino que califica la severidad de cada tipo de daño en leve, moderado o severo y se especifica el porcentaje estimado de daños totales del edificio.

**Tabla E.4. Análisis sobre los aspectos incluidos en la inspección de los daños en los formularios de evaluación rápida**

Método	ATC-20-2 (1995)	Japón (1985)	México (1998)
Colapso total o parcial, edificio separado de la cimentación	X	X	X
Inclinación del edificio o de algún piso	X	X	X
Daños en muros o elementos estructurales	X	X	X
Daños en elementos arquitectónicos		X	X
Daños en instalaciones de servicios públicos		X	
Peligro de elementos que puedan caer	X	X	X
Grietas o movimientos del terreno	X		X
OTROS PELIGROS PRESENTES (derrames de tóxicos, líneas rotas)	X		X
Estimación del porcentaje de daño del edificio	X		

En la inspección inmediata del método Japonés se tienen en cuenta aspectos tanto del exterior como del interior del edificio. La evaluación del estado del edificio es muy completa y un poco compleja para ser una evaluación inmediata para atención de emergencia.

En el método mexicano, se adoptaron los aspectos evaluados en el ATC-20 y sólo se debe indicar si se presentaba o no alguna de las condiciones evaluadas, simplemente marcando una X en las casillas “Si”, “No” o “Existen Dudas” al frente de cada pregunta.

**E.1.5 Criterios para la clasificación del daño**

***E.1.5.1 Estados Unidos – ATC-20***

En las calificaciones originales del ATC-20 de 1989, con un “SI” como respuesta a cualquiera de las preguntas: 1. Colapso total o parcial, o separación entre la estructura y su cimentación, 2. Inclinación del edificio o de algún piso, 3. Daño en

muros u otros miembros estructurales o 5. Grietas, movimiento del suelo deslizamiento de talud, se marca el edificio como “INSEGURO”, si necesita más revisión se marca como “ENTRADA LIMITADA” y un “SI” como respuesta a la pregunta 4. Chimeneas, parapetos u otros elementos en peligro de caer o a la pregunta 6. Otros peligros (derrames tóxicos, líneas rotas, etc.) se clasifican como “AREA INSEGURO”.

Generalmente sólo se observa el exterior del edificio, en la Tabla E.5 se encuentran los criterios que se tienen en cuenta para hacer una evaluación rápida.

**Tabla E.5. Criterios para clasificación del daño en una evaluación rápida ATC-20**

Condición	Calificación
1. Edificios con colapso parcial o total o que se han movido de la cimentación.	Insegura
2. El edificio o una parte está significativamente inclinado.	Insegura
3. Daño severo obvio en los elementos estructurales principales, severo en muros y otros signos de daños severos.	Insegura
4. Peligro de falla de parapetos, chimeneas u otros elementos	Área insegura
5. Grandes grietas en el suelo, y movimientos considerables y desplazamientos en laderas.	Insegura
6. Presencia de otros peligros tales como derrames tóxicos, contaminación con asbestos, líneas de gas y de energía rotas,	Insegura o Área insegura

Según la nueva versión del ATC- 20-2, la presencia de condiciones Severas generalizadas identifica al edificio como Inseguro (placa roja). Si se presenta condiciones Severas localizadas y Moderadas generalizadas el edificio se clasifica como de Entrada restringida (placa amarilla). De lo contrario sólo se rotula como Inspeccionado (placa verde).

### ***E.1.5.2 Japón***

En la inspección inmediata se tienen en cuenta aspectos tanto del exterior como del interior del edificio. Como se observa en la Tabla E.6 y la Tabla E.7, respectivamente.

Para determinar el nivel de riesgo en el edificio la evaluación se realiza en relación con dos tipos de componentes. A cada uno de los aspectos o puntos que se evalúan, se asocia un nivel de daño (A, B, C), y con base en ellos se lleva a cabo la clasificación. Se evalúa el estado de peligro o riesgo del edificio se tienen en cuenta los criterios descritos en la Tabla E.8. Con base en los niveles de daño por las condiciones de vuelco o caída de elementos no estructurales se determina un nivel de riesgo como se indica en la Tabla E.9.

**Tabla E.6. Evaluación del exterior del edificio**

Aspecto de Inspección	Método de Inspección	Nivel A	Nivel B	Nivel C
Desplomo del edificio	Desplomo debido a asentamientos diferenciales	<1° (1/60)	1°- 2° (1/60 – 1/30)	≥ 2° (1/30)
Asentamiento del edificio	Asentamiento total por falla del subsuelo	< 0,2m	0,2 – 1,0m	≥ 1,0m
Falla en pilares exteriores de edificios con pórticos resistentes a momento (% pilares investigadas)	$\frac{\text{Numero pilares con nivel IV}}{\text{Numero pilares exteriores investigads}}$	< 10%	10 – 20 %	≥ 20%
	$\frac{\text{Numero pilares con nivel V}}{\text{Numero pilares exteriores investigads}}$	< 1%	1 – 10 %	≥ 10%
Falla en muros exteriores en edificios de muros estructurales (% muros investigados)	$\frac{\text{Longitud de muros con nivel IV}}{\text{Longitud muros exteriores investigados}}$	< 10%	10 – 20 %	≥ 20%
	$\frac{\text{Longitud muros con nivel V}}{\text{Longitud muros exteriores investigados}}$	< 1%	1 – 10 %	≥ 10%
Desprendimiento y caída de objetos	Daños en vidrios de ventanas	< 1%	1 – 10 %	≥ 10%
	Daños en acabado exterior	Daño menor	Agrietamiento o separación parcial	Agrietamiento, separación y caída
	Daños en el acabado exterior Hormigón prefabricado Paneles de hormigón ligero Bloques	Grietas	Grietas importantes, se observa el otro lado del panel	Movimiento relativo en la grieta.
	Pasillo y Balcón Parapeto Publicidad de azoteas Tinacos Cuartos maquinas e instalaciones Sistema aire acondicionado Torres de enfriamiento Penthouse Chimenea de azotea Otros	Sin desplomo	Desplomo leve	Desplomo notable
Vuelco de objetos	Escalera exterior Terraza de bloques Depósitos de combustible Maquinas vendedoras automáticas Otros	Sin desplomo	Desplomo leve	Desplomo notable

Tabla E.7. Evaluación del interior del edificio

Aspecto de Inspección	Método de Inspección	Nivel A	Nivel B	Nivel C
Falla en pilares interiores en edificios a base de pórticos resistentes a momento (% pilares investigadas)	$\frac{\text{Número pilares con nivel IV}}{\text{Número pilares exteriores investigados}}$	< 10%	10 – 20 %	≥ 20%
	$\frac{\text{Número pilares con nivel V}}{\text{Número pilares exteriores investigados}}$	< 1%	1 – 10 %	≥ 10%
Falla en muros interiores de edificios a base de muros estructurales (% muros investigados)	$\frac{\text{Longitud de muros con nivel IV}}{\text{Longitud muros exteriores investigados}}$	< 10%	10 – 20 %	≥ 20%
	$\frac{\text{Longitud muros con nivel V}}{\text{Longitud muros exteriores investigados}}$	< 1%	1 – 10 %	≥ 10%
Peligro y riesgo de vuelco y caída de objetos	Acabados de techos Equipo de iluminación de los techos Instalaciones de gimnasio en muros y techos Muros divisorios Escaleras interiores Otros	Completamente sano	Incierto	Existe peligro de caída de objetos notable

Tabla E.8. Riesgo de inestabilidad estructural – Método japonés

Nivel de riesgo	Descripción
Peligro	Cuando los resultados de los puntos a evaluar en la inspección describen más de uno con nivel C, o más de dos con nivel B.
Precaución	Cuando los resultados sobre cada uno de los puntos que se inspeccionan incluyen más de uno con nivel B; o el nivel de daño estructural en algunos elementos se describió con nivel igual o mayor a III.
Seguro	No se describen condiciones de inestabilidad estructural que clasifique el inmueble en nivel de “peligro” o “precaución”

Tabla E.9. Riesgo en elementos no estructurales – Método japonés

Nivel de riesgo	Descripción
Peligro	Cuando los resultados de las condiciones de los elementos no estructurales describen más de uno con nivel C (con desplomo o inclinación, el elemento que los sostiene se encuentra en estado de deterioro notable), o más de dos con nivel B (daño parcial en el elemento sustentante o el desplomo es observable pero pequeño).
Precaución	Cuando los resultados de la inspección de las condiciones de elementos no estructurales incluyen más de uno con nivel B.
Seguro	No se describen condiciones de inestabilidad de objetos y elementos no estructurales que clasifiquen en nivel de “peligro” o precaución”

**E.1.5.3 México**

En esta etapa se tienen en cuenta siete criterios básicos, que son similares a los de la evaluación rápida del ATC-20, estos se encuentran en la Tabla E.10.

**Tabla E.10. Criterios básicos para la evaluación rápida – Método mexicano**

Condición	Calificación
1. Derrumbe total o parcial del edificio, edificio separado con respecto a su cimentación o falla de ésta. Hundimientos provocados por el sismo.	Insegura
2. El edificio o cualquiera de sus pisos se encuentra apreciablemente inclinado.	Insegura
3. Daños importantes en elementos estructurales (pilares, vigas, muros, forjados, etc.)	Insegura
4. Daño severo en muros no estructurales, escaleras o foso de ascensores.	Insegura
5. Grandes grietas en el terreno, movimiento masivo del suelo.	Insegura
6. Elementos de fachada, vidrios, chimeneas u otros elementos en peligro de caer.	Área insegura
7. Presencia de otros tipos de riesgo (Ej. Derrames tóxicos, peligro de contaminación, líneas de gas rotas y líneas de energía caídas)	Área insegura

**E.1.6 Categorías para la clasificación global del edificio**

**E.1.6.1 Estados Unidos – ATC-20**

Como resultado de la evaluación se dan tres grados de seguridad: Examinada, Entrada restringida e Insegura. A continuación se encuentran las descripciones para esta clasificación.

*Examinada (verde):*

- a) La ocupación legal del edificio es permitida. Debe tenerse cuidado, en caso de réplica puede incrementarse el daño en el edificio y el riesgo para sus ocupantes.
- b) El daño presente en el edificio no representa peligro para la seguridad de sus ocupantes.
- c) No significa que no sean necesarias algunas reparaciones.

*Entrada restringida (amarillo):*

- a) La ocupación legal del edificio esta restringido a algunas zonas (que son especificadas y adecuadamente señalizadas).
- b) No existen claramente condiciones que hagan la ocupación del edificio insegura, pero el daño observado impide que se tenga una ocupación sin restricciones.

- c) Si el nivel de daño no es peligroso, pero es perjudicial para la salud o las condiciones de vida para una ocupación a largo termino.

*Insegura (roja):*

- a) Existe un riesgo inmediato asociado a la entrada, uso u ocupación del edificio.
- b) No indica que se requiera su demolición
- c) Sólo entran personas autorizadas

### ***E.1.6.2 Japón***

*Peligro:*

- a) Se prohíbe el acceso al edificio
- b) Para los edificios que fueron calificados con el nivel de peligro en lo referente a la condición de los elementos no-estructurales cercanos a las puertas de entrada, se prohíbe el acceso a los mismos.
- c) Para edificios calificados en este nivel respecto a las condiciones de los elementos no-estructurales en zonas diferentes a las entradas, se prohíbe el acceso a dichas zonas.

*Precaución:* Para los edificios clasificados en este nivel, ya sea en la totalidad de la estructura o en forma parcial, se permite el acceso a los mismos, siempre y cuando se tomen las precauciones pertinentes.

*Seguro:* Se permite el acceso a los edificios que hayan sido calificados en este nivel en cualquiera de los aspectos de la evaluación, ya sea para la totalidad de la estructura o en forma parcial.

### ***E.1.6.3 México***

Como resultado de la evaluación se dan tres grados de seguridad: Habitable, Seguridad en duda e Insegura. Además de esta clasificación global, es posible señalar algunas áreas al interior o exterior del edificio como área insegura. Las descripciones para esta clasificación son las siguientes:

*Habitable (verde):*

- a) No se encuentra en peligro aparente.
- b) La capacidad original para resistir cargas no presenta disminución significativa.
- c) No ofrece peligro para las vidas humanas, se puede ocupar

*Seguridad en duda (amarillo):*

- a) Presenta disminución significativa en su capacidad para resistir cargas.
- b) La entrada de propietarios sólo es permitida con fines de emergencia y únicamente bajo su propio riesgo.
- c) No se permite su uso continuo, ni entrada al público.

*Insegura (rojo):*

- a) Alto riesgo, posible derrumbe ante réplicas del temblor principal.
- b) La entrada está prohibida.
- c) El edificio es inseguro para ocupar o entrar excepto por las autoridades.

**E.1.7 Recomendaciones y medidas de seguridad**

Normalmente todas las evaluaciones consideran la posibilidad de que se requieran otros estudios más detallados o especializados, se establecen unas medidas de seguridad y se deja un espacio de comentarios para ampliar los criterios de clasificación o las recomendaciones. En la Tabla E.11 se describen las recomendaciones y medidas de seguridad en cada método.

**Tabla E.11. Análisis de las recomendaciones y medidas de seguridad en los formularios de evaluación rápida**

Método	ATC-20-2 (1995)	Japón (1985)	México (1998)
OTRAS INVESTIGACIONES: Geotécnica, estructural, otra	x		x
MEDIDAS DE SEGURIDAD:			
Colocar barreras	x		x
Remover elementos en peligro de caer			x
Apuntalar			x
Operaciones de rescate			
Restringir el paso			
COMENTARIOS	x		x
COLOCACIÓN DE ROTULO			
NO SE REQUIERE NINGUNA REVISIÓN FUTURA			x

## E.2. Análisis de las metodologías de evaluación detallada o evaluación de daños

Para estos formularios se realizó una comparación similar a la utilizada en la evaluación rápida teniendo en cuenta criterios similares:

- Objetivo de la evaluación
- Profesionales y tiempo de evaluación requerida
- Descripción e información del edificio
- Inspección y descripción de los daños
- Criterios para la clasificación del daño
- Categorías de calificación global del edificio
- Recomendaciones y medidas de seguridad

### E.2.1 Objetivo de la evaluación

Generalmente este procedimiento tiene como objetivo evaluar de manera detallada los daños estructurales y no estructurales, con el criterio de personas con más experiencia para obtener con una aproximación razonable una noción sobre la seguridad de los edificios. Normalmente para aquellos métodos que cuentan con dos formularios, este tipo de evaluación se aplica para aquellos edificios clasificados con condiciones de seguridad dudosa o insegura en la evaluación rápida. En la Tabla E.12 se describen los objetivos planteados en cada una de las metodologías.

**Tabla E.12. Objetivos de las evaluaciones detalladas según método**

Método	Macedonia (1985)	ATC-20-2 (1995)	Japón (1985)	México (1998)	Italia (2000)	Colombia (2002)
Objeto de la evaluación	Asegurar la obtención de un inventario único de los daños en edificios localizados en zonas urbanas y rurales, para generar una base de datos que permita la realización del análisis de daños y pérdidas económicas.	Evaluar la seguridad y recomendar una clasificación, especialmente de aquellos edificios marcados inicialmente como de acceso restringido en la evaluación rápida	Determinar la necesidad de reparación y/o refuerzo de la estructura o de sus elementos constitutivos	Evaluar con una aproximación razonable y en un tiempo corto la seguridad de los edificios clasificados como seguridad en duda o inseguros en la evaluación rápida	Evaluar la cantidad global de pérdidas económicas directas y la vulnerabilidad de los edificios	Evaluar el nivel de daño y de la seguridad de los edificios después de un terremoto, que permita definir las acciones de rehabilitación y reconstrucción de las mismas.
Tiempo de realización	Inmediatamente, es una evaluación única	Después de la evaluación rápida	Una semana después de ocurrido el sismo	Después de la evaluación rápida	Inmediatamente, es una evaluación única	Inmediatamente, es una evaluación única

**E.2.2 Profesionales y tiempo de evaluación requerido**

Las evaluaciones detalladas o estructurales están diseñadas para ser realizadas por inspectores con experiencia en diseño estructural y en el comportamiento sísmico de los edificios y por su nivel de complejidad y completitud toman más tiempo para su realización que las evaluaciones rápidas (Ver Tabla E.13).

**Tabla E.13. Profesionales y tiempo de evaluación requerido según metodología de evaluación detallada**

Método	Macedonia (1985)	ATC-20 (1995)	Japón (1985)	México (1998)	Colombia (2002)
Perfil profesional	Ingeniero estructural, ingeniero civil o arquitecto y un auxiliar técnico	Ingenieros estructurales y en caso de problemas geotécnicos un especialista en esta área	Ingeniero especialista en estructuras	2 ingenieros civiles, y si hay problemas de suelos, 1 debe ser especialista en geotecnia	Comisiones de dos personas, en lo posible lideradas por ingeniero estructural o por el profesional de más amplia experiencia en construcción
Tiempo de evaluación estimado	No especifica	1 a 4 horas	2 horas a 1 día por edificio	2 a 8 horas	No especifica

**E.2.3 Identificación, descripción y tipo de edificio**

Para la identificación del edificio se utilizan diferentes criterios como la dirección y la identificación catastral; para la descripción parámetros como el número de pisos, el uso, la edad y el área del edificio o de su base; para la clasificación del tipo de edificio el sistema y material de la estructura, del tipo de cubierta y del tipo de cimentación, la configuración y otras condiciones pre-existentes del edificio, se presenta en la Tabla E.14 el resumen de los parámetros utilizados.

**Tabla E.14. Descripción del edificio en los formularios de evaluación detallada**

Método	Macedonia (1984)	ATC 20-2 (1995)	Japón (1985)	México (1998)	Italia (2000)	Colombia (2002)
Dirección	X	X	X	X	X	X
Nombre del edificio	X	X	X		X	X
Sector o barrio	X			X		
Uso del edificio	X	X	X	X	X	X
Tipo de estructura	X	X	X	X		X

**Tabla E.14. Descripción del edificio en los formularios de evaluación detallada (continuación)**

Método	Macedonia (1984)	ATC 20-2 (1995)	Japón (1985)	México (1998)	Italia (2000)	Colombia (2002)
Tipo de cubierta	X			X	X	
Tipo de cimentación	X		X	X		
Calidad de la construcción	X		X			X
Número de pisos	X	X	X	X	X	X
Número de apartamentos	X	X			X	X
Pérdidas humanas	X			X		X
Persona de contacto		X	X		X	X
Edad de la construcción	X			X	X	X
Posición del edificio en la manzana	X			X	X	X
Configuración en planta o en altura	X			X	X	X
Reparaciones por sismos anteriores	X			X		X
Área del edificio	X	X	X	X	X	X
Esquema	X	X	X	X	X	X

#### E.2.4 Inspección y descripción de los daños

Esta evaluación incluye la revisión de condiciones peligrosas de la estructura en general, de los elementos estructurales, de los elementos no estructurales y riesgos geotécnicos. Los aspectos a evaluar se describen en la Tabla E.15.

**Tabla E.15. Análisis sobre la inspección de los daños del edificio en los formularios de evaluación detallada**

Condición peligrosa en	Elementos	Macedonia (1984)	ATC 20-2 (1995)	Japón (1985)	México (1998)	Italia (2000)	Colombia (2002)
1. Estructura en general	Colapso parcial o total	X	X	X	X		X
	Inclinación del edificio o uno de sus niveles		X	X	X		X
	Otro		X		X		X

**Tabla E.15. Análisis sobre la inspección de los daños del edificio en los formularios de evaluación detallada (continuación)**

Condición peligrosa en	Elementos	Macedonia (1984)	ATC 20-2 (1995)	Japón (1985)	México (1998)	Italia (2000)	Colombia (2002)
2. Elementos estructurales	Cimentación		X	X	X		
	Techos y pisos	X	X	X	X	X	
	Pilares, pilastras	X	X	X	X		X
	Diafragmas y elementos horizontales		X		X	X	X
	Muros y elementos verticales	X	X		X	X	X
	Pórticos resistentes a momentos		X		X		
	Otro		X			X	X
3. Elementos no estructurales	Parapetos/ ornamentación		X		X	X	X
	Ventanería		X		X		
	Cielorrasos y luces		X		X	X	
	Muros interiores/ particiones	X	X	X	X		X
	Elevadores		X		X		
	Escaleras y salidas	X	X	X	X		X
	Chimeneas		X			X	
	Instalaciones eléctricas y de gas	X	X		X	X	X
Otro		X		X	X	X	
4. Geotécnicos	Fallas de laderas	X	X				X
	Movimientos del suelo, fisuras	X	X	X	X	X	X
	Otro		X			X	

**E.2.5 Criterios para la clasificación del edificio (daño y/o habitabilidad)**

***E.2.5.1 Ex República Yugoslava de Macedonia***

En la Tabla E.16 se encuentran los cinco niveles utilizados en la clasificación del daño de los elementos estructurales. Para elementos no estructurales e instalaciones son utilizadas categorías similares.

Tabla E.16. Niveles de daño estructural – Método de Macedonia

Niveles	Descripción
Ninguno	Sin daño visible en los elementos estructurales. Posibles fisuras en el revoque de paredes y techos. Se observan pocos daños en la construcción.
Ligero	Fisuras en el revoque de paredes y techo. Grandes partes de revoque caído de las paredes y techo. Distorsión, agrietamiento y deterioro parcial con caída del techo de cubierta. Fisuras en elementos estructurales
Moderado	Fisuras diagonales y de otro tipo, en paredes con aberturas. Fisuras grandes en elementos estructurales de hormigón armado pilares, vigas y muros. Derrumbe parcial o total de chimeneas y áticos. Dislocación, agrietamiento y caída del techo.
Fuerte	Grietas grandes con o sin separación de paredes y con trituración del material. Grietas grandes con trituración del material de las paredes entre las aberturas de los elementos estructurales. Grietas grandes con pequeña dislocación de elementos de hormigón armado pilares, vigas y muros. Pequeña dislocación de elementos constructivos y de toda la construcción.
Severo	Los elementos estructurales y sus uniones están muy dañados y dislocados, con un número grande de ellos destruidos. La construcción presenta ruina parcial o total.

El daño del edificio total, se clasifica en las mismas cinco categorías utilizadas para los daños en elementos estructurales, no estructurales e instalaciones.

#### ***E.2.5.2 Estados Unidos - ATC-20***

En las calificaciones originales del ATC-20 de 1989, con un “SI” como respuesta a cualquiera de las preguntas 1, 2, o 4, es decir si son observadas condiciones peligrosas en las categorías de estructura global, elementos estructurales, o riesgos geotécnicos, el edificio es clasificado como Inseguro. Si se sospecha que su condición es insegura y necesita más revisión se marca se marcan las casillas indicadas de en que aspectos existen dudas y se marca el edificio como Entrada Restringida. Si se encuentran condiciones de riesgo en elementos no estructurales, es decir un “SI” como respuesta a la pregunta 3, se requiere colocar barreras en el área afectada y es señalado el edificio como Área Insegura.

En la Tabla E.17 se encuentran los criterios generales para la evaluación detallada de un edificio.

**Tabla E.17. Criterios para una evaluación detallada – ATC- 20**

<b>Elementos de inspección</b>	<b>Descripción</b>
Daño global (Insegura)	Muros con agrietamiento severo, algunos niveles o todo el edificio tienen inclinación notable, colapso total o parcial.
Sistema de cargas verticales (Insegura)	Pilares notablemente inclinados o fallados. Cubierta o forjados se encuentran separados de muros y otros elementos de soporte vertical. Riesgo de pérdida del soporte vertical.
Sistema de cargas laterales (Insegura)	Pórticos resistentes a momentos con fallas, inclinados o seriamente degradados. Agrietamiento severo en muros de cortante. Falla de apuntalamientos o refuerzos verticales. Falla incipiente o significativa de elementos que llevan cargas laterales o de las conexiones.
Efectos P-Delta (Insegura)	Presencia de deformaciones residuales en pórticos de varios pisos.
Degradación del sistema estructural (Insegura)	Degradación severa del sistema estructural, la degradación severa de la rigidez y la ductilidad reducen la seguridad de la estructura, especialmente en sistemas de hormigón y mampostería
Amenaza de caída (Insegura)	Los parapetos, la ornamentación, muros divisorios e instalaciones de luz pueden estar en peligro de caer.
Inclinación o falla de la cimentación (Insegura)	La licuación, los grandes movimientos del suelo, y fallas en la superficie pueden ocasionar graves daños a la estructura. La presencia de deslizamientos puede poner en duda la seguridad.
Otras amenazas (Insegura)	Derrames de materiales peligrosos o desconocidos.

Para una correcta evaluación del sistema estructural, el ATC-20 da una serie de puntos que deben ser inspeccionados dependiendo del sistema estructural que tenga el edificio que se evalúa.

### ***E.2.5.3 Japón***

#### **Habitabilidad**

Para la inspección de habitabilidad se deben evaluar los siguientes aspectos y cada aspecto será clasificado como A, B o C dependiendo del daño y/o el riesgo:

#### Riesgo estructural

- Asentamiento general
- Inclinación general
- Daño estructural

#### Riesgo no estructural

- Caída de objetos

- Vuelco de objetos

*Asentamiento o inclinación general:*

La inclinación general o el asentamiento general es considerado como el movimiento de un cuerpo rígido debido a fallas en el suelo o en la cimentación. El asentamiento general se clasifica como A, B o C, si es menor a 20cm, entre 20 y 100cm o superior a 100cm respectivamente. La inclinación general se clasifica como A, B o C, si es menor que un grado, entre 1 y 2 grados o superior a 2 grados respectivamente.

*Riesgo estructural:*

El daño estructural es evaluado en el piso de mayor daño para los elementos verticales (pilares o muros para los edificios de hormigón armado), los cuales se evalúan de manera separada los elementos externos y los internos. Para cada pilar o muro estructural según el caso se clasifica el tipo de daño (entre I y V) según la clasificación dada en la Tabla E.18. En el caso de pórticos resistentes a momentos, cuando el daño de las vigas resulte superior al de los pilares se deberá considerar el nivel de daño de las vigas como el nivel de daño de la estructura.

**Tabla E.18. Clasificación de tipo de daño en pilares, vigas o muro estructural**

Nivel de daño	Descripción del tipo de daño en pilares o muros
I	Agrietamiento muy pequeño, no se distingue a simple vista (ancho de grieta < 0.2mm)
II	Agrietamiento distinguible a simple vista (ancho de grieta entre 0.2 y 1.0 mm)
III	Aparecen grietas comparativamente grandes, en los casos extremos se presenta desprendimiento incipiente del hormigón (ancho de grieta entre 1.00 y 2.00mm)
IV	Aparición de gran cantidad de grietas anchas (ancho de grietas mayor a 2.00mm). Desprendimiento severo del recubrimiento de hormigón y exposición del refuerzo longitudinal.
V	Pandeo del refuerzo longitudinal, aplastamiento del hormigón del núcleo, a simple vista se aprecia deformación vertical en pilares (o bien, muros estructurales). Es característico observar fenómenos de asentamiento y/o desplomo. En algunos casos se puede observar falla por tensión del refuerzo longitudinal (fractura).

El daño estructural es clasificado A, B o C de acuerdo con los criterios de la Tabla E.19.

**Tabla E.19. Clasificación del nivel de riesgo de acuerdo al daño de los elementos estructurales**

	<b>A Menor</b>	<b>B Intermedio</b>	<b>C Grande</b>
Relación de daño en pilares o muros con nivel de daño IV (B <sub>iv</sub> /A)	Menor al 10%	10%-20%	Mayor del 20%
Relación de daño en pilares o muros con nivel de daño V (B <sub>v</sub> /A)	Menor al 1%	1%-10%	Mayor del 10%

*Riesgo no estructural:*

Los elementos no estructurales evaluados se clasifican directamente como A, B o C teniendo en cuenta si están desprendidos y tienen la posibilidad de que caerse o de acuerdo con su potencial de vuelco.

*Clasificación de habitabilidad del edificio:*

La clasificación de habitabilidad del edificio depende del número de B o C resultado de la evaluación de todos los puntos, como se observa en la Tabla E.20.

**Tabla E.20. Relación entre daño y habitabilidad**

<b>Clasificación de habitabilidad</b>	<b>Criterio</b>
Peligro	El edificio tiene 1 o más puntos con grado de daño C, o por lo menos 2 puntos con grado de daño B
Precaución	El edificio tiene por lo menos 1 punto con grado de daño B, o al menos un pilar con nivel de daño III
Segura	Todos los elementos fueron clasificados con A y todos los elementos tiene daño inferior al nivel III

**Evaluación del daño**

Para la evaluación del daño, la evaluación del edificio involucra 5 niveles lingüísticos (Ninguno, ligero, menor, medio, severo y colapso o falla total). Estos niveles se evalúan mediante la relación que se observa en la Tabla E.21 con el índice de daño D.

Tabla E.21. Relación de la clasificación lingüística con el índice de daño D

Grado de daño del edificio	Criterio
Ninguno	$D=0$
Ligero	$D \leq 5$
Menor	$5 < D \leq 10$
Medio	$10 < D \leq 50$
Severo	$D > 50$
Falla total	$D_5=50$

Como en la habitabilidad la clasificación del daño requiere el análisis de los asentamientos generales, la inclinación general, junto con el daño estructural. El daño no estructural está incluido en el formato para fines de habitabilidad, pero no contribuye a la clasificación del daño.

*Asentamientos generales e inclinación general:*

Si el asentamiento general es menos de 20cm, entre 20 y 100cm o mayor de 100cm, el daño en el edificio es clasificado como menor, medio o severo, respectivamente. Si la inclinación general es menor a 1/100 radianes, entre 1/100 y 3/100 radianes, entre 3/100 y 6/100 radianes, mayor a 6/100 radianes, el daño en el edificio se clasifica como ligero, medio, severo o colapso respectivamente.

*Daño estructural:*

El daño en los elementos estructurales se calcula de la siguiente manera: el número de pilares con la misma clasificación de daño se denomina como  $B_i$ ; o en el caso de muros estructurales la longitud de muros con la misma clasificación se denomina  $B_i$  y la relación de daño  $D_i$  es calculada como la relación de  $B_i$  respecto al número total de pilares  $A$  en el piso bajo evaluación. Con base en los valores para  $A$  y  $B_i$ , se calcula la cuantía de daño  $D_i$  como se indica a continuación:

En sistemas de pórticos resistentes a momentos, si las vigas presentan un nivel de daño mayor al observado en pilares, el nivel de daño de los pilares localizados en los extremos de la viga dañada se considera igual al de la viga dañada.

El índice de daño se obtiene a través del daño estructural mediante

$$D = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 \quad (\text{F.1})$$

$$D_1 = 10B_1/A \quad (\text{para } B_1/A \leq 0.5)$$

$$= 5 \quad (\text{para } B_1/A > 0.5)$$

$$D_2 = 26B_2/A \quad (\text{para } B_2/A \leq 0.5)$$

$$= 13 \quad (\text{para } B_2/A > 0.5)$$

$$D_3 = 60B_3/A \quad (\text{para } B_3/A \leq 0.5)$$

$$= 30 \quad (\text{para } B_3/A > 0.5)$$

$$D_4 = 100B_4/A \quad (\text{para } B_4/A \leq 0.5)$$

$$= 50 \quad (\text{para } B_4/A > 0.5)$$

$$D_5 = 1000B_5/7A \quad (\text{para } B_5/A \leq 0.35)$$

$$= 50 \quad (\text{para } B_5/A > 0.35)$$

cuando  $B_5/A > 0.5$ , se considera que la estructura falló.

Lo anterior se puede resumir mediante

$$D = \sum_i D_i = \sum_i w_i e_i \quad (\text{F.2})$$

**Tabla E.22. Pesos y máxima extensión para cada nivel de daño**

Nivel de daño	0	I	II	III	IV	V
Peso $w_i$	0	10	26	60	100	1000/7
$(w_i e_i)_{\max}$		5	13	30	50	50

*Clasificación del grado de daño del edificio:*

La clasificación final del edificio respecto al grado de daño deberá ser tomada como el nivel de daño más severo resultado de la clasificación en asentamiento, inclinación y elementos estructurales.

La sugerencia para el propietario del edificio con relación a la reparación del edificio, reforzamiento o demolición depende de la intensidad del sismo. La relación entre el daño y la intensidad registrada se puede considerar como una función de vulnerabilidad y se observa en la Tabla E.23.

**Tabla E.23. Relación de la clasificación de daño con el tipo de rehabilitación**

Intensidad sísmica		Grado de daño				
Escala JMA	Escala MM	Ligero	Menor	Medio	Severo	Colapso
IV o menos	VII o menos	○	●	X	X	X
V	VIII	○	○	●	X	X
	IX	○	○	○	●	X
VI o más	X o más	○	○	○	●	X

Escala JMA: Escala de la Agencia Meteorológica de Japón

Escala MM: Escala Modificada de Mercalli

○ Reparar y reusar

● Reparar o reforzar (necesita investigación en detalle)

X Reforzar (necesita investigación en detalle) o demolición

#### **E.2.5.4 México**

En este método se clasifica la seguridad o habitabilidad del edificio a partir de tres aspectos diferentes: evaluación de la seguridad de la cimentación, evaluación de la seguridad de la estructura (sea de hormigón, mampostería o metálica), y la evaluación de la seguridad de los elementos no estructurales.

#### **Evaluación de la seguridad de la cimentación**

Dentro de la evaluación de seguridad de la cimentación se busca la presencia de inclinación en el edificio, grietas en el suelo o desplazamientos de muros de contención, emersión o hundimiento del edificio, y su grado de daño se describe por medio de tres categorías básicas de riesgo: A (Aceptable), B (Intermedio) y C (Alto).

En el caso de máxima inclinación del edificio, el daño se evaluará con base en los valores de  $a$ . Este parámetro se define como:

$$a = 100 / (100 + 3H) \quad H = \text{Altura del edificio en metros}$$

El grado de daño considerando la inclinación  $a$  (desplome entre altura total), se define como:

$$\begin{aligned} \% \text{ inclinación} &\leq a && \Rightarrow \text{Clasificación A} \\ a < \% \text{ inclinación} &\leq 1.5 a && \Rightarrow \text{Clasificación B} \\ \% \text{ inclinación} &> 1.5 a && \Rightarrow \text{Clasificación C} \end{aligned}$$

En lo que se refiere al asentamiento **S** o emersión **E**, se evaluará el daño de acuerdo al valor medio de éstos. En caso de edificios colindantes se debe considerar lo siguiente:

	$S \leq 10 \text{ cm}$	$\Rightarrow$ Clasificación A
Asentamiento ( <b>S</b> )	$10 \text{ cm} < S \leq 20 \text{ cm}$	$\Rightarrow$ Clasificación B
	$S > 20 \text{ cm}$	$\Rightarrow$ Clasificación C
	$E \leq 20 \text{ cm}$	$\Rightarrow$ Clasificación A
Emersión ( <b>E</b> )	$20 \text{ cm} < E \leq 30 \text{ cm}$	$\Rightarrow$ Clasificación B
	$E > 30 \text{ cm}$	$\Rightarrow$ Clasificación C

En construcciones aisladas se sugiere tomar como valores límite de asentamiento los propuestos en caso de emersión.

En zonas de ladera, se recomienda examinar el área para averiguar la existencia de posibles deslizamientos de talud. Los edificios localizados en un área donde existen peligros geotécnicos, deberán ser clasificados como inseguro o cuidado.

En zonas de problemas geotécnicos previamente identificados se debe contar con el juicio de un especialista.

### **Evaluación de la seguridad de la estructura**

En la evaluación de la seguridad de la estructura se realiza en el nivel que presenta mayor daño y se identifica el porcentaje de elementos (pilares) con diferentes grados de daño, teniendo en cuenta el interior y el exterior de la estructura.

Para este tipo de evaluación se definen cinco niveles de daño para cada sistema estructural, para el caso de hormigón armado estos niveles se describen en la Tabla E.24.

**Tabla E.24. Criterios para determinar el grado de daño de miembros estructurales en hormigón armado**

Grado	Estado de daño de miembros estructurales
I	Grietas pequeñas pero visibles sobre la superficie de hormigón. (Grietas con ancho menor de 0.2 mm)
II	Grietas claramente visibles sobre la superficie del hormigón. (Grietas con ancho entre 0.2 y 1.0 mm)
III	Agrietamiento local del recubrimiento de hormigón. Grietas grandes (ancho entre 1 y 2 mm)
IV	Agrietamiento apreciable del hormigón. Pérdida del recubrimiento del hormigón y presencia de barras expuestas.
V	Barras de refuerzo pandeadas, núcleo del hormigón agrietado, aplastamiento de la pilar/ muro, asentamiento o inclinación en el sistema de piso.

Dependiendo del porcentaje de elementos que presenten daños de grado IV y V se dan tres clasificaciones posibles de riesgo A, B, o C, por ejemplo:

Grado IV	< 10%	Clasificación A
	10% -30%	Clasificación B
	> 30%	Clasificación C
Grado V	< 5%	Clasificación A
	5% -15%	Clasificación B
	> 15%	Clasificación C

Cuando el grado de daño de las vigas es superior al de los pilares se evalúan las vigas. Si el marco está conformado por elementos prefabricados se recomienda evaluar el comportamiento de las uniones. En el caso de elementos pre-tensados o pos-tensados es recomendable evaluar el comportamiento de los anclajes.

### **Evaluación de los elementos no estructurales**

En la evaluación de los elementos no estructurales se presta especial atención a fachadas, elementos divisorios, puertas, ventanas, falsos techos e instalaciones como aire acondicionado, ventilación y calefacción y se califican según el nivel de riesgo A, B o C. Entre los tipos de daño que deben contemplarse durante la inspección se incluyen las fallas de anclaje, fractura o deformación excesiva en las conexiones o deslizamiento excesivo de las mismas.

El daño severo de los elementos estructurales no implica clasificar la estructura como insegura. Cuando la estructura se clasifique como habitable pero

existan daños en dichos elementos, generalmente sólo se deben restringir las áreas inseguras. Cuando se presente peligros alrededor de la entrada del edificio, debe clasificarse el área como insegura y prohibirse la entrada.

**Calificación global del edificio**

La calificación de seguridad del edificio se hace teniendo en cuenta los criterios de la Tabla E.25, después de haber evaluado el terreno y cimentación, asentamiento, inclinación y daños de miembros estructurales.

**Tabla E.25. Criterios para la clasificación global, método mexicano**

Nivel de riesgo	Descripción
Insegura	Si fueron asignadas dos o más calificaciones de daño C o cuatro o más de calificación de daño B.
Seguridad en Duda	Se asigno como máximo una clasificación de daño C o tres B. También los casos de estructuras de pórticos, que tienen al menos un pilar con grado de daño V.
Habitable	No corresponde a las anteriores.

**E.2.5.5 Italia**

Los elementos en los cuales se basa la evaluación de la habitabilidad son los siguientes:

- El sismo de referencia que deben soportar los edificios
- Los daños del edificio
- La vulnerabilidad del edificio

El sismo ocurrido normalmente se considera como el sismo de referencia que el edificio debe soportar nuevamente con excepción de las zonas no epicentrales donde se espera que puedan ocurrir réplicas, las cuales pueden ser superiores al sismo inicial en uno o dos grados de intensidad. La falta de conocimiento sobre las crisis sísmicas, hace que en la mayoría de los casos se considere que el edificio debe soportar otro sismo igual al ocurrido.

El daño del edificio es el principal elemento en la evaluación de habitabilidad. El análisis se extiende a los elementos estructurales, no estructurales, el suelo y la cimentación y los elementos externos. La definición del nivel de daño estructural está basada en la escala macrosísmica europea EMS98, como se puede apreciar en la Tabla E.26.

Tabla E.26. Niveles de daño estructural, método italiano

Nivel de Daño	Descripción
D1: Daño ligero	Es un daño que no cambia de manera significativa la resistencia de la estructura y no perjudica la seguridad de los ocupantes.
D2-D3: Daño moderado-grave	Es un daño que cambia de un modo significativo la resistencia de la estructura.
D4- D5: Daño gravísimo	Es un daño que modifica de un modo evidente la resistencia de la estructura, llevándola al límite del colapso total o parcial de los elementos estructurales principales, incluye el colapso.

La estimación de la extensión del daño, se hace de manera porcentual para cada uno de los niveles de daño e individualmente para elemento de la lista. Por ejemplo, un edificio de muros de tres pisos en los cuales en el piso tres existe un 60% de los muros dañados con nivel D2-D3, la extensión del daño con relación a todo el edificio es  $60\% \times 1/3 = 20$ , por lo tanto se marca como  $< 1/3$ . La suma de la extensión del daño para una fila no puede ser superior a 1.

Para cada elemento no estructural se indica solamente si hay presencia o no de daños sin especificar el porcentaje, y señalando abajo la modalidad de selección múltiple las medidas de emergencia: Ninguna, Remoción, Apuntalamiento, Reparación, Prohibir entrada, Barrera de protección.

Para la evaluación de riesgos se tiene en cuenta si estos son dentro del edificio, en el acceso o en las vías laterales, adicionalmente se evalúan los efectos de sitio y los daños o problemas en taludes y cimentaciones.

### Calificación global del edificio

La habitabilidad del edificio es una combinación de la evaluación del riesgo estructural, no estructural, el geotécnico y el riesgo externo como se muestra en la Figura E.1.

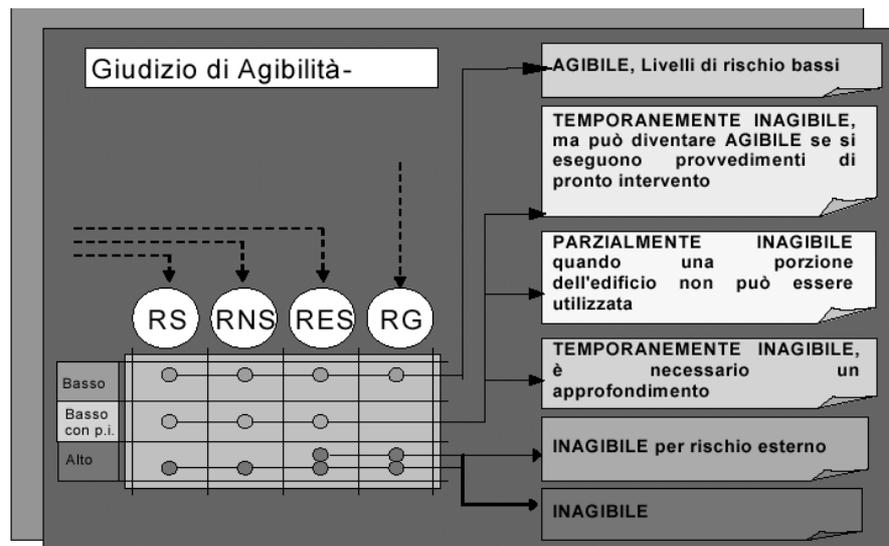


Figura E.1. Evaluación de habitabilidad

Una vez analizado el daño, los cambios en las condiciones estructurales y no estructurales y el comportamiento esperado del edificio (seguridad para la vida), se analiza la relación entre daño y habitabilidad, las cuales no están estrictamente definidas pero siguen unas sugerencias que se resumen de la siguiente manera en la Tabla E.27.

Tabla E.27. Relación entre daño y habitabilidad, método italiano

Daño elementos estructurales	Clasificación
D0, D1	Habitable
D2	Habitable, pero también habitable parcialmente, o no habitable dependiendo de la extensión del daño
D3 o mayor	No Habitable
Riesgo para la vida debido a daños no estructurales	Clasificación
Bajo	Habitable
Alto pero se puede reducir con medidas de protección	Habitable después de medidas
Alto	Parcialmente habitable, no habitable

El riesgo estructural está asociado a la capacidad de la construcción de soportar globalmente los esfuerzos. Viene determinado por el daño de los elementos estructurales, con relación a la tipología estructural y al mecanismo de daño, si el sismo de referencia es igual o inferior al registrado. La vulnerabilidad debe ser evaluada cuando se esperan sismos de referencia de intensidad mayor que la sentida y el edificio no está seriamente afectado. La información sobre la vulnerabilidad se recoge con el fin de evaluar el comportamiento futuro del edificio.

El riesgo externo está ligado a la posibilidad de colapso total o parcial del edificio vecino, sobre el edificio objeto de evaluación o sobre la vía de acceso. El riesgo geotécnico, está asociado a la reducción de la capacidad portante del terreno de la cimentación o a un posible movimiento del terreno, que represente peligro para los ocupantes. El riesgo bajo está relacionado con la posibilidad de que no exista daño y de que la vulnerabilidad no sea muy alta.

Si al menos una de las calificaciones de riesgo es alta, se orientará la clasificación hacia la no habitabilidad. La no habitabilidad podrá ser parcial cuando el riesgo elevado se localiza en una porción limitada del edificio, mientras que para la otra porción del edificio permanece bajo para los cuatro indicadores de riesgo. Cuando el riesgo elevado puede ser reducido con medidas de intervención que se pueden realizar rápidamente el edificio puede considerarse habitable después de medidas. En este caso es indispensable que se indique exactamente cuales son las medidas que se deben aplicar y que son indispensables para mantener la habitabilidad. Cuando el riesgo estructural, o estructural y geotécnico son bajos pero el riesgo externo es alto y no se puede reducir con medidas de pronta intervención se clasifica como no habitable por riesgo externo.

#### ***E.2.5.6 Colombia***

Aquí se hace especial referencia a la metodología de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica utilizada en Bogotá. También existe una versión ampliada para la ciudad de Manizales. En ambos casos es importante indicar que se han incorporado enfoques de las otras metodologías aquí mencionadas, pero que se han simplificado al máximo para hacer eficiente el proceso de inspección. En otras palabras estas metodologías recogen la mayoría de los aspectos de otras metodologías en forma consistente y se simplifica la calificación demostrando su equivalencia y pertinencia.

Los elementos estructurales y no estructurales que se evalúan dependen del tipo de sistema estructural del edificio. Para cada uno de los elementos estructurales y en cada nivel de daño (Ninguno / muy leve, leve, moderado, fuerte, severo) se asigna un porcentaje (equivalente a la cantidad o extensión) del daño dependiendo de lo observado por el evaluador. Para los elementos no estructurales se combina la extensión y la severidad de los daños en la clasificación. A partir de la información del daño (nivel y porcentaje) que se presenta en cada tipo de elemento y del tipo de elementos involucrados se obtiene la noción de la gravedad del daño en el piso o la planta de mayores daños.

Un ejemplo de las definiciones de niveles de daño para elementos estructurales en hormigón es el siguiente:

- Ninguno / muy leve: Algunas fisuras de ancho menor a 0.2 mm, casi imperceptibles sobre la superficie del hormigón.
- Leve: Fisuración perceptible a simple vista, con anchos entre 0.2 mm y 1.0 mm sobre la superficie del hormigón.

- Moderado: Grietas con anchos entre 1.0 mm y 2.0 mm en la superficie del hormigón, pérdida incipiente del recubrimiento.
- Fuerte: Agrietamiento notable del hormigón, pérdida del recubrimiento y exposición de las barras de refuerzo longitudinal.
- Severo: Degradación y aplastamiento del hormigón, agrietamiento del núcleo y pandeo de las barras de refuerzo longitudinal. Deformaciones e inclinaciones excesivas.

Con base en la metodología propuesta por el ATC-13 (Applied Technology Council, 1985) basada en estados de daño, que han sido obtenidos de relaciones demanda contra capacidad en términos de rigidez, resistencia y disipación de energía, se proponen una guía con los porcentajes de daño. Ver Tabla E.28.

**Tabla E.28. Porcentajes de daño**

Caracterización de Daño	Rango de Daño %	Índice de Daño	Descripción
1. Ninguno	0	0	Sin daño
2. Leve	(0-10)	5	Daño menor localizado en algunos elementos que no requiere siempre reparación.
3. Moderado	(10-30)	20	Daño menor localizado en muchos elementos que debe ser reparados.
4. Fuerte	(30-60)	45	Daño extensivo que requiere reparaciones mayores.
5. Severo	(60-100)	80	Daño grave generalizado que puede significar demolición de la estructura.
6. Colapso total	100	100	Destrucción total o colapso.

## E.2.6 Categorías para la clasificación global del edificio

### E.2.6.1 *Ex República Yugoslava de Macedonia*

La clasificación del uso del edificio depende del nivel de daño en los elementos estructurales y de la integridad del sistema estructural. Con base en el daño se define el nivel de funcionalidad del edificio con una clasificación de tres categorías de colores: Verde, Amarillo, Rojo, como se describe en la Tabla E.29.

Tabla E.29. Niveles de funcionalidad del edificio

Niveles y colores de clasificación	Descripción
Verde	Las construcciones clasificadas en las categorías de daño ligero y ninguno no presentan reducción de su capacidad sismorresistente y no son peligrosas para las personas. Pueden ser utilizadas inmediatamente o luego de la reparación.
Amarillo	Los edificios clasificados en los niveles moderado y fuerte tienen muy disminuida su capacidad sismorresistente. El acceso a los mismos debe ser controlado y no se pueden usar antes de ser reparados o reforzados. Hay que evaluar la necesidad de apuntalar la construcción y proteger los edificios vecinos.
Rojo	Los edificios clasificados en el nivel de daño severo no son seguros y presentan peligro de derrumbe. El acceso debe estar prohibido. Es necesario proteger la calle y los edificios vecinos, o demoler el edificio en forma urgente. En el caso de edificios aislados o con construcciones cercanas de la misma clasificación, la decisión de demolición debe tomarse luego de una evaluación desde el punto de vista económico del costo de su reparación y reforzamiento.

### ***E.2.6.2 Estados Unidos – ATC-20***

Como resultado de la evaluación se dan tres grados de seguridad: Examinada, Entrada restringida e Insegura. A continuación se encuentran las descripciones para esta clasificación.

#### *Examinada (verde):*

- a) El daño presente en el edificio no representa peligro para la seguridad de sus ocupantes.
- b) No significa que no sean necesarias algunas reparaciones.

#### *Entrada restringida (amarillo):*

- a) No existen claramente condiciones que hagan la ocupación del edificio insegura, pero el daño observado impide que se tenga una ocupación sin restricciones.
- b) Si el nivel de daño no es peligroso, pero es perjudicial para la salud o las condiciones de vida para una ocupación a largo termino.

#### *Insegura (roja):*

- a) Existe un riesgo inmediato asociado a la entrada, uso u ocupación del edificio.

- b) No indica que se requiera su demolición

**E.2.6.3 Japonés**

*Peligro:*

- a) Se prohíbe el acceso al edificio
- b) Para los edificios que fueron calificados con el nivel de peligro en lo referente a la condición de los elementos no-estructurales cercanos a las puertas de entrada, se prohíbe el acceso a los mismos.
- c) Para edificios calificados en este nivel respecto a las condiciones de los elementos no-estructurales en zonas diferentes a las entradas, se prohíbe el acceso a dichas zonas.

*Precaución:* Para los edificios clasificados en este nivel, ya sea en la totalidad de la estructura o en forma parcial, se permite el acceso a los mismos, siempre y cuando se tomen las precauciones pertinentes.

*Seguro:* Se permite el acceso a los edificios que hayan sido calificados en este nivel en cualquiera de los aspectos de la evaluación, ya sea para la totalidad de la estructura o en forma parcial.

El resultado final de la evaluación de un edificio es el mayor de los resultados parciales del nivel de daño, en el piso de mayor daño para cada uno de los tipos de daño (asentamiento, desplomo o daño en elementos estructurales).

La necesidad de rehabilitar un edificio que ha sido dañado por un sismo se determina considerando la clasificación del tipo de daño del mismo, así como las características o intensidad del sismo de diseño en la zona donde se encuentra según la escala de la Agencia Meteorológica del Japón (AMJ) como lo indica la Tabla E.30.

**Tabla E.30. Decisiones sobre la rehabilitación**

Nivel de Daño Intensidad Sísmica	Daño ligero	Daño menor	Daño medio	Daño grave	Falla total
Menor que IV	O	△	X	X	X
V	O	O	△	X	X
Mayor que VI	O	O	O	△	X

O Rehabilitación por medio de reparación

△ Rehabilitación por medio de reparación y/o refuerzo (requiere de inspección e investigación detallada)

X Rehabilitación por medio de refuerzo o demolición (requiere inspección y investigación detallada)

#### E.2.6.4 México

En la Tabla E.31 se describen las categorías de habitable, seguridad en duda e insegura.

**Tabla E.31. Categorías de clasificación global, método mexicano**

Nivel de riesgo	Descripción
Habitable	<p>No existen restricciones para el uso de la estructura.</p> <p>El sistema resistente a cargas verticales no presenta reducción significativa en su capacidad y no existe inestabilidad potencial.</p> <p>La capacidad para resistir cargas laterales no presenta una disminución significativa.</p> <p>No hay peligro de falla o caída de objetos.</p> <p>No existe evidencia de daños importantes de la subestructura o asentamiento del terreno.</p> <p>Las escaleras y salidas principales son accesibles y se encuentran en servicio. No existe condición aparente de inseguridad.</p>
Seguridad en duda	<p>Existen dudas serias acerca de la seguridad estructural que únicamente pueden ser resueltas con una evaluación de Oficina de Ingeniería.</p> <p>Hay incertidumbre acerca de la posibilidad de daños adicionales por peligros geotécnicos.</p> <p>Existe incertidumbre acerca de la presencia de otros peligros.</p> <p>Daños no estructurales notorios y extendidos en particular pero no limitando a la ruta de evacuación.</p>
Insegura	<p>Es obviamente insegura.</p> <p>Por la extensión de los daños es posible el derrumbe por la propia carga gravitacional o por réplicas del terremoto.</p> <p>Presencia de otra condición insegura como líneas de electricidad caídas.</p>

#### E.2.6.5 Colombia

**Tabla E.32. Clasificación del daño y habitabilidad del edificio, método de Bogotá**

Clasificación Habitabilidad (color)	Clasificación del daño	Descripción
Habitable (Verde)	1. Ninguno	Inmuebles que no sufrieron con el sismo y que no presentan evidencia de ningún tipo de daños.
Habitable (Verde)	2. Leve	Inmuebles que sufrieron daños leves y muy puntuales en elementos arquitectónicos, los cuales pueden ser reparados fácilmente y que no ofrecen peligro para la integridad de las personas que la ocupan.
Uso restringido (Amarillo)	3. Moderado	Inmuebles que sufrieron daños importantes en elementos arquitectónicos, su ocupación estaría condicionada al retiro o reparación de aquellos elementos que ofrezcan peligro de caerse.

**Tabla E.32. Clasificación del daño y habitabilidad del edificio, método Bogotá (continuación)**

<b>Clasificación Habitabilidad (color)</b>	<b>Clasificación del daño</b>	<b>Descripción</b>
No habitable (Naranja)	4. Fuerte	Inmuebles que sufrieron daños estructurales, grietas grandes en vigas, pilares o muros. Presenta disminución en su capacidad para resistir cargas. Hay que evaluar la necesidad de apuntalar el edificio.
Peligro de colapso (Rojo)	5. Severo	Inmuebles que sufrieron daños generalizados en su estructura, presentan peligro de colapso o derrumbe inminente. Es necesario evacuarlos totalmente y proteger calles y los edificios vecinos.
	6. Colapso total	El inmueble está totalmente en ruinas.

En la clasificación japonesa y en otras metodologías como el ATC- 20, el énfasis es en el alto o bajo riesgo de colapso inminente. Se puede observar que en algunas clasificaciones como la Italiana se hace más énfasis en la restricción del uso del edificio (parcialmente habitable, temporalmente habitable, riesgo externo). Esto se debe a que se considera muy importante incrementar al máximo el número de edificios que pueden ser ocupados.

**Tabla E.33. Relación entre las diferentes metodologías evaluadas**

<b>Macedonia (1985)</b>	<b>ATC 20-2 (1995)</b>	<b>Japón (1985)</b>	<b>México (1998)</b>	<b>Italia (2000)</b>	<b>Colombia (2002)</b>
Verde	Examinada	Segura	Habitable	Habitable	Habitable (Verde)
Amarillo	Entrada restringida (amarilla)	Precaución	Seguridad en duda	Habitable después de medidas	
	Insegura (Rojo)			Insegura	Parcialmente habitable
Rojo		Peligro	Insegura		Temporalmente no habitable
	No habitable				
				No habitable riesgo externo	Peligro de colapso (rojo)
					Colapso total

Se debe destacar que es muy difícil incluir todas las posibles restricciones en la clasificación de la habitabilidad.

### E.2.7 Recomendaciones y medidas de seguridad

Normalmente todas las evaluaciones consideran la posibilidad de que se requieran otros estudios más detallados o especializados, se establecen unas medidas de seguridad y se deja un espacio de comentarios para ampliar los criterios de clasificación o las recomendaciones.

**Tabla E.34. Análisis de las recomendaciones y medidas de seguridad en los formularios de evaluación detallada**

Método	Macedonia (1985)	ATC 20 (1989)	ATC 20-2 (1995)	Japón (1985)	México (1998)	Italia (2000)	Colombia (2002)
OTRAS INVESTIGACIONES : Geotécnica, estructural, otra		X	X	X			X
MEDIDAS DE SEGURIDAD:							
Colocar barreras		X	X		X	X	
Remover elementos en peligro de caer	X				X	X	X
Apuntalar	X				X		X
Operaciones de rescate						X	X
Protección de las construcciones vecinas o de la calle							X
Demolición						X	
Evacuación							X
COMENTARIOS		X	X		X		X
COLOCACIÓN DE ROTULO		X			X		
NO SE REQUIERE NINGUNA ACCIÓN		X					

### E.2.8 Otras metodologías

#### E.2.8.1 Grecia

Según Goretta (2001), la primera experiencia en Grecia en el campo de la evaluación de la habitabilidad de edificios se inicia en 1978 con el terremoto de Thessaloniki donde fueron inspeccionados aproximadamente 43.000 edificios. Los formatos y procedimientos fueron revisados y adaptados y nuevamente aplicados en el sismo de Kalamata en 1986, en esa ocasión fueron inspeccionados 13.000 edificios. El formato contenía más información sobre el estado de daño de los elementos individuales que sobre la habitabilidad de los edificios por lo cual se consideraron inadecuados para la administración de la emergencia y todo el procedimiento fue nuevamente revisado con el fin de alcanzar la metodología que se usa actualmente publicada en 1996, aplicada por primera vez en el terremoto de

Konitsa donde se evaluaron aproximadamente 1 500 edificios y recientemente en el terremoto de Atenas en 1999 con aproximadamente 65 000 edificios.

El procedimiento adoptado se realiza en tres niveles similar al de Estados Unidos (Dandoulaki *et al.* 1998). Durante la inspección del primer nivel se caracteriza los edificios obviamente inhabitables y aparentemente seguros. Se identifican las intervenciones vigentes que son de carácter obligatorio para los propietarios del edificio. De esta primera evaluación los edificios se clasifican en: Apto para su uso, temporalmente no apto y no apto para su uso. Esta clasificación corresponde a los avisos verde, amarillo y rojo que se fijan en los edificios, los cuales contienen la fecha de inspección y los nombres de quienes llevaron a cabo el procedimiento. Algunas veces se marcan símbolos en el edificio con la clasificación adecuada, los cuales son realizados con pintura en aerosol. La clasificación se describe a continuación:

**Tabla E.35. Clasificación de los edificios evaluados según el método griego**

Clasificación	Características
Apto para el uso (habitable)	Edificio no dañado o cuyos daños no han reducido significativamente su resistencia sísmica
Temporalmente no apto para el uso (temporalmente no habitable)	El sismo ha provocado una significativa reducción de la resistencia del edificio, o ha causado una condición de peligro por daño no estructural. Se permite el ingreso por un corto periodo de tiempo bajo la responsabilidad de la persona que ingresa. Está sujeta a la responsabilidad de adoptar medidas de intervención urgentemente.
No apto para el uso (no habitable)	Existe riesgo inminente de colapso, está prohibido el ingreso y se deben tomar medidas para reducir el riesgo en los alrededores del área afectada.

La evaluación rápida se desarrolla por un grupo de personas, de las cuales una de ellas debe ser en lo posible ingeniero civil. El formato contiene información sobre la identificación del edificio, las dimensiones, el uso, la tipología del edificio, el resultado de la evaluación y las recomendaciones y medidas de seguridad a seguir.

La tipología estructural se clasifica en hormigón armado, mampostería, mixta, otro. Se evalúa la presencia de piso débil o de pisos enterrados (sótanos). Es interesante anotar que dentro de las medidas de rápida intervención de los daños está prevista la remoción o demolición de parte del edificio, el apuntalamiento inmediato de la construcción, la desconexión del gas, la energía o el agua. Adicionalmente pregunta si la evaluación fue hecha para un edificio completo o parte de él, solicitando que se haga una claridad al respecto en las observaciones.

Para que el edificio se considere habitable los daños deben limitarse a pequeñas fisuras en el revoque o estuco de las paredes y falsos techos, y fisuras capilares en las estructuras horizontes de hormigón armado.

Se consideran los edificios temporalmente fuera de uso cuando hay posible caída del revoque de las paredes y falsos techos, daños leves en cubierta, daños en muros de carga, grietas diagonales con expulsión de parte del material de la mampostería, daños en los elementos de hormigón armado pero de tal amplitud que no constituyen peligro de colapso, pequeña distorsión o desplome de los elementos estructurales.

Los edificios no aptos para el uso son aquellos en los que hay gran cantidad de daños y distorsión de los elementos estructurales, gran cantidad de elementos estructurales afectados, fallas en los muros de carga, aplastamiento del material, colapso parcial o total.

También en esta metodología, parece que la categoría de no apto para el uso está muy cercana al colapso ya que se caracteriza por tener un nivel de daño severo. Todos los edificios clasificados como temporalmente no aptos para el uso, o no aptos para su uso deben ser sometidos a una segunda evaluación. Las evaluaciones se realizan en un formato con dos copias, de las cuales una se le entrega al propietario y la otra al centro de coordinación de las inspecciones. El formato para la inspección detallada es el mismo que para la inspección del primer nivel y también es igual la clasificación de habitabilidad.

### ***E.2.8.2 Turquía***

La gestión de las inspecciones de edificios para la evaluación del daño y la habitabilidad se desarrollan de manera separada en dos fases.

En la primera fase, los grupos se componen de dos personas en los que al menos uno es ingeniero civil. Se lleva a cabo una evaluación de cada manzana y se compila la relación de los edificios dañados, de las vías y de las manzanas en una sola. En la primera fase los edificios se clasifican en cuatro clases:

- Sin Daños (habitabile)
- Dañado pero reparable (no habitabile)
- Dañado pero no reparable (no habitabile y demoler)
- Colapsado

De acuerdo con la primera evaluación se determina la prioridad para realizar la segunda evaluación, en la cual se diligencia un formulario en el cual se clasifica el edificio en una escala de daño 0- 2- 4- 6- 8. El personal técnico que realiza la inspección pertenece al Ministerio de la Construcción.

En cada una de las 88 provincias de Turquía se maneja de manera independiente y se envían algunos de los resultados a la capital Ankara, para las decisiones políticas necesarias. Cada provincia una vez que termina su propia inspección ayuda a la provincia cercana que lo necesite.

Los formatos vienen estampados y firmados. Los campos para tramitar el formato van diligenciados con códigos alfanuméricos, correspondientes a

situaciones típicas catalogadas en la parte posterior del formato. Vale la pena destacar lo extremadamente sintético que es el formato, aunque según el Ministerio de la Construcción de ese país los costos de gestión de este formato son muy similares a los de otros países con formularios muy detallados como Japón.

Según Goretti (2001) la clasificación del daño define la contribución del estado a la reconstrucción, especialmente después del terremoto de Kocaeli y Bolú.

**Tabla E.36. Contribución del estado según el nivel de daño en Turquía.**

<b>Daño</b>	<b>Contribución</b>
D= 0	Ninguna contribución
D= 2	600.000 liras turcas (no reembolsables)
D= 4	6.000 <sup>(1)</sup> millones de liras (para restituir en 15 años)
D= 6 ó D= 8	6.000 millones de liras (para restituir todo en 20 años)

<sup>(1)</sup> Equivalente aproximadamente a 6.000 dólares

El Ministerio de la Construcción después de un curso con examen final, certificó 600 interventores de 3.000 que se presentaron para participar en la reconstrucción. El contrato es firmado por el propietario, el interventor y la empresa que ejecuta los trabajos. El interventor se dedica a controlar los trabajos y a declarar al final de los mismos que la labor fue ejecutada y está conforme con la legislación.

El Ministerio de la Construcción después de un curso con examen final, certificó 600 interventores de 3.000 que se presentaron para participar en la reconstrucción. El contrato es firmado por el propietario, el interventor y la empresa que ejecuta los trabajos. El interventor se dedica a controlar los trabajos y a declarar al final de los mismos que la labor fue ejecutada y está conforme con la legislación.

### **E.3. Conclusiones sobre las metodologías analizadas**

El formulario de la Ex-República Yugoslava de Macedonia y el colombiano en segunda instancia son los más completos en la descripción del edificio. Se evalúan todas las categorías (dirección, identificación del sector de la ciudad donde está localizado el edificio, posición del edificio en la manzana, información del propietario, clasificación del uso del edificio, tipo de estructura, tipo de cubierta, calidad de la construcción, número de niveles o pisos, número de apartamentos, información sobre el suelo o configuración del terreno, configuración en planta o en altura, período de construcción, reparaciones por sismos anteriores, área del edificio y esquema o fotografía), éste aspecto es favorable en el sentido que proporciona muy buena información sobre los tipos de edificios afectados lo cual puede ser usado para fines de calibración de metodologías de vulnerabilidad. La calificación del daño está basada en las definiciones como ligero, moderado, fuerte y severo, que como se mencionó anteriormente pueden ser bastante subjetivas de acuerdo a la interpretación y experiencia de los evaluadores.

La metodología del ATC-20 al igual que en el método de Macedonia, se presta para interpretaciones del evaluador en la calificación del grado de severidad. Llama la atención el hecho de que esta metodología sea una de las pocas que no considera una descripción de la configuración del terreno, la poca relevancia que se le da a éste tema podría explicarse por la topografía mayormente plana de las ciudades de California.

El método japonés es también muy completo y detallado en la descripción del edificio y la evaluación de los daños. Tiene varios niveles de evaluación y está basada principalmente en criterios cuantitativos, se miden los asentamientos, los grados de inclinación, el número de elementos afectados con relación al total de elementos existentes, el grado de severidad del daño está basado en criterios cuantificables y descripciones sobre el tamaño de las grietas lo que hace que este método se considera uno de los menos subjetivos, aunque del otro lado podría considerarse como uno de los más complejos y dispendiosos.

El método mexicano también se considera bastante completo en la evaluación de los daños, pareciéndose más en lo cuantificable de los criterios y las descripciones sobre tamaños de grietas, etc. al método Japonés que al ATC-20, sin ser tan complejo como el primero. Podría considerarse también como un método que no se presta a la subjetividad en la evaluación. Se destaca que tiene el formulario más extenso.

El método desarrollado en Colombia por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS, se considera el más completo y con un enfoque que trata de garantizar la objetividad de la evaluación, ya que cuentan con una propuesta para cuantificar los daños en términos de los tamaños de las grietas, tipos de falla y porcentaje de elementos afectados. La ventaja de esta metodología es que ha sido el resultado no sólo de un amplio número de métodos y experiencias locales sino de una revisión muy cuidadosa y crítica de las técnicas de otros países, extrayendo de las mismas sus mejores enfoques y combinando los mismos de acuerdo con sus necesidades y realidades. Esta metodología ha sido objeto del trabajo conjunto entre especialistas de ingeniería y las autoridades de prevención y atención de desastres, por lo que se logró proponer un formulario equilibrado, evitando sesgos académicos y técnicos innecesarios e interpretando las necesidades reales de quienes deben tomar las decisiones en caso de una situación tan crítica como lo es una emergencia causado por un terremoto.

#### E.4. Referencias

- Dandoulaki M., Panoutsopoulou M. y Ioannides K. (1998). An overview of post-earthquake building inspection practices in Greece and the introduction of rapid building usability evaluation procedure after the 1996 Konitsa earthquake. *Proc. XI European Conference on Earthquake Engineering*, Balkema, Rotterdam.
- Goretti A. (2001). *Post-earthquake building usability: An assessment*. Technical Report SSN/RT/01/03, Italy.

## Apéndice F. EVALUACIÓN HOLÍSTICA DEL RIESGO SÍSMICO

### F.1. Bogotá, evaluación para el año 2001

Tabla F.1. Valores de los descriptores de riesgo físico,  $R_F$

Localidad	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$
Usaquén	15,1186	4	27	2	0	24	0,7	0,83
Chapinero	5,0302	5	27	5	0	81	0,77	0,9
Santa Fe	6,6070	3	16	7	0	63	0,62	0,9
San Cristóbal	4,9278	2	13	4	0	34	0,68	0,9
Usme	10,5870	0	1	1	1	14	0,67	0,9
Tunjuelito	3,5494	0	1	1	0	7	0,58	0,7
Bosa	4,2461	2	12	3	1	42	0,73	0,9
Ciudad Kennedy	4,8198	0	2	1	0	11	0,54	0,7
Fontibón	5,3163	1	7	1	0	5	0,64	0,7
Engativá	6,8777	1	5	1	0	3	0,66	0,8
Suba	13,8449	2	13	1	0	19	0,66	0,77
Barrios Unidos	12,2659	4	27	2	1	45	0,75	0,9
Teusaquillo	10,2985	8	41	4	0	36	0,74	0,9
Mártires	7,0283	6	30	2	0	18	0,66	0,7
Antonio Nariño	4,0287	0	2	2	0	17	0,67	0,8
Puente Aranda	5,7006	1	6	2	0	20	0,69	0,7
Candelaria	8,9515	9	44	6	0	81	0,67	0,9
Rafael Uribe	3,2433	1	11	2	0	29	0,65	0,9
Ciudad Bolívar	8,8908	1	11	1	1	21	0,64	0,9

Tabla F.2. Valores de los descriptores de agravamiento por fragilidad social y falta de resiliencia, *FS* y *FR*

Localidad	$X_{FS1}$	$X_{FS2}$	$X_{FS3}$	$X_{FS4}$	$X_{FS5}$	$X_{FR1}$	$X_{FR2}$	$X_{FR3}$	$X_{FR4}$	$X_{FR5}$	$X_{FR6}$
Usaquén	0,311	1260	433	0,33	12720,00	0,17937	28	0,0496	0,844	4	2
Chapinero	0,161	1786	1282	0,00	9655,00	0,49088	89	0,0129	3,231	4	1
Santa Fe	0,370	1082	1034	0,36	19223,00	0,62909	143	0,0032	3,382	3	2
San Cristóbal	0,614	1511	216	0,82	32242,00	0,10353	19	0,0148	3,882	1	2
Usme	1,476	421	74	1,00	353106,00	0,06368	2	0	7,323	1	2
Tunjuelito	0,738	715	322	0,45	33095,00	0,17567	13	0,0978	4,504	2	2
Bosa	1,076	664	258	0,51	17383,00	0,04872	3	0,0359	7,837	1	1
Ciudad Kennedy	0,501	1433	380	0,44	22352,00	0,06875	8	0,0202	3,454	2	1
Fontibón	0,340	1000	275	0,39	9795,00	0,02736	4	0,0109	3,870	3	2
Engativá	0,257	2789	278	0,41	22488,00	0,06770	7	0,0005	3,371	2	2
Suba	0,326	1880	316	0,41	12658,00	0,08701	15	0,0257	4,202	2	2
Barrios Unidos	0,001	950	509	0,29	16908,00	0,15437	33	0,1170	6,175	4	1
Teusaquillo	0,166	0	888	0,05	11536,00	0,51755	20	0,1126	1,540	4	2
Mártires	0,201	570	831	0,33	11902,00	1,14030	103	0,0271	25,426	3	1
Antonio Nariño	0,112	534	513	0,20	20414,00	0,09494	5	0,0131	8,884	4	1
Puente Aranda	0,058	1147	448	0,37	15203,00	0,03858	4	0,0030	1,488	3	2
Candelaria	0,775	0	904	0,34	11422,00	0,00000	0	0	0	3	0
Rafael Uribe Uribe	0,532	927	288	0,50	23125,00	0,01863	11	0,00133	3,696	1	2
Ciudad Bolívar	0,418	970	162	0,92	28058,00	0,07044	3	0	5,880	1	2

Tabla F.3. Factores,  $F_{RF}$ , y el riesgo físico,  $R_F$

Localidad	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$R_F$
Usaquén	0,881	0,0128	0,259	0,08	0	0,0288	0,7	0,83	0,386
Chapinero	0,127	0,02	0,259	0,5	0	0,328	0,77	0,9	0,264
Santa Fe	0,218	0,0072	0,091	0,82	0	0,198	0,62	0,9	0,314
San Cristóbal	0,121	0,0032	0,0601	0,32	0	0,0578	0,68	0,9	0,175
Usme	0,557	0	0,000356	0,02	0,08	0,0098	0,67	0,9	0,253
Tunjuelito	0,063	0	0,000356	0,02	0	0,00245	0,58	0,7	0,076
Bosa	0,090	0,0032	0,0512	0,18	0,08	0,0882	0,73	0,9	0,152
Ciudad Kennedy	0,116	0	0,00142	0,02	0	0,00605	0,54	0,7	0,092
Fontibón	0,141	0,0008	0,0174	0,02	0	0,00125	0,64	0,7	0,105
Engativá	0,237	0,0008	0,00889	0,02	0	0,00045	0,66	0,8	0,139
Suba	0,811	0,0032	0,0601	0,02	0	0,0181	0,66	0,77	0,326
Barrios Unidos	0,701	0,0128	0,259	0,08	0,08	0,101	0,75	0,9	0,350
Teusaquillo	0,529	0,0512	0,589	0,32	0	0,0648	0,74	0,9	0,366
Mártires	0,247	0,0288	0,32	0,08	0	0,0162	0,66	0,7	0,186
Antonio Nariño	0,081	0	0,00142	0,08	0	0,145	0,67	0,8	0,116
Puente Aranda	0,162	0,0008	0,0128	0,08	0	0,02	0,69	0,7	0,126
Candelaria	0,401	0,0648	0,658	0,68	0	0,328	0,67	0,9	0,426
Rafael Uribe Uribe	0,0526	0,0008	0,043	0,08	0	0,042	0,65	0,9	0,103
Ciudad Bolívar	0,395	0,0008	0,043	0,02	0,08	0,022	0,64	0,9	0,206
<i>Bogotá D.C.</i>	<i>0,41</i>	<i>0,0039</i>	<i>0,0536</i>	<i>0,0924</i>	<i>0,0486</i>	<i>0,0379</i>	<i>0,6645</i>	<i>0,8630</i>	<i>0,2246</i>

Tabla F.4. Coeficiente de agravamiento,  $F$ , a partir de los factores de fragilidad social y falta de resiliencia,  $F_{FS}$  y  $F_{FR}$ 

Localidad	$F_{FS1}$	$F_{FS2}$	$F_{FS3}$	$F_{FS4}$	$F_{FS5}$	$F_{FR1}$	$F_{FR2}$	$F_{FR3}$	$F_{FR4}$	$F_{FR5}$	$F_{FR6}$	$F$
Usaquén	0,278	0,0150	0,1610	0,327	0,345	1	0	0,840	0,969	0	0	0,309
Chapinero	0,0503	0,1370	0,985	0,000	0,145	0,999	0	0,999	0,575	0	0,5	0,245
Santa Fe	0,418	0,00149	0,853	0,362	0,849	0,999	0	1	0,533	0,3	0	0,478
San Cristóbal	0,925	0,0580	0,030	0,816	1,000	1	0	0,998	0,396	1	0	0,707
Usme	1,000	0	0,000632	1,000	1,000	0,999	0,964	1	0,000	1	0	0,797
Tunjuelito	0,999	0	0,0812	0,449	1,000	1	0,0356	0,278	0,255	0,6	0	0,587
Bosa	1,000	0	0,0475	0,515	0,737	1	0,92	0,932	0,000	1	0,5	0,701
Ciudad Kennedy	0,747	0,0417	0,120	0,440	0,968	1	0,436	0,989	0,513	0,6	0,5	0,643
Fontibón	0,343	0,0000	0,056	0,385	0,152	1	0,858	1	0,399	0,3	0	0,358
Engativá	0,175	0,6740	0,057	0,409	0,971	1	0,564	1	0,536	0,6	0	0,521
Suba	0,311	0,1720	0,078	0,415	0,340	0,998	0	0,975	0,321	0,6	0	0,369
Barrios Unidos	0,000	0	0,231	0,290	0,703	1	0	0,111	0,030	0	0,5	0,302
Teusaquillo	0,0549	0	0,712	0,050	0,258	0,999	0	0,143	0,904	0	0	0,193
Mártires	0,0931	0	0,645	0,331	0,283	0,997	0	0,97	0,000	0,3	0,5	0,325
Antonio Nariño	0,0157	0	0,235	0,198	0,905	1	0,778	0,999	0,000	0	0,5	0,407
Puente Aranda	0,000261	0,0048	0,174	0,373	0,565	1	0,858	1	0,911	0,3	0	0,391
Candelaria	1,000	0	0,730	0,340	0,250	1	1	1	1,000	0,3	1	0,631
Rafael Uribe Uribe	0,806	0	0,0622	0,503	0,984	1	0,142	1	0,445	1	0	0,635
Ciudad Bolívar	0,550	0	0,0138	0,920	1,000	1	0,92	1	0,049	1	0	0,700
<i>Bogotá D.C.</i>	<i>0,762</i>	<i>0,032</i>	<i>0,111</i>	<i>0,736</i>	<i>0,880</i>	<i>0,999</i>	<i>0,670</i>	<i>0,922</i>	<i>0,188</i>	<i>0,774</i>	<i>0,089</i>	<i>0,663</i>

## F.2. Bogotá, evaluación para el año 2005

### F.2.1 Falla Frontal de la cordillera Oriental

Tabla F.5. Valores de los descriptores de riesgo físico,  $R_F$ , para un sismo en la falla Frontal de la cordillera Oriental

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$
1	Paseo los Libertadores	San Cristóbal	8,5	0	0	0,965	0,174	34	0,68	0,9
2	La Academia	Suba	5,6	0	1	0,809	0,173	19	0,66	0,77
3	Guaymaral	Suba	5,7	1	5	0,934	0,176	19	0,66	0,77
9	Verbenal	Usaquén	8,4	1	3	0,647	0,159	24	0,7	0,83
10	La Uribe	Usaquén	12,6	1	4	0,855	0,162	24	0,7	0,83
11	San Cristóbal Norte	Usaquén	12,3	1	4	0,671	0,142	24	0,7	0,83
12	Toberin	Usaquén	13,0	6	19	1,085	0,228	24	0,7	0,83
13	Los Cedros	Usaquén	12,8	8	17	0,826	0,204	24	0,7	0,83
14	Usaquén	Usaquén	14,8	7	19	0,613	0,162	24	0,7	0,83
15	Country Club	Usaquén	12,1	5	13	0,817	0,242	24	0,7	0,83
16	Santa Bárbara	Usaquén	14,0	14	29	0,791	0,259	24	0,7	0,83
17	San José de Bavaria	Suba	5,0	0	0	0,762	0,178	19	0,66	0,77
18	Britalia	Suba	9,1	0	1	0,826	0,180	19	0,66	0,77
19	El Prado	Suba	14,6	5	16	0,853	0,210	19	0,66	0,77
20	La Alhambra	Suba	16,6	7	20	1,015	0,278	19	0,66	0,77
21	Los Andes	Barrios Unidos	8,9	3	8	1,081	0,273	45	0,75	0,9
22	Doce De Octubre	Barrios Unidos	6,7	2	6	1,124	0,276	45	0,75	0,9
23	Casa Blanca Suba	Suba	7,8	0	1	0,542	0,136	19	0,66	0,77
24	Niza	Suba	9,9	0	2	0,663	0,183	19	0,66	0,77
25	La Floresta	Suba	21,8	12	47	0,939	0,291	19	0,66	0,77
26	Las Ferias	Engativá	15,4	3	10	1,023	0,257	3	0,66	0,8

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$
27	Suba	Suba	13,1	5	16	0,280	0,200	19	0,66	0,77
28	El Rincón	Suba	14,6	3	11	0,750	0,227	19	0,66	0,77
29	Mínuto De Dios	Engativá	14,3	5	13	1,231	0,311	3	0,66	0,8
30	Boyacá Real	Engativá	19,6	3	12	1,404	0,329	3	0,66	0,8
31	Santa Cecilia	Engativá	12,0	3	10	1,202	0,282	3	0,66	0,8
32	San Blas	San Cristóbal	27,2	3	21	0,689	0,154	34	0,68	0,9
33	Sosiego	San Cristóbal	22,1	10	30	0,854	0,200	34	0,68	0,9
34	20 De Julio	San Cristóbal	33,4	3	26	0,683	0,156	34	0,68	0,9
35	Ciudad Jardín	Antonio Nariño	10,8	3	7	0,776	0,209	17	0,67	0,8
36	San José	Rafael Uribe	21,9	5	15	0,718	0,183	29	0,65	0,9
37	Santa Isabel	Los Mártires	13,1	11	27	0,805	0,183	18	0,66	0,7
38	Restrepo	Antonio Nariño	18,1	15	37	0,815	0,198	17	0,67	0,8
39	Quiroga	Rafael Uribe	20,1	4	14	0,746	0,188	29	0,65	0,9
40	Ciudad Montes	Puente Aranda	10,5	5	13	0,757	0,194	20	0,69	0,7
41	Muzu	Puente Aranda	8,7	1	2	0,835	0,187	20	0,69	0,7
42	Venecia	Tunjuelito	16,5	6	17	0,822	0,176	7	0,58	0,7
43	San Rafael	Puente Aranda	12,4	3	10	0,804	0,203	20	0,69	0,7
44	Américas	Ciudad Kennedy	13,5	3	7	1,021	0,225	11	0,54	0,7
45	Carvajal	Ciudad Kennedy	16,0	6	17	0,783	0,177	11	0,54	0,7
46	Castilla	Ciudad Kennedy	9,3	3	7	1,063	0,250	11	0,54	0,7
47	Kennedy Central	Ciudad Kennedy	9,5	8	16	0,712	0,165	11	0,54	0,7
48	Timiza	Ciudad Kennedy	12,0	1	1	0,732	0,176	11	0,54	0,7
49	Apogeo	Bosa	12,0	3	8	0,592	0,128	42	0,73	0,9
50	La Gloria	San Cristóbal	32,9	3	27	0,653	0,146	34	0,68	0,9
51	Los Libertadores	San Cristóbal	29,4	3	25	0,585	0,153	34	0,68	0,9
52	La Flora	Usme	14,7	0	9	0,314	0,117	14	0,67	0,9
53	Marco Fidel Suárez	Rafael Uribe	30,4	2	19	0,654	0,146	29	0,65	0,9
54	Marruecos	Rafael Uribe	28,1	4	25	0,683	0,161	29	0,65	0,9

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$
55	Diana Turbay	Rafael Uribe	27,4	3	25	0,537	0,170	29	0,65	0,9
56	Danubio	Usme	14,5	2	8	0,553	0,155	14	0,67	0,9
57	Gran Yomasa	Usme	29,6	1	13	0,699	0,152	14	0,67	0,9
58	Comuneros	Usme	29,5	1	20	0,745	0,141	14	0,67	0,9
59	Alfonso López	Usme	17,8	1	16		0,144	14	0,67	0,9
60	Parque Entre Nubes	Usme	20,1	4	23			14	0,67	0,9
61	Ciudad Usme	Usme	27,5	2	24	0,762	0,138	14	0,67	0,9
62	Tunjuelito	Tunjuelito	28,7	8	29	0,843	0,165	7	0,58	0,7
63	El Mochuelo	Ciudad Bolívar	37,0	0	1	0,153	0,148	21	0,64	0,9
64	Monte Blanco	Ciudad Bolívar	10,5	1	7		0,142	21	0,64	0,9
65	Arborizadora	Ciudad Bolívar	16,7	6	17	0,596	0,131	21	0,64	0,9
66	San Francisco	Ciudad Bolívar	24,4	2	11	0,565	0,144	21	0,64	0,9
67	Lucero	Ciudad Bolívar	16,2	0	4	0,559	0,135	21	0,64	0,9
68	El Tesoro	Ciudad Bolívar	11,0	1	7	0,230	0,132	21	0,64	0,9
69	Ismael Perdomo	Ciudad Bolívar	26,6	5	19	0,547	0,128	21	0,64	0,9
70	Jerusalén	Ciudad Bolívar	16,2	1	8	0,536	0,139	21	0,64	0,9
71	Tibabuyes	Suba	12,9	2	6	0,329	0,293	19	0,66	0,77
72	Bolivia	Engativá	15,4	9	19	1,201	0,314	3	0,66	0,8
73	Garcés Navas	Engativá	7,8	1	2	1,260	0,305	3	0,66	0,8
74	Engativá	Engativá	8,8	2	5	0,853	0,296	3	0,66	0,8
75	Fontibón	Fontibón	18,9	6	18	1,325	0,293	5	0,64	0,7
76	Fontibón San Pablo	Fontibón	27,7	18	61	1,232	0,305	5	0,64	0,7
77	Zona Franca	Fontibón	26,1	4	15	1,205	0,276	5	0,64	0,7
78	Tintal Norte	Ciudad Kennedy	41,5	0	0	0,413	0,212	11	0,54	0,7
79	Calandáima	Ciudad Kennedy	3,3	0	0	0,782	0,261	11	0,54	0,7
80	Corabastos	Ciudad Kennedy	4,5	2	8	0,612	0,177	11	0,54	0,7
81	Gran Britalia	Ciudad Kennedy	7,1	0	0	0,576	0,177	11	0,54	0,7
82	Patio Bonito	Ciudad Kennedy	5,4	0	0	0,695	0,211	11	0,54	0,7

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$
83	Las Margaritas	Ciudad Kennedy	0,8	0	1	0,183	0,156	11	0,54	0,7
84	Bosa Occidental	Bosa	4,3	1	1	0,596	0,168	42	0,73	0,9
85	Bosa Central	Bosa	13,1	1	4	0,480	0,116	42	0,73	0,9
86	El Porvenir	Bosa	1,0	0	0	0,419	0,149	42	0,73	0,9
87	Tintal Sur	Bosa	1,7	0	0	0,249	0,162	42	0,73	0,9
88	El Refugio	Chapinero	14,1	6	14	0,552	0,165	81	0,77	0,9
89	San Isidro Patios	Chapinero	17,7	0	7	0	0	81	0,77	0,9
90	Pardo Rubio	Chapinero	13,1	4	10	0,630	0,144	81	0,77	0,9
91	Sagrado Corazón	Santa Fe	16,4	38	89	0,678	0,164	63	0,62	0,9
92	La Macarena	Santa Fe	15,5	2	22	0,662	0,151	63	0,62	0,9
93	Las Nieves	Santa Fe	16,5	46	103	0,712	0,166	63	0,62	0,9
94	Candelaria	La Candelaria	21,0	4	24	0,709	0,170	81	0,67	0,9
95	Las Cruces	Santa Fe	26,0	6	26	0,870	0,188	63	0,62	0,9
96	Lourdes	Santa Fe	21,5	1	9	0,616	0,151	63	0,62	0,9
97	Chico Lago	Chapinero	14,9	17	36	0,807	0,207	81	0,77	0,9
98	Los Alcázares	Barrios Unidos	10,0	4	13	1,015	0,246	45	0,75	0,9
99	Chapinero	Chapinero	18,4	35	78	0,661	0,164	81	0,77	0,9
100	Galerías	Teusaquillo	10,4	7	16	0,881	0,204	36	0,74	0,9
101	Teusaquillo	Teusaquillo	14,3	11	25	0,707	0,156	36	0,74	0,9
102	La Sabana	Los Mártires	22,1	45	121	0,737	0,161	18	0,66	0,7
103	Parque Salitre	Barrios Unidos	12,8	12	40	1,227	0,268	45	0,75	0,9
104	Parque Simón Bolívar-Can	Teusaquillo	7,3	1	2	1,069	0,231	36	0,74	0,9
105	Jardín Botánico	Engativá	28,4	27500	55100	0,887	0,156	3	0,66	0,8
106	La Esmeralda	Teusaquillo	10,8	7	13	1,192	0,262	36	0,74	0,9
107	Quinta Paredes	Teusaquillo	11,1	6	11	0,889	0,229	36	0,74	0,9
108	Zona Industrial	Puente Aranda	30,6	197	643	0,739	0,185	20	0,69	0,7
109	Ciudad Salitre Oriental	Teusaquillo	13,3	21	53	0,936	0,235	36	0,74	0,9
110	Ciudad Salitre Occidental	Fontibón	10,0	11	21	0,894	0,164	5	0,64	0,7

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$
111	Puente Aranda	Puente Aranda	21,6	55	181	1,113	0,267	20	0,69	0,7
112	Granjas Techo	Fontibón	30,4	102	337	0,941	0,216	5	0,64	0,7
113	Bavaria	Ciudad Kennedy	15,5	22	57	1,144	0,236	11	0,54	0,7
114	Modelia	Fontibón	11,7	2	7	1,117	0,286	5	0,64	0,7
115	Capellania	Fontibón	27,2	23	74	1,242	0,314	5	0,64	0,7
116	Álamos	Engativá	36,3	21	63	1,233	0,333	3	0,66	0,8
117	Aeropuerto El Dorado	Fontibón	16,4	2	6	1,269	0,336	5	0,64	0,7

Tabla F.6. Valores de los descriptores de las condiciones de agravamiento por fragilidad social y falta de resiliencia

Localidad	$X_{FS1}$	$X_{FS2}$	$X_{FS3}$	$X_{FS4}$	$X_{FS5}$	$X_{FR1}$	$X_{FR2}$	$X_{FR3}$	$X_{FR4}$	$X_{FR5}$	$X_{FR6}$
Antonio Nariño	0,015	398	120	0,2	28338	4,871	5	0,016	13	2	0,0456
Barrios Unidos	0,002	917	130	0,29	25920	1,254	33	0,150	9	2	0,0456
Bosa	0,249	1366	92	0,51	44458	0,338	3	0,038	4	2	0,0702
Chapinero	0,131	612	249	0	9255	16,265	89	0,032	19	3	0,0724
Ciudad Bolívar	0,239	1866	78	0,92	48968	0,503	3	0,035	7	2	0,1884
Engativá	0,061	2747	53	0,41	34958	0,183	7	0,142	11	2	0,1715
Fontibón	0,129	1028	34	0,39	37558	0,206	4	0,109	2	2	0,0456
Ciudad Kennedy	0,164	2546	68	0,44	41451	0,756	8	0,084	1	1	0,0456
La Candelaria	0,248	100	86	0,34	13074	2,509	0	0,000	13	1	0,0456
Los Mártires	0,036	621	84	0,33	32227	2,846	103	0,033	48	2	0,0596
Puente Aranda	0,001	1323	32	0,37	37211	0,616	4	0,062	8	2	0,1715
Rafael Uribe	0,237	1618	109	0,5	36759	1,605	11	0,084	6	1	0,1715
San Cristóbal	0,265	1648	55	0,82	41875	3,490	19	0,108	11	1	0,3383
Santa Fe	0,771	694	182	0,36	17764	6,176	143	0,150	46	1	0,0904
Suba	0,110	2621	115	0,41	25886	1,181	15	0,045	4	2	0,177
Teusaquillo	0,002	681	90	0,05	14437	5,556	20	0,112	8	3	0,1315
Tunjuelito	0,161	941	63	0,45	37702	2,540	13	0,084	9	1	0,0552
Usaquén	0,050	1473	74	0,33	20836	3,972	28	0,129	3	2	0,0456
Usme	0,168	850	129	1	32863	0,199	2	0,021	12	2	0,0456

Tabla F.7. Factores,  $F_{RF}$ , y el riesgo físico,  $R_F$ , para un sismo en la falla Frontal

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$R_F$
1	Paseo los Libertadores	San Cristóbal	0,361	0	0	0,019	0,00243	0,058	0,68	0,9	0,188
2	La Academia	Suba	0,157	0	0,000356	0,0143	0,0024	0,0181	0,66	0,77	0,113
3	Guaymaral	Suba	0,162	0,0008	0,00889	0,018	0,00249	0,0181	0,66	0,77	0,116
9	Verbenal	Usaquén	0,353	0,0008	0,0032	0,00985	0,00201	0,0288	0,7	0,83	0,179
10	La Uribe	Usaquén	0,726	0,0008	0,00569	0,0157	0,00209	0,0288	0,7	0,83	0,298
11	San Cristóbal Norte	Usaquén	0,704	0,0008	0,00569	0,0105	0,00158	0,0288	0,7	0,83	0,290
12	Toberin	Usaquén	0,755	0,0288	0,128	0,0229	0,00414	0,0288	0,7	0,83	0,324
13	Los Cedros	Usaquén	0,741	0,0512	0,103	0,0148	0,00332	0,0288	0,7	0,83	0,318
14	Usaquén	Usaquén	0,865	0,0392	0,128	0,00897	0,00209	0,0288	0,7	0,83	0,357
15	Country Club	Usaquén	0,688	0,02	0,0601	0,0146	0,00467	0,0288	0,7	0,83	0,294
16	Santa Bárbara	Usaquén	0,82	0,157	0,299	0,0138	0,00537	0,0288	0,7	0,83	0,374
17	San José de Bavaria	Suba	0,125	0	0	0,013	0,00255	0,0181	0,66	0,77	0,102
18	Britalia	Suba	0,414	0	0,000356	0,0148	0,0026	0,0181	0,66	0,77	0,194
19	El Prado	Suba	0,854	0,02	0,091	0,0156	0,00351	0,0181	0,66	0,77	0,344
20	La Alhambra	Suba	0,942	0,0392	0,142	0,0205	0,00619	0,0181	0,66	0,77	0,380
21	Los Andes	Barrios Unidos	0,396	0,0072	0,0228	0,0227	0,00597	0,101	0,75	0,9	0,211
22	Doce de Octubre	Barrios Unidos	0,224	0,0032	0,0128	0,0244	0,0061	0,101	0,75	0,9	0,155
23	Casa Blanca Suba	Suba	0,304	0	0,000356	0,00722	0,00144	0,0181	0,66	0,77	0,157
24	Niza	Suba	0,49	0	0,00142	0,0103	0,00269	0,0181	0,66	0,77	0,217
25	La Floresta	Suba	1	0,115	0,721	0,0182	0,00678	0,0181	0,66	0,77	0,465
26	Las Ferias	Engativá	0,894	0,0072	0,0356	0,0207	0,00528	0,00045	0,66	0,8	0,350
27	Suba	Suba	0,762	0,02	0,091	0,00213	0,0032	0,0181	0,66	0,77	0,312
28	El Rincón	Suba	0,854	0,0072	0,043	0,0127	0,0041	0,0181	0,66	0,77	0,337
29	Mínuto de Dios	Engativá	0,838	0,02	0,0601	0,0291	0,00773	0,00045	0,66	0,8	0,338
30	Boyacá Real	Engativá	0,999	0,0072	0,0512	0,0385	0,00865	0,00045	0,66	0,8	0,388
31	Santa Cecilia	Engativá	0,68	0,0072	0,0356	0,0278	0,00637	0,00045	0,66	0,8	0,284
32	San Blas	San Cristóbal	1	0,0072	0,157	0,011	0,00188	0,058	0,68	0,9	0,405

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$R_F$
33	Sosiego	San Cristóbal	1	0,08	0,32	0,0157	0,0032	0,058	0,68	0,9	0,430
34	20 De Julio	San Cristóbal	1	0,0072	0,24	0,0108	0,00193	0,058	0,68	0,9	0,413
35	Ciudad Jardín	Antonio Nariño	0,577	0,0072	0,0174	0,0134	0,00348	0,145	0,67	0,8	0,262
36	San José	Rafael Uribe	1	0,02	0,08	0,0118	0,00269	0,042	0,65	0,9	0,395
37	Santa Isabel	Los Mártires	0,762	0,0968	0,259	0,0142	0,00269	0,0162	0,66	0,7	0,337
38	Restrepo	Antonio Nariño	0,982	0,18	0,487	0,0145	0,00314	0,145	0,67	0,8	0,456
39	Quiroga	Rafael Uribe	1	0,0128	0,0697	0,0125	0,00284	0,042	0,65	0,9	0,394
40	Ciudad Montes	Puente Aranda	0,549	0,02	0,0601	0,0129	0,00302	0,02	0,69	0,7	0,243
41	Muzu	Puente Aranda	0,378	0,0008	0,00142	0,0151	0,00281	0,02	0,69	0,7	0,181
42	Venecia	Tunjuelito	0,939	0,0288	0,103	0,0147	0,00249	0,00245	0,58	0,7	0,365
43	San Rafael	Puente Aranda	0,711	0,0072	0,0356	0,0142	0,00329	0,02	0,69	0,7	0,290
44	Americas	Ciudad Kennedy	0,789	0,0072	0,0174	0,0206	0,00403	0,00605	0,54	0,7	0,306
45	Carvajal	Ciudad Kennedy	0,92	0,0288	0,103	0,0136	0,00252	0,00605	0,54	0,7	0,357
46	Castilla	Ciudad Kennedy	0,432	0,0072	0,0174	0,0221	0,00499	0,00605	0,54	0,7	0,194
47	Kennedy Central	Ciudad Kennedy	0,451	0,0512	0,091	0,0116	0,00218	0,00605	0,54	0,7	0,210
48	Timiza	Ciudad Kennedy	0,68	0,0008	0,000356	0,0122	0,00249	0,00605	0,54	0,7	0,268
49	Apogeo	Bosa	0,68	0,0072	0,0228	0,00844	0,00126	0,0882	0,73	0,9	0,295
50	La Gloria	San Cristóbal	1	0,0072	0,259	0,01	0,00167	0,058	0,68	0,9	0,415
51	Los Libertadores	San Cristóbal	1	0,0072	0,222	0,00826	0,00185	0,058	0,68	0,9	0,411
52	La Flora	Usme	0,86	0	0,0288	0,00265	0,00105	0,0098	0,67	0,9	0,339
53	Marco Fidel Suárez	Rafael Uribe	1	0,0032	0,128	0,01	0,00167	0,042	0,65	0,9	0,398
54	Marruecos	Rafael Uribe	1	0,0128	0,222	0,0108	0,00207	0,042	0,65	0,9	0,409
55	Diana Turbay	Rafael Uribe	1	0,0072	0,222	0,0071	0,00232	0,042	0,65	0,9	0,408
56	Danubio	Usme	0,849	0,0032	0,0228	0,00748	0,0019	0,0098	0,67	0,9	0,337
57	Gran Yomasa	Usme	1	0,0008	0,0601	0,0112	0,00183	0,0098	0,67	0,9	0,388
58	Comuneros	Usme	1	0,0008	0,142	0,0125	0,00155	0,0098	0,67	0,9	0,397
59	Alfonso López	Usme	0,976	0,0008	0,091	0	0,00163	0,0098	0,67	0,9	0,382
60	Parque Entre Nubes	Usme	1	0,0128	0,188	0	0	0,0098	0,67	0,9	0,401

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$R_F$
61	Ciudad Usme	Usme	1	0,0032	0,205	0,013	0,00148	0,0098	0,67	0,9	0,404
62	Tunjuelito	Tunjuelito	1	0,0512	0,299	0,0153	0,00218	0,00245	0,58	0,7	0,406
63	El Mochuelo	Ciudad Bolivar	1	0	0,000356	0,000666	0,00172	0,022	0,64	0,9	0,380
64	Monte Blanco	Ciudad Bolivar	0,549	0,0008	0,0174	0	0,00158	0,022	0,64	0,9	0,240
65	Arborizadora	Ciudad Bolivar	0,946	0,0288	0,103	0,00854	0,00133	0,022	0,64	0,9	0,378
66	San Francisco	Ciudad Bolivar	1	0,0032	0,043	0,00777	0,00163	0,022	0,64	0,9	0,386
67	Lucero	Ciudad Bolivar	0,928	0	0,00569	0,00763	0,00141	0,022	0,64	0,9	0,359
68	El Tesoro	Ciudad Bolivar	0,595	0,0008	0,0174	0,00147	0,00135	0,022	0,64	0,9	0,255
69	Ismael Perdomo	Ciudad Bolivar	1	0,02	0,128	0,00734	0,00126	0,022	0,64	0,9	0,397
70	Jerusalén	Ciudad Bolivar	0,928	0,0008	0,0228	0,00708	0,00151	0,022	0,64	0,9	0,361
71	Tibabuyes	Suba	0,748	0,0032	0,0128	0,00289	0,00688	0,0181	0,66	0,77	0,299
72	Bolivia	Engativá	0,894	0,0648	0,128	0,0277	0,00788	0,00045	0,66	0,8	0,367
73	Garcés Navas	Engativá	0,304	0,0008	0,00142	0,0306	0,00744	0,00045	0,66	0,8	0,162
74	Engativá	Engativá	0,387	0,0032	0,00889	0,0156	0,00701	0,00045	0,66	0,8	0,186
75	Fontibón	Fontibón	0,994	0,0288	0,115	0,034	0,00688	0,00125	0,64	0,7	0,390
76	Fontibón San Pablo	Fontibón	1	0,259	0,93	0,0292	0,00744	0,00125	0,64	0,7	0,498
77	Zona Franca	Fontibón	1	0,0128	0,08	0,0279	0,0061	0,00125	0,64	0,7	0,385
78	Tintal Norte	Ciudad Kennedy	1	0	0	0,00441	0,00358	0,00605	0,54	0,7	0,367
79	Calandaima	Ciudad Kennedy	0,0544	0	0	0,0136	0,00545	0,00605	0,54	0,7	0,071
80	Corabastos	Ciudad Kennedy	0,101	0,0032	0,0228	0,00894	0,00252	0,00605	0,54	0,7	0,088
81	Gran Britalia	Ciudad Kennedy	0,252	0	0	0,00804	0,00252	0,00605	0,54	0,7	0,132
82	Patio Bonito	Ciudad Kennedy	0,146	0	0	0,0111	0,00355	0,00605	0,54	0,7	0,100
83	Las Margaritas	Ciudad Kennedy	0,0032	0	0,000356	0,000943	0,00193	0,00605	0,54	0,7	0,053
84	Bosa Occidental	Bosa	0,0924	0,0008	0,000356	0,00854	0,00226	0,0882	0,73	0,9	0,107
85	Bosa Central	Bosa	0,762	0,0008	0,0569	0,00581	0,00104	0,0882	0,73	0,9	0,323
86	El Porvenir	Bosa	0,005	0	0	0,00453	0,00175	0,0882	0,73	0,9	0,078
87	Tintal Sur	Bosa	0,0144	0	0	0,00171	0,00209	0,0882	0,73	0,9	0,081
88	El Refugio	Chapinero	0,826	0,0288	0,0697	0,00746	0,00218	0,328	0,77	0,9	0,375

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$R_F$
89	San Isidro Patios	Chapinero	0,974	0	0,0174	0	0	0,328	0,77	0,9	0,411
90	Pardo Rubio	Chapinero	0,762	0,0128	0,0356	0,00941	0,00163	0,328	0,77	0,9	0,350
91	Sagrado Corazón	Santa Fe	0,935	0,885	1	0,0107	0,00215	0,198	0,62	0,9	0,574
92	La Macarena	Santa Fe	0,899	0,0032	0,172	0,0102	0,0018	0,198	0,62	0,9	0,386
93	Las Nieves	Santa Fe	0,939	0,987	1	0,0116	0,0022	0,198	0,62	0,9	0,585
94	Candelaria	La Candelaria	1	0,0128	0,025	0,0115	0,00232	0,328	0,67	0,9	0,420
95	Las Cruces	Santa Fe	1	0,0288	0,24	0,0161	0,00284	0,198	0,62	0,9	0,429
96	Lourdes	Santa Fe	1	0,0008	0,0288	0,00905	0,0018	0,198	0,62	0,9	0,403
97	Chico Lago	Chapinero	0,87	0,231	0,461	0,0143	0,00342	0,328	0,77	0,9	0,451
98	Los Alcázares	Barrios Unidos	0,5	0,0128	0,0601	0,0205	0,00483	0,101	0,75	0,9	0,247
99	Chapinero	Chapinero	0,987	0,82	1	0,0102	0,00215	0,328	0,77	0,9	0,603
100	Galerías	Teusaquillo	0,539	0,0392	0,091	0,0164	0,00332	0,0648	0,74	0,9	0,260
101	Teusaquillo	Teusaquillo	0,838	0,0968	0,222	0,0115	0,00193	0,0648	0,74	0,9	0,373
102	La Sabana	Los Mártires	1	0,98	1	0,0123	0,00207	0,0162	0,66	0,7	0,578
103	Parque Salitre	Barrios Unidos	0,741	0,115	0,564	0,029	0,00575	0,101	0,75	0,9	0,387
104	Parque Simón Bolívar-Can	Teusaquillo	0,266	0,0008	0,00142	0,0223	0,00425	0,0648	0,74	0,9	0,162
105	Jardín Botánico	Engativá	1	1	1	0,0166	0,00193	0,00045	0,66	0,8	0,583
106	La Esmeralda	Teusaquillo	0,557	0,0392	0,0601	0,0273	0,00549	0,0648	0,74	0,9	0,265
107	Quinta Paredes	Teusaquillo	0,604	0,0288	0,043	0,0167	0,00417	0,0648	0,74	0,9	0,275
108	Zona Industrial	Puente Aranda	1	1	1	0,0123	0,00275	0,02	0,69	0,7	0,582
109	Ciudad Salitre Oriental	Teusaquillo	0,776	0,353	0,828	0,0181	0,0044	0,0648	0,74	0,9	0,443
110	Ciudad Salitre Occidental	Fontibón	0,5	0,0968	0,157	0,0168	0,00215	0,00125	0,64	0,7	0,242
111	Puente Aranda	Puente Aranda	1	1	1	0,0239	0,00571	0,02	0,69	0,7	0,584
112	Granjas Techo	Fontibón	1	1	1	0,0182	0,00371	0,00125	0,64	0,7	0,579
113	Bavaria	Ciudad Kennedy	0,899	0,387	0,885	0,0252	0,00444	0,00605	0,54	0,7	0,470
114	Modelía	Fontibón	0,656	0,0032	0,0174	0,0182	0,00655	0,00125	0,64	0,7	0,268
115	Capellania	Fontibón	1	0,423	1	0,0297	0,00788	0,00125	0,64	0,7	0,522
116	Álamos	Engativá	1	0,353	0,949	0,0292	0,00886	0,00045	0,66	0,8	0,515

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$R_F$
117	Aeropuerto El Dorado	Fontibón	0,935	0,0032	0,0128	0,031	0,00902	0,00125	0,64	0,7	0,358

Tabla F.8. Coeficiente de agravamiento,  $F$ , a partir de los factores de fragilidad social y falta de resiliencia,  $F_{FS}$  y  $F_{FR}$

Localidad	$F_{FS1}$	$F_{FS2}$	$F_{FS3}$	$F_{FS4}$	$F_{FS5}$	$F_{FR1}$	$F_{FR2}$	$F_{FR3}$	$F_{FR4}$	$F_{FR5}$	$F_{FR6}$	$F$
Antonio Nariño	0	0,0155	0,00538	0,2	1	0,947	0,778	0,996	0	0,6	0,95	<b>0,50</b>
Barrios Unidos	0	0,0964	0,00702	0,29	1	0,997	0	0	0	0,6	0,95	<b>0,44</b>
Bosa	0,162	0,222	0,00194	0,51	1	1	0,92	0,92	0,367	0,6	0,93	<b>0,61</b>
Chapinero	0,0268	0,0405	0,0435	0	0,125	0,419	0	0,951	0	0,3	0,93	<b>0,20</b>
Ciudad Bolívar	0,146	0,423	0,00086	0,92	1	0,999	0,92	0,936	0	0,6	0,81	<b>0,67</b>
Engativá	0,000494	0,799	0,00000988	0,41	1	1	0,564	0,00653	0	0,6	0,83	<b>0,51</b>
Fontibón	0,0255	0,123	0	0,39	1	1	0,858	0,172	0,837	0,6	0,95	<b>0,55</b>
Ciudad Kennedy	0,053	0,729	0,000356	0,44	1	0,99	0,436	0,444	0,959	1	0,95	<b>0,62</b>
La Candelaria	0,16	0,00032	0,00142	0,34	0,373	0,986	1	1	0	1	0,95	<b>0,49</b>
Los Mártires	0	0,0418	0,00127	0,33	1	0,982	0	0,946	0	0,6	0,94	<b>0,48</b>
Puente Aranda	0	0,208	0	0,37	1	0,999	0,858	0,724	0	0,6	0,83	<b>0,52</b>
Rafael Uribe	0,143	0,315	0,00382	0,5	1	0,994	0,142	0,444	0,0408	1	0,83	<b>0,56</b>
San Cristóbal	0,189	0,327	0,0000274	0,82	1	0,973	0	0,18	0	1	0,66	<b>0,59</b>
Santa Fe	1	0,0532	0,0191	0,36	0,763	0,915	0	0	0	1	0,91	<b>0,61</b>
Suba	0,0147	0,756	0,00464	0,41	1	0,997	0	0,875	0,367	0,6	0,82	<b>0,52</b>
Teusaquillo	0	0,051	0,00176	0,05	0,494	0,931	0	0,147	0	0,3	0,87	<b>0,27</b>
Tunjuelito	0,0503	0,102	0,000185	0,45	1	0,986	0,0356	0,444	0	1	0,94	<b>0,53</b>
Usaquén	0	0,26	0,000632	0,33	0,921	0,965	0	0,045	0,633	0,6	0,95	<b>0,46</b>
Usme	0,0568	0,082	0,00685	1	1	1	0,964	0,988	0	0,6	0,95	<b>0,67</b>
<b>Bogotá</b>	<b>0,094</b>	<b>0,282</b>	<b>0,003</b>	<b>0,489</b>	<b>0,949</b>	<b>0,977</b>	<b>0,449</b>	<b>0,547</b>	<b>0,192</b>	<b>0,718</b>	<b>0,885</b>	<b>0,547</b>

Tabla F.9. Resultados para  $R_F$ ,  $F$  y  $R_T$  por UPZ

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$R_F$	$F$	$R_T$
1	Paseo Los Libertadores	San Cristóbal	0,188	0,59	0,299
2	La Academia	Suba	0,113	0,52	0,172
3	Guaymaral	Suba	0,116	0,52	0,176
9	Verbenal	Usaquén	0,179	0,46	0,261
10	La Uribe	Usaquén	0,298	0,46	0,435
11	San Cristóbal Norte	Usaquén	0,290	0,46	0,423
12	Toberin	Usaquén	0,324	0,46	0,473
13	Los Cedros	Usaquén	0,318	0,46	0,464
14	Usaquén	Usaquén	0,357	0,46	0,521
15	Country Club	Usaquén	0,294	0,46	0,429
16	Santa Bárbara	Usaquén	0,374	0,46	0,546
17	San José de Bavaria	Suba	0,102	0,52	0,156
18	Britalia	Suba	0,194	0,52	0,295
19	El Prado	Suba	0,344	0,52	0,524
20	La Alhambra	Suba	0,380	0,52	0,579
21	Los Andes	Barrios Unidos	0,211	0,44	0,302
22	Doce de Octubre	Barrios Unidos	0,155	0,44	0,223
23	Casa Blanca Suba	Suba	0,157	0,52	0,240
24	Niza	Suba	0,217	0,52	0,331
25	La Floresta	Suba	0,465	0,52	0,709
26	Las Ferias	Engativá	0,350	0,51	0,528
27	Suba	Suba	0,312	0,52	0,476
28	El Rincón	Suba	0,337	0,52	0,514
29	Minuto de Dios	Engativá	0,338	0,51	0,510
30	Boyacá Real	Engativá	0,388	0,51	0,586
31	Santa Cecilia	Engativá	0,284	0,51	0,428
32	San Blas	San Cristóbal	0,405	0,59	0,643
33	Sosiego	San Cristóbal	0,430	0,59	0,683
34	20 De Julio	San Cristóbal	0,413	0,59	0,657
35	Ciudad Jardín	Antonio Nariño	0,262	0,50	0,394
36	San José	Rafael Uribe	0,395	0,56	0,617
37	Santa Isabel	Los Mártires	0,337	0,48	0,497
38	Restrepo	Antonio Nariño	0,456	0,50	0,684
39	Quiroga	Rafael Uribe	0,394	0,56	0,614
40	Ciudad Montes	Puente Aranda	0,243	0,52	0,370
41	Muzu	Puente Aranda	0,181	0,52	0,276
42	Venecia	Tunjuelito	0,365	0,53	0,557
43	San Rafael	Puente Aranda	0,290	0,52	0,442
44	Americas	Ciudad Kennedy	0,306	0,62	0,495
45	Carvajal	Ciudad Kennedy	0,357	0,62	0,577
46	Castilla	Ciudad Kennedy	0,194	0,62	0,314
47	Kennedy Central	Ciudad Kennedy	0,210	0,62	0,340
48	Timiza	Ciudad Kennedy	0,268	0,62	0,433
49	Apogeo	Bosa	0,295	0,61	0,476

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$R_F$	$F$	$R_T$
50	La Gloria	San Cristóbal	0,415	0,59	0,660
51	Los Libertadores	San Cristóbal	0,411	0,59	0,653
52	La Flora	Usme	0,339	0,67	0,567
53	Marco Fidel Suárez	Rafael Uribe	0,398	0,56	0,621
54	Marruecos	Rafael Uribe	0,409	0,56	0,638
55	Diana Turbay	Rafael Uribe	0,408	0,56	0,636
56	Danubio	Usme	0,337	0,67	0,563
57	Gran Yomasa	Usme	0,388	0,67	0,649
58	Comuneros	Usme	0,397	0,67	0,664
59	Alfonso López	Usme	0,382	0,67	0,638
60	Parque Entre Nubes	Usme	0,401	0,67	0,669
61	Ciudad Usme	Usme	0,404	0,67	0,675
62	Tunjuelito	Tunjuelito	0,406	0,53	0,621
63	El Mochuelo	Ciudad Bolívar	0,380	0,67	0,635
64	Monte Blanco	Ciudad Bolívar	0,240	0,67	0,400
65	Arborizadora	Ciudad Bolívar	0,378	0,67	0,631
66	San Francisco	Ciudad Bolívar	0,386	0,67	0,645
67	Lucero	Ciudad Bolívar	0,359	0,67	0,600
68	El Tesoro	Ciudad Bolívar	0,255	0,67	0,425
69	Ismael Perdomo	Ciudad Bolívar	0,397	0,67	0,662
70	Jerusalén	Ciudad Bolívar	0,361	0,67	0,603
71	Tibabuyes	Suba	0,299	0,52	0,455
72	Bolivia	Engativá	0,367	0,51	0,553
73	Garcés Navas	Engativá	0,162	0,51	0,244
74	Engativá	Engativá	0,186	0,51	0,281
75	Fontibón	Fontibón	0,390	0,55	0,604
76	Fontibón San Pablo	Fontibón	0,498	0,55	0,773
77	Zona Franca	Fontibón	0,385	0,55	0,597
78	Tintal Norte	Ciudad Kennedy	0,367	0,62	0,593
79	Calandaima	Ciudad Kennedy	0,071	0,62	0,115
80	Corabastos	Ciudad Kennedy	0,088	0,62	0,141
81	Gran Britalia	Ciudad Kennedy	0,132	0,62	0,214
82	Patio Bonito	Ciudad Kennedy	0,100	0,62	0,161
83	Las Margaritas	Ciudad Kennedy	0,053	0,62	0,085
84	Bosa Occidental	Bosa	0,107	0,61	0,172
85	Bosa Central	Bosa	0,323	0,61	0,521
86	El Porvenir	Bosa	0,078	0,61	0,126
87	Tintal Sur	Bosa	0,081	0,61	0,130
88	El Refugio	Chapinero	0,375	0,20	0,451
89	San Isidro Patios	Chapinero	0,411	0,20	0,495
90	Pardo Rubio	Chapinero	0,350	0,20	0,421
91	Sagrado Corazón	Santa Fe	0,574	0,61	0,924
92	La Macarena	Santa Fe	0,386	0,61	0,622
93	Las Nieves	Santa Fe	0,585	0,61	0,944
94	Candelaria	La Candelaria	0,420	0,49	0,627

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$R_F$	$F$	$R_T$
95	Las Cruces	Santa Fe	0,429	0,61	0,691
96	Lourdes	Santa Fe	0,403	0,61	0,649
97	Chico Lago	Chapinero	0,451	0,20	0,543
98	Los Alcázares	Barrios Unidos	0,247	0,44	0,355
99	Chapinero	Chapinero	0,603	0,20	0,726
100	Galerías	Teusaquillo	0,260	0,27	0,330
101	Teusaquillo	Teusaquillo	0,373	0,27	0,472
102	La Sabana	Los Mártires	0,578	0,48	0,854
103	Parque Salitre	Barrios Unidos	0,387	0,44	0,556
104	Parque Simón Bolívar-Can	Teusaquillo	0,162	0,27	0,206
105	Jardín Botánico	Engativá	0,583	0,51	0,880
106	La Esmeralda	Teusaquillo	0,265	0,27	0,336
107	Quinta Paredes	Teusaquillo	0,275	0,27	0,348
108	Zona Industrial	Puente Aranda	0,582	0,52	0,887
109	Ciudad Salitre Oriental	Teusaquillo	0,443	0,27	0,562
110	Ciudad Salitre Occidental	Fontibón	0,242	0,55	0,375
111	Puente Aranda	Puente Aranda	0,584	0,52	0,891
112	Granjas Techo	Fontibón	0,579	0,55	0,899
113	Bavaria	Ciudad Kennedy	0,470	0,62	0,760
114	Modelía	Fontibón	0,268	0,55	0,415
115	Capellania	Fontibón	0,522	0,55	0,810
116	Álamos	Engativá	0,515	0,51	0,777
117	Aeropuerto El Dorado	Fontibón	0,358	0,55	0,555

F.2.2 Falla La Cajita

Tabla F.10. Valores de los descriptores de riesgo físico,  $R_F$ , para un sismo en la falla La Cajita

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$
1	Paseo los Libertadores	San Cristóbal	1,6	0	0	0,251	0	34	0,68	0,9
2	La Academia	Suba	1,1	0	0	0,192	0	19	0,66	0,77
3	Guaymaral	Suba	1,1	0	0	0,260	0	19	0,66	0,77
9	Verbenal	Usaquén	2,5	0	0	0,145	0	24	0,7	0,83
10	La Uribe	Usaquén	4,1	0	0	0,157	0	24	0,7	0,83
11	San Cristóbal Norte	Usaquén	5,0	0	0	0,116	0	24	0,7	0,83
12	Toberin	Usaquén	4,5	0	1	0,174	0	24	0,7	0,83
13	Los Cedros	Usaquén	5,7	1	2	0,141	0	24	0,7	0,83
14	Usaquén	Usaquén	6,2	1	1	0,102	0	24	0,7	0,83
15	Country Club	Usaquén	4,6	1	2	0,128	0	24	0,7	0,83
16	Santa Bárbara	Usaquén	6,4	2	3	0,118	0	24	0,7	0,83
17	San José de Bavaria	Suba	1,5	0	0	0,178	0	19	0,66	0,77
18	Britalia	Suba	2,8	0	0	0,184	0	19	0,66	0,77
19	El Prado	Suba	5,9	0	1	0,155	0	19	0,66	0,77
20	La Alhambra	Suba	7,8	0	2	0,215	0	19	0,66	0,77
21	Los Andes	Barrios Unidos	3,9	0	0	0,273	0	45	0,75	0,9
22	Doce de Octubre	Barrios Unidos	2,9	0	0	0,209	0	45	0,75	0,9
23	Casa Blanca Suba	Suba	3,0	0	0	0,169	0	19	0,66	0,77
24	Niza	Suba	4,4	0	0	0,167	0	19	0,66	0,77
25	La Floresta	Suba	13,2	3	20	0,221	0	19	0,66	0,77
26	Las Ferias	Engativá	10,9	0	1	0,167	0	3	0,66	0,8
27	Suba	Suba	6,3	0	1	0,050	0	19	0,66	0,77
28	El Rincón	Suba	8,0	0	1	0,128	0	19	0,66	0,77
29	Minuto de Dios	Engativá	9,4	1	3	0,177	0	3	0,66	0,8

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$
30	Boyacá Real	Engativá	14,3	1	2	0,193	0	3	0,66	0,8
31	Santa Cecilia	Engativá	8,0	0	2	0,194	0	3	0,66	0,8
32	San Blas	San Cristóbal	42,9	3	27	0,198	0	34	0,68	0,9
33	Sosiego	San Cristóbal	25,7	4	21	0,305	0	34	0,68	0,9
34	20 de Julio	San Cristóbal	56,2	4	31	0,214	0	34	0,68	0,9
35	Ciudad Jardín	Antonio Nariño	10,3	1	4	0,351	0	17	0,67	0,8
36	San José	Rafael Uribe	30,6	3	21	0,296	0	29	0,65	0,9
37	Santa Isabel	Los Mártires	11,8	4	12	0,290	0	18	0,66	0,7
38	Restrepo	Antonio Nariño	16,4	7	20	0,278	0	17	0,67	0,8
39	Quiroga	Rafael Uribe	27,4	3	20	0,311	0	29	0,65	0,9
40	Ciudad Montes	Puente Aranda	9,6	3	7	0,233	0	20	0,69	0,7
41	Muzu	Puente Aranda	11,2	0	1	0,243	0	20	0,69	0,7
42	Venecia	Tunjuelito	18,0	5	15	0,327	0	7	0,58	0,7
43	San Rafael	Puente Aranda	11,8	1	4	0,238	0	20	0,69	0,7
44	Americas	Ciudad Kennedy	11,0	1	4	0,284	0	11	0,54	0,7
45	Carvajal	Ciudad Kennedy	15,6	4	12	0,236	0	11	0,54	0,7
46	Castilla	Ciudad Kennedy	7,3	1	3	0,277	0	11	0,54	0,7
47	Kennedy Central	Ciudad Kennedy	10,0	1	3	0,214	0	11	0,54	0,7
48	Timiza	Ciudad Kennedy	12,1	1	2	0,239	0	11	0,54	0,7
49	Apogeo	Bosa	12,0	2	7	0,223	0	42	0,73	0,9
50	La Gloria	San Cristóbal	62,3	4	32	0,200	0	34	0,68	0,9
51	Los Libertadores	San Cristóbal	54,8	3	29	0,179	0	34	0,68	0,9
52	La Flora	Usme	27,7	1	13	0,100	0	14	0,67	0,9
53	Marco Fidel Suárez	Rafael Uribe	60,5	3	27	0,254	0	29	0,65	0,9
54	Marruecos	Rafael Uribe	48,8	5	34	0,314	0	29	0,65	0,9
55	Diana Turbay	Rafael Uribe	54,8	5	34	0,195	0	29	0,65	0,9
56	Danubio	Usme	27,6	3	18	0,234	0	14	0,67	0,9
57	Gran Yomasa	Usme	63,0	2	22	0,265	0	14	0,67	0,9

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$
58	Comuneros	Usme	59,6	3	33	0,287	0	14	0,67	0,9
59	Alfonso López	Usme	33,3	4	34	0	0	14	0,67	0,9
60	Parque Entre Nubes	Usme	42,5	4	25	0	0	14	0,67	0,9
61	Ciudad Usme	Usme	57,9	8	46	0,301	0	14	0,67	0,9
62	Tunjuelito	Tunjuelito	50,9	9	41	0,388	0	7	0,58	0,7
63	El Mochuelo	Ciudad Bolívar	69,3	2	5	0,066	0	21	0,64	0,9
64	Monte Blanco	Ciudad Bolívar	42,6	3	25	0	0	21	0,64	0,9
65	Arborizadora	Ciudad Bolívar	18,2	6	20	0,273	0	21	0,64	0,9
66	San Francisco	Ciudad Bolívar	48,9	3	25	0,250	0	21	0,64	0,9
67	Lucero	Ciudad Bolívar	36,6	1	11	0,229	0	21	0,64	0,9
68	El Tesoro	Ciudad Bolívar	28,8	2	15	0,095	0	21	0,64	0,9
69	Ismael Perdomo	Ciudad Bolívar	35,3	9	35	0,220	0	21	0,64	0,9
70	Jerusalén	Ciudad Bolívar	35,9	3	22	0,212	0	21	0,64	0,9
71	Tibabuyes	Suba	7,4	0	1	0,036	0	19	0,66	0,77
72	Bolivia	Engativá	10,7	3	5	0,132	0	3	0,66	0,8
73	Garcés Navas	Engativá	5,4	0	1	0,155	0	3	0,66	0,8
74	Engativá	Engativá	6,0	0	1	0,090	0	3	0,66	0,8
75	Fontibón	Fontibón	15,7	2	8	0,203	0	5	0,64	0,7
76	Fontibón San Pablo	Fontibón	17,3	9	29	0,134	0	5	0,64	0,7
77	Zona Franca	Fontibón	16,5	3	9	0,175	0	5	0,64	0,7
78	Tintal Norte	Ciudad Kennedy	26,8	0	0	0,077	0	11	0,54	0,7
79	Calandaima	Ciudad Kennedy	2,3	0	0	0,220	0	11	0,54	0,7
80	Corabastos	Ciudad Kennedy	5,0	1	3	0,179	0	11	0,54	0,7
81	Gran Britalia	Ciudad Kennedy	8,5	0	1	0,196	0	11	0,54	0,7
82	Patio Bonito	Ciudad Kennedy	6,4	0	0	0,200	0	11	0,54	0,7
83	Las Margaritas	Ciudad Kennedy	1,0	0	0	0,057	0	11	0,54	0,7
84	Bosa Occidental	Bosa	4,7	0	1	0,198	0	42	0,73	0,9
85	Bosa Central	Bosa	18,8	1	12	0,166	0	42	0,73	0,9

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$
86	El Porvenir	Bosa	1,5	0	0	0,130	0	42	0,73	0,9
87	Tintal Sur	Bosa	2,2	0	1	0,114	0	42	0,73	0,9
88	El Refugio	Chapinero	6,0	0	1	0,145	0	81	0,77	0,9
89	San Isidro Patios	Chapinero	9,4	0	1	0	0	81	0,77	0,9
90	Pardo Rubio	Chapinero	6,8	0	2	0,105	0	81	0,77	0,9
91	Sagrado Corazón	Santa Fe	10,3	10	29	0,131	0	63	0,62	0,9
92	La Macarena	Santa Fe	12,3	1	20	0,147	0	63	0,62	0,9
93	Las Nieves	Santa Fe	10,5	7	25	0,192	0	63	0,62	0,9
94	Candelaria	La Candelaria	19,9	3	22	0,201	0	81	0,67	0,9
95	Las Cruces	Santa Fe	29,0	3	21	0,338	0	63	0,62	0,9
96	Lourdes	Santa Fe	27,2	1	11	0,135	0	63	0,62	0,9
97	Chico Lago	Chapinero	7,0	1	3	0,182	0	81	0,77	0,9
98	Los Alcázares	Barrios Unidos	5,7	0	1	0,213	0	45	0,75	0,9
99	Chapinero	Chapinero	10,9	5	14	0,142	0	81	0,77	0,9
100	Galerías	Teusaquillo	6,8	1	3	0,237	0	36	0,74	0,9
101	Teusaquillo	Teusaquillo	9,6	2	6	0,151	0	36	0,74	0,9
102	La Sabana	Los Mártires	15,4	17	54	0,259	0	18	0,66	0,7
103	Parque Salitre	Barrios Unidos	6,5	1	2	0,239	0	45	0,75	0,9
104	Parque Simón Bolívar-Can	Teusaquillo	3,6	0	0	0,191	0	36	0,74	0,9
105	Jardín Botánico	Engativá	14,3	450	1000	0,160	0	3	0,66	0,8
106	La Esmeralda	Teusaquillo	5,5	0	1	0,215	0	36	0,74	0,9
107	Quinta Paredes	Teusaquillo	6,6	0	1	0,221	0	36	0,74	0,9
108	Zona Industrial	Puente Aranda	19,0	102	339	0,236	0	20	0,69	0,7
109	Ciudad Salitre Oriental	Teusaquillo	7,7	10	25	0,179	0	36	0,74	0,9
110	Ciudad Salitre Occidental	Fontibón	6,4	3	7	0,169	0	5	0,64	0,7
111	Puente Aranda	Puente Aranda	13,2	16	54	0,277	0	20	0,69	0,7
112	Granjas Techo	Fontibón	18,6	53	176	0,179	0	5	0,64	0,7
113	Bavaria	Ciudad Kennedy	9,7	8	22	0,291	0	11	0,54	0,7

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$
114	Modelia	Fontibón	9,1	0	3	0,189	0	5	0,64	0,7
115	Capellania	Fontibón	16,8	10	34	0,182	0	5	0,64	0,7
116	Álamos	Engativá	19,8	9	29	0,162	0	3	0,66	0,8
117	Aeropuerto El Dorado	Fontibón	8,1	1	3	0,139	0	5	0,64	0,7

Tabla F.11. Factores,  $F_{RF}$ , y el riesgo físico,  $R_F$ , para un sismo en la falla La Cajita

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$R_F$
1	Paseo Los Libertadores	San Cristóbal	0,0128	0	0	0,00173	0	0,058	0,68	0,9	0,075
2	La Academia	Suba	0,00605	0	0	0,00104	0	0,0181	0,66	0,77	0,062
3	Guaymaral	Suba	0,00605	0	0	0,00185	0	0,0181	0,66	0,77	0,062
9	Verbenal	Usaquén	0,0313	0	0	0,0006	0	0,0288	0,7	0,83	0,075
10	La Uribe	Usaquén	0,084	0	0	0,000701	0	0,0288	0,7	0,83	0,092
11	San Cristóbal Norte	Usaquén	0,125	0	0	0,000388	0	0,0288	0,7	0,83	0,105
12	Toberin	Usaquén	0,101	0	0,000356	0,000856	0	0,0288	0,7	0,83	0,097
13	Los Cedros	Usaquén	0,162	0,0008	0,00142	0,000568	0	0,0288	0,7	0,83	0,117
14	Usaquén	Usaquén	0,192	0,0008	0,000356	0,000302	0	0,0288	0,7	0,83	0,126
15	Country Club	Usaquén	0,106	0,0008	0,00142	0,000471	0	0,0288	0,7	0,83	0,099
16	Santa Bárbara	Usaquén	0,205	0,0032	0,0032	0,000401	0	0,0288	0,7	0,83	0,131
17	San José de Bavaria	Suba	0,0113	0	0	0,000894	0	0,0181	0,66	0,77	0,064
18	Britalia	Suba	0,0392	0	0	0,000953	0	0,0181	0,66	0,77	0,073
19	El Prado	Suba	0,174	0	0,000356	0,000684	0	0,0181	0,66	0,77	0,115
20	La Alhambra	Suba	0,304	0	0,00142	0,00129	0	0,0181	0,66	0,77	0,156
21	Los Andes	Barríos Unidos	0,0761	0	0	0,00203	0	0,101	0,75	0,9	0,102
22	Doce de Octubre	Barríos Unidos	0,042	0	0	0,00122	0	0,101	0,75	0,9	0,091
23	Casa Blanca Suba	Suba	0,045	0	0	0,000809	0	0,0181	0,66	0,77	0,074
24	Niza	Suba	0,0968	0	0	0,00079	0	0,0181	0,66	0,77	0,091

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$R_F$
25	La Floresta	Suba	0,769	0,0072	0,142	0,00136	0	0,0181	0,66	0,77	0,318
26	Las Ferias	Engativá	0,586	0	0,000356	0,00079	0	0,00045	0,66	0,8	0,244
27	Suba	Suba	0,198	0	0,000356	0,0000738	0	0,0181	0,66	0,77	0,123
28	El Rincón	Suba	0,32	0	0,000356	0,000471	0	0,0181	0,66	0,77	0,161
29	Minuto de Dios	Engativá	0,442	0,0008	0,0032	0,000884	0	0,00045	0,66	0,8	0,199
30	Boyacá Real	Engativá	0,838	0,0008	0,00142	0,00105	0	0,00045	0,66	0,8	0,324
31	Santa Cecilia	Engativá	0,32	0	0,00142	0,00106	0	0,00045	0,66	0,8	0,161
32	San Blas	San Cristóbal	1	0,0072	0,259	0,0011	0	0,058	0,68	0,9	0,413
33	Sosiego	San Cristóbal	1	0,0128	0,157	0,00251	0	0,058	0,68	0,9	0,403
34	20 de Julio	San Cristóbal	1	0,0128	0,342	0,00128	0	0,058	0,68	0,9	0,422
35	Ciudad Jardín	Antonio Nariño	0,53	0,0008	0,00569	0,00326	0	0,145	0,67	0,8	0,243
36	San José	Rafael Uribe	1	0,0072	0,157	0,00237	0	0,042	0,65	0,9	0,400
37	Santa Isabel	Los Mártires	0,664	0,0128	0,0512	0,00228	0	0,0162	0,66	0,7	0,273
38	Restrepo	Antonio Nariño	0,935	0,0392	0,142	0,0021	0	0,145	0,67	0,8	0,389
39	Quiroga	Rafael Uribe	1	0,0072	0,142	0,0026	0	0,042	0,65	0,9	0,398
40	Ciudad Montes	Puente Aranda	0,461	0,0072	0,0174	0,0015	0	0,02	0,69	0,7	0,207
41	Muzu	Puente Aranda	0,613	0	0,000356	0,00163	0	0,02	0,69	0,7	0,252
42	Venecia	Tunjuelito	0,98	0,02	0,08	0,00286	0	0,00245	0,58	0,7	0,372
43	San Rafael	Puente Aranda	0,664	0,0008	0,00569	0,00156	0	0,02	0,69	0,7	0,269
44	Americas	Ciudad Kennedy	0,595	0,0008	0,00569	0,00219	0	0,00605	0,54	0,7	0,240
45	Carvajal	Ciudad Kennedy	0,903	0,0128	0,0512	0,00154	0	0,00605	0,54	0,7	0,342
46	Castilla	Ciudad Kennedy	0,266	0,0008	0,0032	0,00209	0	0,00605	0,54	0,7	0,136
47	Kennedy Central	Ciudad Kennedy	0,5	0,0008	0,0032	0,00128	0	0,00605	0,54	0,7	0,209
48	Timiza	Ciudad Kennedy	0,688	0,0008	0,00142	0,00158	0	0,00605	0,54	0,7	0,268
49	Apogeo	Bosa	0,68	0,0032	0,0174	0,00138	0	0,0882	0,73	0,9	0,292
50	La Gloria	San Cristóbal	1	0,0128	0,364	0,00112	0	0,058	0,68	0,9	0,424
51	Los Libertadores	San Cristóbal	1	0,0072	0,299	0,000904	0	0,058	0,68	0,9	0,417
52	La Flora	Usme	1	0,0008	0,0601	0,00029	0	0,0098	0,67	0,9	0,386

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$R_F$
53	Marco Fidel Suárez	Rafael Uribe	1	0,0072	0,259	0,00177	0	0,042	0,65	0,9	0,410
54	Marruecos	Rafael Uribe	1	0,02	0,411	0,00265	0	0,042	0,65	0,9	0,427
55	Diana Turbay	Rafael Uribe	1	0,02	0,411	0,00107	0	0,042	0,65	0,9	0,427
56	Danubio	Usme	1	0,0072	0,115	0,00151	0	0,0098	0,67	0,9	0,393
57	Gran Yomasa	Usme	1	0,0032	0,172	0,00192	0	0,0098	0,67	0,9	0,398
58	Comuneros	Usme	1	0,0072	0,387	0,00223	0	0,0098	0,67	0,9	0,421
59	Alfonso López	Usme	1	0,0128	0,411	0	0	0,0098	0,67	0,9	0,424
60	Parque Entre Nubes	Usme	1	0,0128	0,222	0	0	0,0098	0,67	0,9	0,404
61	Ciudad Usme	Usme	1	0,0512	0,701	0,00245	0	0,0098	0,67	0,9	0,458
62	Tunjuelito	Tunjuelito	1	0,0648	0,589	0,00393	0	0,00245	0,58	0,7	0,435
63	El Mochuelo	Ciudad Bolívar	1	0,0032	0,00889	0,000128	0	0,022	0,64	0,9	0,381
64	Monte Blanco	Ciudad Bolívar	1	0,0072	0,222	0	0	0,022	0,64	0,9	0,404
65	Arborizadora	Ciudad Bolívar	0,984	0,0288	0,142	0,00203	0	0,022	0,64	0,9	0,393
66	San Francisco	Ciudad Bolívar	1	0,0072	0,222	0,00172	0	0,022	0,64	0,9	0,404
67	Lucero	Ciudad Bolívar	1	0,0008	0,043	0,00145	0	0,022	0,64	0,9	0,385
68	El Tesoro	Ciudad Bolívar	1	0,0032	0,08	0,000262	0	0,022	0,64	0,9	0,389
69	Ismael Perdomo	Ciudad Bolívar	1	0,0648	0,436	0,00135	0	0,022	0,64	0,9	0,432
70	Jerusalén	Ciudad Bolívar	1	0,0072	0,172	0,00125	0	0,022	0,64	0,9	0,399
71	Tibabuyes	Suba	0,274	0	0,000356	0,0000384	0	0,0181	0,66	0,77	0,146
72	Bolivia	Engativá	0,568	0,0072	0,00889	0,0005	0	0,00045	0,66	0,8	0,240
73	Garcés Navas	Engativá	0,146	0	0,000356	0,000684	0	0,00045	0,66	0,8	0,106
74	Engativá	Engativá	0,18	0	0,000356	0,000236	0	0,00045	0,66	0,8	0,116
75	Fontibón	Fontibón	0,908	0,0032	0,0228	0,00115	0	0,00125	0,64	0,7	0,344
76	Fontibón San Pablo	Fontibón	0,964	0,0648	0,299	0,000515	0	0,00125	0,64	0,7	0,396
77	Zona Franca	Fontibón	0,939	0,0072	0,0288	0,000865	0	0,00125	0,64	0,7	0,354
78	Tintal Norte	Ciudad Kennedy	1	0	0	0,000173	0	0,00605	0,54	0,7	0,366
79	Calandáima	Ciudad Kennedy	0,0264	0	0	0,00135	0	0,00605	0,54	0,7	0,060
80	Corabastos	Ciudad Kennedy	0,125	0,0008	0,0032	0,000904	0	0,00605	0,54	0,7	0,091

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$R_F$
81	Gran Britalia	Ciudad Kennedy	0,361	0	0,000356	0,00108	0	0,00605	0,54	0,7	0,165
82	Patio Bonito	Ciudad Kennedy	0,205	0	0	0,00112	0	0,00605	0,54	0,7	0,116
83	Las Margaritas	Ciudad Kennedy	0,005	0	0	0,0000956	0	0,00605	0,54	0,7	0,053
84	Bosa Occidental	Bosa	0,11	0	0,000356	0,0011	0	0,0882	0,73	0,9	0,111
85	Bosa Central	Bosa	0,993	0,0008	0,0512	0,000781	0	0,0882	0,73	0,9	0,394
86	El Porvenir	Bosa	0,0113	0	0	0,000485	0	0,0882	0,73	0,9	0,079
87	Tintal Sur	Bosa	0,0242	0	0,000356	0,000375	0	0,0882	0,73	0,9	0,083
88	El Refugio	Chapinero	0,18	0	0,000356	0,0006	0	0,328	0,77	0,9	0,160
89	San Isidro Patios	Chapinero	0,442	0	0,000356	0	0	0,328	0,77	0,9	0,242
90	Pardo Rubio	Chapinero	0,231	0	0,00142	0,000319	0	0,328	0,77	0,9	0,176
91	Sagrado Corazón	Santa Fe	0,53	0,08	0,299	0,000492	0	0,198	0,62	0,9	0,289
92	La Macarena	Santa Fe	0,704	0,0008	0,142	0,000617	0	0,198	0,62	0,9	0,319
93	Las Nieves	Santa Fe	0,549	0,0392	0,222	0,00104	0	0,198	0,62	0,9	0,283
94	Candelaria	La Candelaria	1	0,0072	0,172	0,00113	0	0,328	0,67	0,9	0,432
95	Las Cruces	Santa Fe	1	0,0072	0,157	0,00304	0	0,198	0,62	0,9	0,415
96	Lourdes	Santa Fe	1	0,0008	0,043	0,000522	0	0,198	0,62	0,9	0,402
97	Chico Lago	Chapinero	0,245	0,0008	0,0032	0,000933	0	0,328	0,77	0,9	0,181
98	Los Alcázares	Barrios Unidos	0,162	0	0,000356	0,00126	0	0,101	0,75	0,9	0,129
99	Chapinero	Chapinero	0,586	0,02	0,0697	0,000576	0	0,328	0,77	0,9	0,297
100	Galerías	Teusaquillo	0,231	0,0008	0,0032	0,00155	0	0,0648	0,74	0,9	0,147
101	Teusaquillo	Teusaquillo	0,461	0,0032	0,0128	0,00065	0	0,0648	0,74	0,9	0,221
102	La Sabana	Los Mártires	0,894	0,231	0,843	0,00184	0	0,0162	0,66	0,7	0,450
103	Parque Salitre	Barrios Unidos	0,211	0,0008	0,00142	0,00158	0	0,101	0,75	0,9	0,145
104	Parque Simón Bolívar-Can	Teusaquillo	0,0648	0	0	0,00102	0	0,0648	0,74	0,9	0,094
105	Jardín Botánico	Engativá	0,838	1	1	0,000727	0	0,00045	0,66	0,8	0,529
106	La Esmeralda	Teusaquillo	0,151	0	0,000356	0,00129	0	0,0648	0,74	0,9	0,121
107	Quinta Paredes	Teusaquillo	0,218	0	0,000356	0,00136	0	0,0648	0,74	0,9	0,143
108	Zona Industrial	Puente Aranda	0,995	1	1	0,00154	0	0,02	0,69	0,7	0,578

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$R_F$
109	Ciudad Salitre Oriental	Teusaquillo	0,296	0,08	0,222	0,000904	0	0,0648	0,74	0,9	0,198
110	Ciudad Salitre Occidental	Fontibón	0,205	0,0072	0,0174	0,000809	0	0,00125	0,64	0,7	0,122
111	Puente Aranda	Puente Aranda	0,769	0,205	0,843	0,00209	0	0,02	0,69	0,7	0,409
112	Granjas Techo	Fontibón	0,99	1	1	0,000904	0	0,00125	0,64	0,7	0,572
113	Bavaria	Ciudad Kennedy	0,47	0,0512	0,172	0,00229	0	0,00605	0,54	0,7	0,223
114	Modelia	Fontibón	0,414	0	0,0032	0,001	0	0,00125	0,64	0,7	0,186
115	Capellania	Fontibón	0,949	0,08	0,411	0,000933	0	0,00125	0,64	0,7	0,404
116	Álamos	Engativá	1	0,648	0,299	0,000745	0	0,00045	0,66	0,8	0,472
117	Aeropuerto El Dorado	Fontibón	0,328	0,0008	0,0032	0,000553	0	0,00125	0,64	0,7	0,159

Tabla F.12. Resultados de  $R_F$ ,  $F$  y  $R_T$  para un sismo en la falla La Cajita

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$R_F$	$F$	$R_T$
1	Paseo los Libertadores	San Cristóbal	0,075	0,59	0,119
2	La Academia	Suba	0,062	0,52	0,095
3	Guaymaral	Suba	0,062	0,52	0,095
9	Verbenal	Usaquén	0,075	0,46	0,110
10	La Uribe	Usaquén	0,092	0,46	0,134
11	San Cristóbal Norte	Usaquén	0,105	0,46	0,153
12	Toberin	Usaquén	0,097	0,46	0,142
13	Los Cedros	Usaquén	0,117	0,46	0,170
14	Usaquén	Usaquén	0,126	0,46	0,184
15	Country Club	Usaquén	0,099	0,46	0,145
16	Santa Bárbara	Usaquén	0,131	0,46	0,191
17	San José de Bavaria	Suba	0,064	0,52	0,097
18	Britalia	Suba	0,073	0,52	0,111
19	El Prado	Suba	0,115	0,52	0,175
20	La Alhambra	Suba	0,156	0,52	0,238
21	Los Andes	Barrios Unidos	0,102	0,44	0,147
22	Doce de Octubre	Barrios Unidos	0,091	0,44	0,131
23	Casa Blanca Suba	Suba	0,074	0,52	0,114
24	Niza	Suba	0,091	0,52	0,138
25	La Floresta	Suba	0,318	0,52	0,485
26	Las Ferias	Engativá	0,244	0,51	0,368
27	Suba	Suba	0,123	0,52	0,187
28	El Rincón	Suba	0,161	0,52	0,246
29	Minuto de Dios	Engativá	0,199	0,51	0,301
30	Boyacá Real	Engativá	0,324	0,51	0,489
31	Santa Cecilia	Engativá	0,161	0,51	0,242
32	San Blas	San Cristóbal	0,413	0,59	0,657
33	Sosiego	San Cristóbal	0,403	0,59	0,641
34	20 de Julio	San Cristóbal	0,422	0,59	0,671
35	Ciudad Jardín	Antonio Nariño	0,243	0,50	0,365
36	San José	Rafael Uribe	0,400	0,56	0,624
37	Santa Isabel	Los Mártires	0,273	0,48	0,403
38	Restrepo	Antonio Nariño	0,389	0,50	0,583
39	Quiroga	Rafael Uribe	0,398	0,56	0,622
40	Ciudad Montes	Puente Aranda	0,207	0,52	0,315
41	Muzu	Puente Aranda	0,252	0,52	0,384
42	Venecia	Tunjuelito	0,372	0,53	0,568
43	San Rafael	Puente Aranda	0,269	0,52	0,410
44	Americas	Ciudad Kennedy	0,240	0,62	0,387
45	Carvajal	Ciudad Kennedy	0,342	0,62	0,553
46	Castilla	Ciudad Kennedy	0,136	0,62	0,219
47	Kennedy Central	Ciudad Kennedy	0,209	0,62	0,338
48	Timiza	Ciudad Kennedy	0,268	0,62	0,434
49	Apogeo	Bosa	0,292	0,61	0,472

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$R_F$	$F$	$R_T$
50	La Gloria	San Cristóbal	0,424	0,59	0,675
51	Los Libertadores	San Cristóbal	0,417	0,59	0,663
52	La Flora	Usme	0,386	0,67	0,645
53	Marco Fidel Suárez	Rafael Uribe	0,410	0,56	0,640
54	Marruecos	Rafael Uribe	0,427	0,56	0,667
55	Diana Turbay	Rafael Uribe	0,427	0,56	0,667
56	Danubio	Usme	0,393	0,67	0,656
57	Gran Yomasa	Usme	0,398	0,67	0,666
58	Comuneros	Usme	0,421	0,67	0,703
59	Alfonso López	Usme	0,424	0,67	0,708
60	Parque Entre Nubes	Usme	0,404	0,67	0,675
61	Ciudad Usme	Usme	0,458	0,67	0,765
62	Tunjuelito	Tunjuelito	0,435	0,53	0,665
63	El Mochuelo	Ciudad Bolívar	0,381	0,67	0,636
64	Monte Blanco	Ciudad Bolívar	0,404	0,67	0,673
65	Arborizadora	Ciudad Bolívar	0,393	0,67	0,656
66	San Francisco	Ciudad Bolívar	0,404	0,67	0,674
67	Lucero	Ciudad Bolívar	0,385	0,67	0,642
68	El Tesoro	Ciudad Bolívar	0,389	0,67	0,648
69	Ismael Perdomo	Ciudad Bolívar	0,432	0,67	0,720
70	Jerusalén	Ciudad Bolívar	0,399	0,67	0,665
71	Tibabuyes	Suba	0,146	0,52	0,223
72	Bolivia	Engativá	0,240	0,51	0,362
73	Garcés Navas	Engativá	0,106	0,51	0,159
74	Engativá	Engativá	0,116	0,51	0,175
75	Fontibón	Fontibón	0,344	0,55	0,533
76	Fontibón San Pablo	Fontibón	0,396	0,55	0,614
77	Zona Franca	Fontibón	0,354	0,55	0,550
78	Tintal Norte	Ciudad Kennedy	0,366	0,62	0,591
79	Calandaima	Ciudad Kennedy	0,060	0,62	0,096
80	Corabastos	Ciudad Kennedy	0,091	0,62	0,147
81	Gran Britalia	Ciudad Kennedy	0,165	0,62	0,267
82	Patio Bonito	Ciudad Kennedy	0,116	0,62	0,187
83	Las Margaritas	Ciudad Kennedy	0,053	0,62	0,085
84	Bosa Occidental	Bosa	0,111	0,61	0,179
85	Bosa Central	Bosa	0,394	0,61	0,636
86	El Porvenir	Bosa	0,079	0,61	0,128
87	Tintal Sur	Bosa	0,083	0,61	0,135
88	El Refugio	Chapinero	0,160	0,20	0,192
89	San Isidro Patios	Chapinero	0,242	0,20	0,292
90	Pardo Rubio	Chapinero	0,176	0,20	0,212
91	Sagrado Corazón	Santa Fe	0,289	0,61	0,466
92	La Macarena	Santa Fe	0,319	0,61	0,515
93	Las Nieves	Santa Fe	0,283	0,61	0,456
94	Candelaria	La Candelaria	0,432	0,49	0,645

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$R_F$	$F$	$R_T$
95	Las Cruces	Santa Fe	0,415	0,61	0,669
96	Lourdes	Santa Fe	0,402	0,61	0,649
97	Chico Lago	Chapinero	0,181	0,20	0,217
98	Los Alcázares	Barrios Unidos	0,129	0,44	0,186
99	Chapinero	Chapinero	0,297	0,20	0,357
100	Galerías	Teusaquillo	0,147	0,27	0,186
101	Teusaquillo	Teusaquillo	0,221	0,27	0,280
102	La Sabana	Los Mártires	0,450	0,48	0,664
103	Parque Salitre	Barrios Unidos	0,145	0,44	0,208
104	Parque Simón Bolívar-Can	Teusaquillo	0,094	0,27	0,119
105	Jardín Botánico	Engativá	0,529	0,51	0,798
106	La Esmeralda	Teusaquillo	0,121	0,27	0,154
107	Quinta Paredes	Teusaquillo	0,143	0,27	0,181
108	Zona Industrial	Puente Aranda	0,578	0,52	0,881
109	Ciudad Salitre Oriental	Teusaquillo	0,198	0,27	0,251
110	Ciudad Salitre Occidental	Fontibón	0,122	0,55	0,189
111	Puente Aranda	Puente Aranda	0,409	0,52	0,623
112	Granjas Techo	Fontibón	0,572	0,55	0,888
113	Bavaria	Ciudad Kennedy	0,223	0,62	0,360
114	Modelia	Fontibón	0,186	0,55	0,288
115	Capellania	Fontibón	0,404	0,55	0,627
116	Álamos	Engativá	0,472	0,51	0,712
117	Aeropuerto El Dorado	Fontibón	0,159	0,55	0,246

**F.2.3 Zona Benioff profunda**

**Tabla F.13. Valores de los descriptores de riesgo físico,  $R_F$ , para un sismo en la Zona Benioff profunda**

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$
1	Paseo los Libertadores	San Cristóbal	8,7	0	0	0,682	0,120	34	0,68	0,9
2	La Academia	Suba	3,9	0	1	0,520	0,109	19	0,66	0,77
3	Guaymaral	Suba	5,6	2	6	0,665	0,112	19	0,66	0,77
9	Verbenal	Usaquén	5,8	1	3	0,443	0,112	24	0,7	0,83
10	La Uribe	Usaquén	11,2	1	4	0,505	0,105	24	0,7	0,83
11	San Cristóbal Norte	Usaquén	9,3	1	3	0,431	0,094	24	0,7	0,83
12	Toberín	Usaquén	10,8	6	16	0,568	0,123	24	0,7	0,83
13	Los Cedros	Usaquén	12,0	10	20	0,475	0,116	24	0,7	0,83
14	Usaquén	Usaquén	12,8	7	18	0,391	0,104	24	0,7	0,83
15	Country Club	Usaquén	12,8	6	15	0,447	0,128	24	0,7	0,83
16	Santa Bárbara	Usaquén	14,2	18	36	0,404	0,132	24	0,7	0,83
17	San José de Bavaria	Suba	3,4	0	0	0,502	0,113	19	0,66	0,77
18	Britalia	Suba	7,8	0	1	0,521	0,116	19	0,66	0,77
19	El Prado	Suba	12,4	4	12	0,468	0,117	19	0,66	0,77
20	La Alhambra	Suba	13,3	7	14	0,591	0,149	19	0,66	0,77
21	Los Andes	Barrios Unidos	8,0	4	9	0,657	0,169	45	0,75	0,9
22	Doce de Octubre	Barrios Unidos	6,7	3	8	1,001	0,248	45	0,75	0,9
23	Casa Blanca Suba	Suba	5,9	0	1	0,421	0,102	19	0,66	0,77
24	Niza	Suba	7,5	1	1	0,457	0,125	19	0,66	0,77
25	La Floresta	Suba	15,9	11	41	0,801	0,239	19	0,66	0,77
26	Las Ferias	Engativá	12,2	3	9	1,112	0,278	3	0,66	0,8
27	Suba	Suba	11,4	6	16	0,299	0,222	19	0,66	0,77
28	El Rincón	Suba	10,5	1	2	0,865	0,254	19	0,66	0,77
29	Minuto de Dios	Engativá	11,8	6	13	1,366	0,344	3	0,66	0,8

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$
30	Boyacá Real	Engativá	15,2	4	10	1,546	0,363	3	0,66	0,8
31	Santa Cecilia	Engativá	8,6	3	8	1,359	0,309	3	0,66	0,8
32	San Blas	San Cristóbal	9,7	0	1	0,445	0,100	34	0,68	0,9
33	Sosiego	San Cristóbal	13,5	9	20	0,586	0,137	34	0,68	0,9
34	20 de Julio	San Cristóbal	13,5	0	2	0,449	0,103	34	0,68	0,9
35	Ciudad Jardín	Antonio Nariño	8,4	3	7	0,617	0,165	17	0,67	0,8
36	San José	Rafael Uribe	13,7	4	8	0,513	0,130	29	0,65	0,9
37	Santa Isabel	Los Mártires	10,8	11	26	0,693	0,159	18	0,66	0,7
38	Restrepo	Antonio Nariño	15,3	15	36	0,730	0,178	17	0,67	0,8
39	Quiroga	Rafael Uribe	14,4	4	9	0,614	0,159	29	0,65	0,9
40	Ciudad Montes	Puente Aranda	9,1	6	13	0,713	0,182	20	0,69	0,7
41	Muzu	Puente Aranda	4,8	1	2	0,815	0,183	20	0,69	0,7
42	Venecia	Tunjuelito	13,7	6	16	0,769	0,166	7	0,58	0,7
43	San Rafael	Puente Aranda	9,7	4	12	0,794	0,191	20	0,69	0,7
44	Americas	Ciudad Kennedy	12,9	3	8	0,962	0,213	11	0,54	0,7
45	Carvajal	Ciudad Kennedy	13,9	6	17	0,789	0,178	11	0,54	0,7
46	Castilla	Ciudad Kennedy	8,7	3	8	1,022	0,249	11	0,54	0,7
47	Kennedy Central	Ciudad Kennedy	7,7	13	26	0,741	0,170	11	0,54	0,7
48	Timiza	Ciudad Kennedy	10,5	1	1	0,753	0,181	11	0,54	0,7
49	Apogeo	Bosa	10,8	3	8	0,593	0,129	42	0,73	0,9
50	La Gloria	San Cristóbal	11,5	0	0	0,421	0,094	34	0,68	0,9
51	Los Libertadores	San Cristóbal	9,5	0	0	0,372	0,098	34	0,68	0,9
52	La Flora	Usme	3,2	0	1	0,198	0,073	14	0,67	0,9
53	Marco Fidel Suárez	Rafael Uribe	15,3	1	2	0,450	0,102	29	0,65	0,9
54	Marruecos	Rafael Uribe	13,6	2	5	0,477	0,110	29	0,65	0,9
55	Diana Turbay	Rafael Uribe	11,1	1	2	0,353	0,114	29	0,65	0,9
56	Danubio	Usme	5,6	1	3	0,363	0,101	14	0,67	0,9
57	Gran Yomasa	Usme	8,9	0	0	0,451	0,098	14	0,67	0,9

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$
58	Comuneros	Usme	8,2	0	0	0,466	0,089	14	0,67	0,9
59	Alfonso López	Usme	3,7	0	2		0,089	14	0,67	0,9
60	Parque Entre Nubes	Usme	5,5	0	2			14	0,67	0,9
61	Ciudad Usme	Usme	7,4	0	1	0,485	0,087	14	0,67	0,9
62	Tunjuelito	Tunjuelito	19,2	6	16	0,610	0,115	7	0,58	0,7
63	El Mochuelo	Ciudad Bolívar	14,5	0	1	0,106	0,103	21	0,64	0,9
64	Monte Blanco	Ciudad Bolívar	83,0	2	30		0,100	21	0,64	0,9
65	Arborizadora	Ciudad Bolívar	12,1	6	15	0,546	0,114	21	0,64	0,9
66	San Francisco	Ciudad Bolívar	14,0	1	2	0,418	0,105	21	0,64	0,9
67	Lucero	Ciudad Bolívar	7,6	0	2	0,399	0,097	21	0,64	0,9
68	El Tesoro	Ciudad Bolívar	0,1	0	0	0,161	0,093	21	0,64	0,9
69	Ismael Perdomo	Ciudad Bolívar	18,2	2	6	0,457	0,107	21	0,64	0,9
70	Jerusalén	Ciudad Bolívar	4,6	1	2	0,407	0,106	21	0,64	0,9
71	Tibabuyes	Suba	12,3	2	6	0,388	0,346	19	0,66	0,77
72	Bolivia	Engativá	16,0	13	27	1,388	0,363	3	0,66	0,8
73	Garcés Navas	Engativá	6,4	1	2	1,436	0,348	3	0,66	0,8
74	Engativá	Engativá	7,6	2	5	0,974	0,341	3	0,66	0,8
75	Fontibón	Fontibón	15,8	6	18	1,506	0,330	5	0,64	0,7
76	Fontibón San Pablo	Fontibón	28,7	19	62	1,447	0,359	5	0,64	0,7
77	Zona Franca	Fontibón	27,1	4	15	1,311	0,311	5	0,64	0,7
78	Tintal Norte	Ciudad Kennedy	45,3	0	0	0,458	0,231	11	0,54	0,7
79	Calandaima	Ciudad Kennedy	3,1	0	1	0,759	0,262	11	0,54	0,7
80	Corabastos	Ciudad Kennedy	3,3	3	9	0,645	0,188	11	0,54	0,7
81	Gran Britalia	Ciudad Kennedy	5,0	0	0	0,618	0,190	11	0,54	0,7
82	Patio Bonito	Ciudad Kennedy	3,7	0	0	0,716	0,214	11	0,54	0,7
83	Las Margaritas	Ciudad Kennedy	0,6	0	1	0,199	0,171	11	0,54	0,7
84	Bosa Occidental	Bosa	3,3	1	2	0,657	0,184	42	0,73	0,9
85	Bosa Central	Bosa	10,1	2	4	0,484	0,121	42	0,73	0,9

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$
86	El Porvenir	Bosa	0,5	0	0	0,466	0,166	42	0,73	0,9
87	Tintal Sur	Bosa	1,2	0	0	0,264	0,183	42	0,73	0,9
88	El Refugio	Chapinero	12,4	6	11	0,603	0,180	81	0,77	0,9
89	San Isidro Patios	Chapinero	7,6	0	0	0	0	81	0,77	0,9
90	Pardo Rubio	Chapinero	11,1	3	7	0,803	0,190	81	0,77	0,9
91	Sagrado Corazón	Santa Fe	15,2	39	87	0,829	0,193	63	0,62	0,9
92	La Macarena	Santa Fe	9,0	0	3	0,808	0,183	63	0,62	0,9
93	Las Nieves	Santa Fe	13,5	45	95	0,787	0,176	63	0,62	0,9
94	Candelaria	La Candelaria	12,3	2	10	0,706	0,163	81	0,67	0,9
95	Las Cruces	Santa Fe	16,1	5	14	0,640	0,133	63	0,62	0,9
96	Lourdes	Santa Fe	7,6	0	1	0,501	0,125	63	0,62	0,9
97	Chico Lago	Chapinero	14,1	20	41	0,607	0,175	81	0,77	0,9
98	Los Alcázares	Barrios Unidos	7,8	5	16	0,834	0,218	45	0,75	0,9
99	Chapinero	Chapinero	16,5	35	75	0,844	0,209	81	0,77	0,9
100	Galerías	Teusaquillo	9,1	8	17	1,071	0,253	36	0,74	0,9
101	Teusaquillo	Teusaquillo	13,3	12	26	0,871	0,192	36	0,74	0,9
102	La Sabana	Los Mártires	20,4	45	119	0,645	0,137	18	0,66	0,7
103	Parque Salitre	Barrios Unidos	13,3	14	49	1,240	0,272	45	0,75	0,9
104	Parque Simón Bolívar-Can	Teusaquillo	7,9	1	2	1,094	0,232	36	0,74	0,9
105	Jardín Botánico	Engativá	30,6	34350	68700	0,866	0,162	3	0,66	0,8
106	La Esmeralda	Teusaquillo	10,9	8	17	1,136	0,257	36	0,74	0,9
107	Quinta Paredes	Teusaquillo	10,5	6	13	0,840	0,217	36	0,74	0,9
108	Zona Industrial	Puente Aranda	31,3	209	676	0,680	0,171	20	0,69	0,7
109	Ciudad Salitre Oriental	Teusaquillo	14,2	23	59	0,912	0,228	36	0,74	0,9
110	Ciudad Salitre Occidental	Fontibón	10,4	13	27	0,944	0,171	5	0,64	0,7
111	Puente Aranda	Puente Aranda	22,7	61	203	0,979	0,241	20	0,69	0,7
112	Granjas Techo	Fontibón	32,2	104	344	1,028	0,230	5	0,64	0,7
113	Bavaria	Ciudad Kennedy	16,4	24	60	1,090	0,226	11	0,54	0,7

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$
114	Modelia	Fontibón	8,4	2	5	1,219	0,311	5	0,64	0,7
115	Capellania	Fontibón	26,4	23	75	1,370	0,349	5	0,64	0,7
116	Álamos	Engativá	36,9	21	62	1,346	0,368	3	0,66	0,8
117	Aeropuerto El Dorado	Fontibón	18,1	2	6	1,452	0,376	5	0,64	0,7

Tabla F.14. Factores,  $F_{RF}$ , y el riesgo físico,  $R_F$ , para un sismo en la Zona Benioff profunda

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$R_F$
1	Paseo los Libertadores	San Cristóbal	0,378	0	0	0,0108	0,00111	0,058	0,68	0,9	0,192
2	La Academia	Suba	0,0761	0	0,000356	0,00671	0,000922	0,0181	0,66	0,77	0,086
3	Guaymaral	Suba	0,157	0,0032	0,0128	0,0103	0,000969	0,0181	0,66	0,77	0,113
9	Verbenal	Usaquén	0,168	0,0008	0,0032	0,00502	0,000969	0,0288	0,7	0,83	0,120
10	La Uribe	Usaquén	0,613	0,0008	0,00569	0,00636	0,000864	0,0288	0,7	0,83	0,260
11	San Cristóbal Norte	Usaquén	0,432	0,0008	0,0032	0,00477	0,000728	0,0288	0,7	0,83	0,203
12	Toberin	Usaquén	0,577	0,0288	0,091	0,00785	0,00116	0,0288	0,7	0,83	0,261
13	Los Cedros	Usaquén	0,68	0,08	0,142	0,0057	0,00104	0,0288	0,7	0,83	0,304
14	Usaquén	Usaquén	0,741	0,0392	0,115	0,00399	0,000851	0,0288	0,7	0,83	0,315
15	Country Club	Usaquén	0,741	0,0288	0,08	0,0051	0,00126	0,0288	0,7	0,83	0,311
16	Santa Bárbara	Usaquén	0,832	0,259	0,461	0,00424	0,00135	0,0288	0,7	0,83	0,402
17	San José de Bavaria	Suba	0,0578	0	0	0,0063	0,000985	0,0181	0,66	0,77	0,080
18	Britalia	Suba	0,304	0	0,000356	0,00673	0,00104	0,0181	0,66	0,77	0,157
19	El Prado	Suba	0,711	0,0128	0,0512	0,00555	0,00105	0,0181	0,66	0,77	0,292
20	La Alhambra	Suba	0,776	0,0392	0,0697	0,00841	0,00175	0,0181	0,66	0,77	0,318
21	Los Andes	Barrios Unidos	0,32	0,0128	0,0288	0,0101	0,00229	0,101	0,75	0,9	0,185
22	Doce de Octubre	Barrios Unidos	0,224	0,0072	0,0228	0,02	0,00491	0,101	0,75	0,9	0,156
23	Casa Blanca Suba	Suba	0,174	0	0,000356	0,00457	0,000825	0,0181	0,66	0,77	0,116
24	Niza	Suba	0,281	0,0008	0,000356	0,00531	0,0012	0,0181	0,66	0,77	0,150

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$R_F$
25	La Floresta	Suba	0,916	0,0968	0,589	0,0141	0,00455	0,0181	0,66	0,77	0,422
26	Las Ferias	Engativá	0,696	0,0072	0,0288	0,0239	0,00619	0,00045	0,66	0,8	0,288
27	Suba	Suba	0,63	0,0288	0,091	0,00241	0,00392	0,0181	0,66	0,77	0,272
28	El Rincón	Suba	0,549	0,0008	0,00142	0,016	0,00516	0,0181	0,66	0,77	0,237
29	Minuto de Dios	Engativá	0,664	0,0288	0,0601	0,0363	0,00946	0,00045	0,66	0,8	0,286
30	Boyacá Real	Engativá	0,885	0,0128	0,0356	0,0474	0,0105	0,00045	0,66	0,8	0,353
31	Santa Cecilia	Engativá	0,37	0,0072	0,0228	0,0359	0,00763	0,00045	0,66	0,8	0,187
32	San Blas	San Cristóbal	0,47	0	0,000356	0,00506	0,0008	0,058	0,68	0,9	0,220
33	Sosiego	San Cristóbal	0,789	0,0648	0,142	0,00829	0,00146	0,058	0,68	0,9	0,342
34	20 de Julio	San Cristóbal	0,789	0	0,00142	0,00514	0,000838	0,058	0,68	0,9	0,320
35	Ciudad Jardín	Antonio Nariño	0,353	0,0072	0,0174	0,00907	0,00218	0,145	0,67	0,8	0,191
36	San José	Rafael Uribe	0,802	0,0128	0,0228	0,00655	0,00131	0,042	0,65	0,9	0,325
37	Santa Isabel	Los Mártires	0,577	0,0968	0,24	0,0111	0,00201	0,0162	0,66	0,7	0,276
38	Restrepo	Antonio Nariño	0,89	0,18	0,461	0,0121	0,00255	0,145	0,67	0,8	0,424
39	Quiroga	Rafael Uribe	0,843	0,0128	0,0288	0,009	0,00201	0,042	0,65	0,9	0,339
40	Ciudad Montes	Puente Aranda	0,414	0,0288	0,0601	0,0116	0,00266	0,02	0,69	0,7	0,201
41	Muzu	Puente Aranda	0,115	0,0008	0,00142	0,0145	0,00269	0,02	0,69	0,7	0,098
42	Venecia	Tunjuelito	0,802	0,0288	0,091	0,0132	0,0022	0,00245	0,58	0,7	0,320
43	San Rafael	Puente Aranda	0,47	0,0128	0,0512	0,0139	0,00293	0,02	0,69	0,7	0,216
44	Americas	Ciudad Kennedy	0,748	0,0072	0,0228	0,0189	0,00361	0,00605	0,54	0,7	0,294
45	Carvajal	Ciudad Kennedy	0,814	0,0288	0,103	0,0138	0,00255	0,00605	0,54	0,7	0,324
46	Castilla	Ciudad Kennedy	0,378	0,0072	0,0228	0,0207	0,00495	0,00605	0,54	0,7	0,178
47	Kennedy Central	Ciudad Kennedy	0,296	0,135	0,24	0,0124	0,00232	0,00605	0,54	0,7	0,185
48	Timiza	Ciudad Kennedy	0,549	0,0008	0,000356	0,0127	0,00263	0,00605	0,54	0,7	0,227
49	Apogeo	Bosa	0,577	0,0072	0,0228	0,00846	0,00128	0,0882	0,73	0,9	0,262
50	La Gloria	San Cristóbal	0,639	0	0	0,00457	0,000728	0,058	0,68	0,9	0,273
51	Los Libertadores	San Cristóbal	0,451	0	0	0,00364	0,000776	0,058	0,68	0,9	0,213
52	La Flora	Usme	0,0512	0	0,000356	0,0011	0,000484	0,0098	0,67	0,9	0,081

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$R_F$
53	Marco Fidel Suárez	Rafael Uribe	0,89	0,008	0,00142	0,00516	0,000825	0,042	0,65	0,9	0,350
54	Marruecos	Rafael Uribe	0,795	0,0032	0,00889	0,00574	0,000937	0,042	0,65	0,9	0,320
55	Diana Turbay	Rafael Uribe	0,604	0,0008	0,00142	0,0033	0,001	0,042	0,65	0,9	0,259
56	Danubio	Usme	0,157	0,0008	0,0032	0,00347	0,000812	0,0098	0,67	0,9	0,116
57	Gran Yomasa	Usme	0,396	0	0	0,00518	0,000776	0,0098	0,67	0,9	0,191
58	Comuneros	Usme	0,336	0	0	0,0055	0,000669	0,0098	0,67	0,9	0,172
59	Alfonso López	Usme	0,0684	0	0,00142	0	0,000669	0,0098	0,67	0,9	0,087
60	Parque Entre Nubes	Usme	0,151	0	0,00142	0	0	0,0098	0,67	0,9	0,113
61	Ciudad Usme	Usme	0,274	0	0,000356	0,00592	0,000645	0,0098	0,67	0,9	0,152
62	Tunjuelito	Tunjuelito	0,997	0,0288	0,091	0,00889	0,00102	0,00245	0,58	0,7	0,380
63	El Mochuelo	Ciudad Bolívar	0,849	0	0,000356	0,000325	0,000838	0,022	0,64	0,9	0,333
64	Monte Blanco	Ciudad Bolívar	1	0,0032	0,32	0	0,0008	0,022	0,64	0,9	0,413
65	Arborizadora	Ciudad Bolívar	0,688	0,0288	0,08	0,00732	0,001	0,022	0,64	0,9	0,294
66	San Francisco	Ciudad Bolívar	0,82	0,0008	0,00142	0,00451	0,000864	0,022	0,64	0,9	0,324
67	Lucero	Ciudad Bolívar	0,289	0	0,00142	0,00414	0,000764	0,022	0,64	0,9	0,157
68	El Tesoro	Ciudad Bolívar	0,00005	0	0	0,000736	0,000716	0,022	0,64	0,9	0,065
69	Ismael Perdomo	Ciudad Bolívar	0,984	0,0032	0,0128	0,00531	0,000893	0,022	0,64	0,9	0,378
70	Jerusalén	Ciudad Bolívar	0,106	0,0008	0,00142	0,0043	0,000878	0,022	0,64	0,9	0,100
71	Tibabuyes	Suba	0,704	0,0032	0,0128	0,00393	0,00957	0,0181	0,66	0,77	0,285
72	Bolivia	Engativá	0,92	0,135	0,259	0,0375	0,0105	0,00045	0,66	0,8	0,398
73	Garcés Navas	Engativá	0,205	0,0008	0,00142	0,0404	0,00968	0,00045	0,66	0,8	0,133
74	Engativá	Engativá	0,289	0,0032	0,00889	0,0192	0,00929	0,00045	0,66	0,8	0,156
75	Fontibón	Fontibón	0,912	0,0288	0,115	0,0448	0,0087	0,00125	0,64	0,7	0,366
76	Fontibón San Pablo	Fontibón	1	0,289	0,94	0,0411	0,0103	0,00125	0,64	0,7	0,505
77	Zona Franca	Fontibón	1	0,0128	0,08	0,0332	0,00773	0,00125	0,64	0,7	0,386
78	Tintal Norte	Ciudad Kennedy	1	0	0	0,00533	0,00425	0,00605	0,54	0,7	0,368
79	Calandaima	Ciudad Kennedy	0,0481	0	0,000356	0,0129	0,00549	0,00605	0,54	0,7	0,069
80	Corabastos	Ciudad Kennedy	0,0544	0,0072	0,0288	0,0098	0,00284	0,00605	0,54	0,7	0,074

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$R_F$
81	Gran Britalia	Ciudad Kennedy	0,125	0	0	0,0091	0,0029	0,00605	0,54	0,7	0,093
82	Patio Bonito	Ciudad Kennedy	0,0684	0	0	0,0117	0,00365	0,00605	0,54	0,7	0,075
83	Las Margaritas	Ciudad Kennedy	0,0018	0	0,000356	0,00111	0,00234	0,00605	0,54	0,7	0,052
84	Bosa Occidental	Bosa	0,0544	0,0008	0,00142	0,0101	0,00272	0,0882	0,73	0,9	0,095
85	Bosa Central	Bosa	0,51	0,0032	0,00569	0,00589	0,00113	0,0882	0,73	0,9	0,238
86	El Porvenir	Bosa	0,00125	0	0	0,0055	0,0022	0,0882	0,73	0,9	0,077
87	Tintal Sur	Bosa	0,0072	0	0	0,00191	0,00269	0,0882	0,73	0,9	0,079
88	El Refugio	Chapinero	0,711	0,0288	0,043	0,00872	0,0026	0,328	0,77	0,9	0,336
89	San Isidro Patios	Chapinero	0,289	0	0	0	0	0,328	0,77	0,9	0,194
90	Pardo Rubio	Chapinero	0,604	0,0072	0,0174	0,0142	0,0029	0,328	0,77	0,9	0,299
91	Sagrado Corazón	Santa Fe	0,885	0,903	1	0,0149	0,00299	0,198	0,62	0,9	0,560
92	La Macarena	Santa Fe	0,405	0	0,0032	0,0143	0,00269	0,198	0,62	0,9	0,214
93	Las Nieves	Santa Fe	0,789	0,98	1	0,0137	0,00249	0,198	0,62	0,9	0,538
94	Candelaria	La Candelaria	0,704	0,0032	0,0356	0,0114	0,00212	0,328	0,67	0,9	0,327
95	Las Cruces	Santa Fe	0,924	0,02	0,0697	0,00967	0,00137	0,198	0,62	0,9	0,385
96	Lourdes	Santa Fe	0,289	0	0,000356	0,00627	0,0012	0,198	0,62	0,9	0,175
97	Chico Lago	Chapinero	0,826	0,32	0,589	0,00882	0,00246	0,328	0,77	0,9	0,458
98	Los Alcázares	Barrios Unidos	0,304	0,02	0,091	0,0151	0,00378	0,101	0,75	0,9	0,188
99	Chapinero	Chapinero	0,939	0,82	1	0,0154	0,00348	0,328	0,77	0,9	0,589
100	Galerías	Teusaquillo	0,414	0,0512	0,103	0,0224	0,00511	0,0648	0,74	0,9	0,225
101	Teusaquillo	Teusaquillo	0,776	0,115	0,24	0,0162	0,00296	0,0648	0,74	0,9	0,358
102	La Sabana	Los Mártires	1	0,98	1	0,0098	0,00146	0,0162	0,66	0,7	0,578
103	Parque Salitre	Barrios Unidos	0,776	0,157	0,76	0,0296	0,00593	0,101	0,75	0,9	0,423
104	Parque Simón Bolívar-Can	Teusaquillo	0,312	0,0008	0,00142	0,0232	0,00429	0,0648	0,74	0,9	0,177
105	Jardín Botánico	Engativá	1	1	1	0,016	0,00209	0,00045	0,66	0,8	0,583
106	La Esmeralda	Teusaquillo	0,586	0,0512	0,103	0,0249	0,00528	0,0648	0,74	0,9	0,279
107	Quinta Paredes	Teusaquillo	0,549	0,0288	0,0601	0,0152	0,00375	0,0648	0,74	0,9	0,259
108	Zona Industrial	Puente Aranda	1	1	1	0,0107	0,00234	0,02	0,69	0,7	0,582

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$R_F$
109	Ciudad Salitre Oriental	Teusaquillo	0,832	0,423	0,909	0,0174	0,00414	0,0648	0,74	0,9	0,476
110	Ciudad Salitre Occidental	Fontibón	0,539	0,135	0,259	0,0183	0,00234	0,00125	0,64	0,7	0,269
111	Puente Aranda	Puente Aranda	1	1	1	0,0194	0,00463	0,02	0,69	0,7	0,584
112	Granjas Techo	Fontibón	1	1	1	0,0209	0,00421	0,00125	0,64	0,7	0,580
113	Bavaria	Ciudad Kennedy	0,935	0,461	0,92	0,0231	0,00406	0,00605	0,54	0,7	0,492
114	Modelia	Fontibón	0,353	0,0032	0,00889	0,0286	0,00773	0,00125	0,64	0,7	0,173
115	Capellania	Fontibón	1	0,423	1	0,0365	0,00974	0,00125	0,64	0,7	0,524
116	Álamos	Engativá	1	0,353	0,94	0,0351	0,0108	0,00045	0,66	0,8	0,515
117	Aeropuerto El Dorado	Fontibón	0,982	0,0032	0,0128	0,0414	0,0113	0,00125	0,64	0,7	0,375

Tabla F.15. Resultados  $R_F$ ,  $F$ ,  $R_T$ , para un sismo en la zona de Benioff profunda

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$R_F$	$F$	$R_T$
1	Paseo los Libertadores	San Cristóbal	0,192	0,59	0,305
2	La Academia	Suba	0,086	0,52	0,130
3	Guaymaral	Suba	0,113	0,52	0,173
9	Verbenal	Usaquén	0,120	0,46	0,175
10	La Uribe	Usaquén	0,260	0,46	0,380
11	San Cristóbal Norte	Usaquén	0,203	0,46	0,296
12	Toberin	Usaquén	0,261	0,46	0,381
13	Los Cedros	Usaquén	0,304	0,46	0,443
14	Usaquén	Usaquén	0,315	0,46	0,461
15	Country Club	Usaquén	0,311	0,46	0,454
16	Santa Bárbara	Usaquén	0,402	0,46	0,588
17	San José de Bavaria	Suba	0,080	0,52	0,121
18	Britalia	Suba	0,157	0,52	0,240
19	El Prado	Suba	0,292	0,52	0,445
20	La Alhambra	Suba	0,318	0,52	0,484
21	Los Andes	Barrios Unidos	0,185	0,44	0,266
22	Doce de Octubre	Barrios Unidos	0,156	0,44	0,224
23	Casa Blanca Suba	Suba	0,116	0,52	0,177
24	Niza	Suba	0,150	0,52	0,228
25	La Floresta	Suba	0,422	0,52	0,644
26	Las Ferias	Engativá	0,288	0,51	0,434
27	Suba	Suba	0,272	0,52	0,414
28	El Rincón	Suba	0,237	0,52	0,361
29	Minuto de Dios	Engativá	0,286	0,51	0,431
30	Boyacá Real	Engativá	0,353	0,51	0,533
31	Santa Cecilia	Engativá	0,187	0,51	0,281
32	San Blas	San Cristóbal	0,220	0,59	0,349
33	Sosiego	San Cristóbal	0,342	0,59	0,544
34	20 De Julio	San Cristóbal	0,320	0,59	0,509
35	Ciudad Jardín	Antonio Nariño	0,191	0,50	0,286
36	San José	Rafael Uribe	0,325	0,56	0,508
37	Santa Isabel	Los Mártires	0,276	0,48	0,407
38	Restrepo	Antonio Nariño	0,424	0,50	0,636
39	Quiroga	Rafael Uribe	0,339	0,56	0,529
40	Ciudad Montes	Puente Aranda	0,201	0,52	0,306
41	Muzu	Puente Aranda	0,098	0,52	0,150
42	Venecia	Tunjuelito	0,320	0,53	0,489
43	San Rafael	Puente Aranda	0,216	0,52	0,330
44	Americas	Ciudad Kennedy	0,294	0,62	0,474
45	Carvajal	Ciudad Kennedy	0,324	0,62	0,523
46	Castilla	Ciudad Kennedy	0,178	0,62	0,287
47	Kennedy Central	Ciudad Kennedy	0,185	0,62	0,300
48	Timiza	Ciudad Kennedy	0,227	0,62	0,366
49	Apogeo	Bosa	0,262	0,61	0,423

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$R_F$	$F$	$R_T$
50	La Gloria	San Cristóbal	0,273	0,59	0,433
51	Los Libertadores	San Cristóbal	0,213	0,59	0,339
52	La Flora	Usme	0,081	0,67	0,136
53	Marco Fidel Suárez	Rafael Uribe	0,350	0,56	0,546
54	Marruecos	Rafael Uribe	0,320	0,56	0,500
55	Diana Turbay	Rafael Uribe	0,259	0,56	0,404
56	Danubio	Usme	0,116	0,67	0,193
57	Gran Yomasa	Usme	0,191	0,67	0,319
58	Comuneros	Usme	0,172	0,67	0,287
59	Alfonso López	Usme	0,087	0,67	0,145
60	Parque Entre Nubes	Usme	0,113	0,67	0,188
61	Ciudad Usme	Usme	0,152	0,67	0,255
62	Tunjuelito	Tunjuelito	0,380	0,53	0,581
63	El Mochuelo	Ciudad Bolívar	0,333	0,67	0,555
64	Monte Blanco	Ciudad Bolívar	0,413	0,67	0,690
65	Arborizadora	Ciudad Bolívar	0,294	0,67	0,491
66	San Francisco	Ciudad Bolívar	0,324	0,67	0,541
67	Lucero	Ciudad Bolívar	0,157	0,67	0,262
68	El Tesoro	Ciudad Bolívar	0,065	0,67	0,109
69	Ismael Perdomo	Ciudad Bolívar	0,378	0,67	0,630
70	Jerusalén	Ciudad Bolívar	0,100	0,67	0,166
71	Tibabuyes	Suba	0,285	0,52	0,435
72	Bolivia	Engativá	0,398	0,51	0,600
73	Garcés Navas	Engativá	0,133	0,51	0,200
74	Engativá	Engativá	0,156	0,51	0,236
75	Fontibón	Fontibón	0,366	0,55	0,568
76	Fontibón San Pablo	Fontibón	0,505	0,55	0,783
77	Zona Franca	Fontibón	0,386	0,55	0,599
78	Tintal Norte	Ciudad Kennedy	0,368	0,62	0,594
79	Calandaima	Ciudad Kennedy	0,069	0,62	0,112
80	Corabastos	Ciudad Kennedy	0,074	0,62	0,120
81	Gran Britalia	Ciudad Kennedy	0,093	0,62	0,149
82	Patio Bonito	Ciudad Kennedy	0,075	0,62	0,122
83	Las Margaritas	Ciudad Kennedy	0,052	0,62	0,084
84	Bosa Occidental	Bosa	0,095	0,61	0,154
85	Bosa Central	Bosa	0,238	0,61	0,385
86	El Porvenir	Bosa	0,077	0,61	0,125
87	Tintal Sur	Bosa	0,079	0,61	0,127
88	El Refugio	Chapinero	0,336	0,20	0,405
89	San Isidro Patios	Chapinero	0,194	0,20	0,233
90	Pardo Rubio	Chapinero	0,299	0,20	0,360
91	Sagrado Corazón	Santa Fe	0,560	0,61	0,903
92	La Macarena	Santa Fe	0,214	0,61	0,344
93	Las Nieves	Santa Fe	0,538	0,61	0,867
94	Candelaria	La Candelaria	0,327	0,49	0,488

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$R_F$	$F$	$R_T$
95	Las Cruces	Santa Fe	0,385	0,61	0,621
96	Lourdes	Santa Fe	0,175	0,61	0,282
97	Chico Lago	Chapinero	0,458	0,20	0,552
98	Los Alcázares	Barrios Unidos	0,188	0,44	0,270
99	Chapinero	Chapinero	0,589	0,20	0,709
100	Galerías	Teusaquillo	0,225	0,27	0,285
101	Teusaquillo	Teusaquillo	0,358	0,27	0,453
102	La Sabana	Los Mártires	0,578	0,48	0,853
103	Parque Salitre	Barrios Unidos	0,423	0,44	0,607
104	Parque Simón Bolívar-Can	Teusaquillo	0,177	0,27	0,224
105	Jardín Botánico	Engativá	0,583	0,51	0,880
106	La Esmeralda	Teusaquillo	0,279	0,27	0,354
107	Quinta Paredes	Teusaquillo	0,259	0,27	0,328
108	Zona Industrial	Puente Aranda	0,582	0,52	0,886
109	Ciudad Salitre Oriental	Teusaquillo	0,476	0,27	0,604
110	Ciudad Salitre Occidental	Fontibón	0,269	0,55	0,417
111	Puente Aranda	Puente Aranda	0,584	0,52	0,889
112	Granjas Techo	Fontibón	0,580	0,55	0,899
113	Bavaria	Ciudad Kennedy	0,492	0,62	0,795
114	Modelia	Fontibón	0,173	0,55	0,269
115	Capellania	Fontibón	0,524	0,55	0,813
116	Álamos	Engativá	0,515	0,51	0,777
117	Aeropuerto El Dorado	Fontibón	0,375	0,55	0,581

**F.2.4 Zona Benioff intermedia**

**Tabla F.16. Valores de los descriptores de riesgo físico,  $R_F$ , para un sismo en la Zona Benioff intermedia**

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$
1	Paseo Los Libertadores	San Cristóbal	4,0	0	0	0,337	0,060	34	0,68	0,9
2	La Academia	Suba	1,1	0	0	0,258	0,054	19	0,66	0,77
3	Guaymaral	Suba	2,6	1	4	0,329	0,056	19	0,66	0,77
9	Verbenal	Usaquén	2,6	0	1	0,218	0,055	24	0,7	0,83
10	La Uribe	Usaquén	6,3	0	1	0,248	0,051	24	0,7	0,83
11	San Cristóbal Norte	Usaquén	4,6	0	1	0,210	0,046	24	0,7	0,83
12	Toberin	Usaquén	6,3	2	5	0,279	0,060	24	0,7	0,83
13	Los Cedros	Usaquén	8,0	3	7	0,234	0,057	24	0,7	0,83
14	Usaquén	Usaquén	7,2	1	3	0,191	0,051	24	0,7	0,83
15	Country Club	Usaquén	8,3	2	6	0,220	0,063	24	0,7	0,83
16	Santa Bárbara	Usaquén	9,7	6	12	0,199	0,065	24	0,7	0,83
17	San José De Bavaria	Suba	1,4	0	0	0,250	0,057	19	0,66	0,77
18	Britalia	Suba	3,3	0	0	0,260	0,058	19	0,66	0,77
19	El Prado	Suba	6,8	1	4	0,233	0,058	19	0,66	0,77
20	La Alhambra	Suba	8,6	2	4	0,295	0,075	19	0,66	0,77
21	Los Andes	Barrios Unidos	4,5	1	2	0,339	0,089	45	0,75	0,9
22	Doce de Octubre	Barrios Unidos	4,1	0	1	0,531	0,133	45	0,75	0,9
23	Casa Blanca Suba	Suba	2,8	0	0	0,211	0,051	19	0,66	0,77
24	Niza	Suba	3,5	0	0	0,233	0,063	19	0,66	0,77
25	La Floresta	Suba	8,6	4	11	0,422	0,126	19	0,66	0,77
26	Las Ferias	Engativá	7,2	1	4	0,579	0,144	3	0,66	0,8
27	Suba	Suba	6,9	2	6	0,153	0,113	19	0,66	0,77
28	El Rincón	Suba	5,7	0	0	0,448	0,131	19	0,66	0,77
29	Mínuto de Dios	Engativá	8,0	3	6	0,704	0,176	3	0,66	0,8

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$
30	Boyacá Real	Engativá	9,2	1	4	0,794	0,185	3	0,66	0,8
31	Santa Cecilia	Engativá	5,0	1	2	0,712	0,162	3	0,66	0,8
32	San Blas	San Cristóbal	4,6	0	0	0,226	0,050	34	0,68	0,9
33	Sosiego	San Cristóbal	7,4	3	6	0,303	0,071	34	0,68	0,9
34	20 de Julio	San Cristóbal	7,3	0	0	0,229	0,052	34	0,68	0,9
35	Ciudad Jardín	Antonio Nariño	4,9	1	2	0,332	0,089	17	0,67	0,8
36	San José	Rafael Uribe	8,1	1	3	0,270	0,068	29	0,65	0,9
37	Santa Isabel	Los Mártires	6,2	3	9	0,373	0,086	18	0,66	0,7
38	Restrepo	Antonio Nariño	8,7	6	16	0,396	0,096	17	0,67	0,8
39	Quiroga	Rafael Uribe	8,2	1	4	0,333	0,086	29	0,65	0,9
40	Ciudad Montes	Puente Aranda	5,7	2	6	0,387	0,099	20	0,69	0,7
41	Muzu	Puente Aranda	1,9	0	0	0,446	0,100	20	0,69	0,7
42	Venecia	Tunjuelito	8,1	3	9	0,425	0,092	7	0,58	0,7
43	San Rafael	Puente Aranda	5,4	2	5	0,434	0,105	20	0,69	0,7
44	Americas	Ciudad Kennedy	8,3	1	4	0,539	0,119	11	0,54	0,7
45	Carvajal	Ciudad Kennedy	8,5	3	9	0,432	0,097	11	0,54	0,7
46	Castilla	Ciudad Kennedy	5,8	1	4	0,579	0,139	11	0,54	0,7
47	Kennedy Central	Ciudad Kennedy	5,1	2	4	0,409	0,094	11	0,54	0,7
48	Timiza	Ciudad Kennedy	6,9	0	1	0,417	0,101	11	0,54	0,7
49	Apogeo	Bosa	6,8	2	5	0,330	0,072	42	0,73	0,9
50	La Gloria	San Cristóbal	5,8	0	0	0,215	0,048	34	0,68	0,9
51	Los Libertadores	San Cristóbal	4,6	0	0	0,190	0,050	34	0,68	0,9
52	La Flora	Usme	0,0	0	0	0,101	0,037	14	0,67	0,9
53	Marco Fidel Suárez	Rafael Uribe	9,3	0	1	0,235	0,053	29	0,65	0,9
54	Marruecos	Rafael Uribe	8,6	1	2	0,252	0,058	29	0,65	0,9
55	Diana Turbay	Rafael Uribe	6,6	0	1	0,183	0,059	29	0,65	0,9
56	Danubio	Usme	2,8	0	1	0,190	0,053	14	0,67	0,9
57	Gran Yomasa	Usme	0,0	0	0	0,234	0,051	14	0,67	0,9

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$
58	Comuneros	Usme	0,0	0	0	0,242	0,046	14	0,67	0,9
59	Alfonso López	Usme	1,6	0	0		0,046	14	0,67	0,9
60	Parque Entre Nubes	Usme	2,9	0	0			14	0,67	0,9
61	Ciudad Usme	Usme	3,8	0	0	0,254	0,045	14	0,67	0,9
62	Tunjuelito	Tunjuelito	11,9	2	7	0,325	0,061	7	0,58	0,7
63	El Mochuelo	Ciudad Bolívar	9,2	0	0	0,055	0,054	21	0,64	0,9
64	Monte Blanco	Ciudad Bolívar	1,6	0	0		0,053	21	0,64	0,9
65	Arborizadora	Ciudad Bolívar	10,4	3	10	0,303	0,063	21	0,64	0,9
66	San Francisco	Ciudad Bolívar	8,1	0	1	0,223	0,056	21	0,64	0,9
67	Lucero	Ciudad Bolívar	3,2	0	0	0,210	0,051	21	0,64	0,9
68	El Tesoro	Ciudad Bolívar	1,4	0	0	0,085	0,049	21	0,64	0,9
69	Ismael Perdomo	Ciudad Bolívar	14,7	1	3	0,247	0,058	21	0,64	0,9
70	Jerusalén	Ciudad Bolívar	3,6	0	0	0,217	0,056	21	0,64	0,9
71	Tibabuyes	Suba	7,7	1	3	0,190	0,171	19	0,66	0,77
72	Bolivia	Engativá	12,8	6	12	0,681	0,179	3	0,66	0,8
73	Garcés Navas	Engativá	3,7	0	1	0,714	0,172	3	0,66	0,8
74	Engativá	Engativá	4,2	1	3	0,478	0,171	3	0,66	0,8
75	Fontibón	Fontibón	9,9	3	7	0,790	0,173	5	0,64	0,7
76	Fontibón San Pablo	Fontibón	17,4	13	44	0,720	0,179	5	0,64	0,7
77	Zona Franca	Fontibón	17,5	4	12	0,677	0,165	5	0,64	0,7
78	Tintal Norte	Ciudad Kennedy	28,8	0	0	0,244	0,125	11	0,54	0,7
79	Calandaima	Ciudad Kennedy	1,9	0	0	0,440	0,149	11	0,54	0,7
80	Corabastos	Ciudad Kennedy	1,7	1	3	0,358	0,105	11	0,54	0,7
81	Gran Britalia	Ciudad Kennedy	2,6	0	0	0,346	0,106	11	0,54	0,7
82	Patio Bonito	Ciudad Kennedy	1,9	0	0	0,403	0,121	11	0,54	0,7
83	Las Margaritas	Ciudad Kennedy	0,4	0	0	0,110	0,095	11	0,54	0,7
84	Bosa Occidental	Bosa	1,7	0	1	0,371	0,104	42	0,73	0,9
85	Bosa Central	Bosa	6,4	1	2	0,268	0,067	42	0,73	0,9

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$
86	El Porvenir	Bosa	0,2	0	0	0,261	0,093	42	0,73	0,9
87	Tintal Sur	Bosa	0,7	0	0	0,151	0,104	42	0,73	0,9
88	El Refugio	Chapinero	6,9	1	2	0,316	0,094	81	0,77	0,9
89	San Isidro Patios	Chapinero	3,5	0	0			81	0,77	0,9
90	Pardo Rubio	Chapinero	6,0	1	1	0,411	0,097	81	0,77	0,9
91	Sagrado Corazón	Santa Fe	10,3	10	29	0,432	0,102	63	0,62	0,9
92	La Macarena	Santa Fe	12,3	1	20	0,428	0,097	63	0,62	0,9
93	Las Nieves	Santa Fe	10,5	7	25	0,422	0,094	63	0,62	0,9
94	Candelaria	La Candelaria	6,0	1	2	0,376	0,086	81	0,67	0,9
95	Las Cruces	Santa Fe	29,0	3	21	0,338	0,070	63	0,62	0,9
96	Lourdes	Santa Fe	3,5	0	0	0,258	0,065	63	0,62	0,9
97	Chico Lago	Chapinero	8,0	5	11	0,313	0,091	81	0,77	0,9
98	Los Alcázares	Barrios Unidos	3,8	1	4	0,447	0,117	45	0,75	0,9
99	Chapinero	Chapinero	9,8	9	20	0,442	0,109	81	0,77	0,9
100	Galerías	Teusaquillo	5,1	2	5	0,578	0,137	36	0,74	0,9
101	Teusaquillo	Teusaquillo	8,5	3	7	0,454	0,101	36	0,74	0,9
102	La Sabana	Los Mártires	11,7	16	47	0,344	0,074	18	0,66	0,7
103	Parque Salitre	Barrios Unidos	7,5	2	6	0,661	0,145	45	0,75	0,9
104	Parque Simón Bolívar-Can	Teusaquillo	4,6	0	0	0,574	0,123	36	0,74	0,9
105	Jardín Botánico	Engativá	18,3	6150	12300	0,454	0,085	3	0,66	0,8
106	La Esmeralda	Teusaquillo	6,6	2	4	0,603	0,137	36	0,74	0,9
107	Quinta Paredes	Teusaquillo	6,0	1	2	0,454	0,118	36	0,74	0,9
108	Zona Industrial	Puente Aranda	18,9	115	381	0,367	0,092	20	0,69	0,7
109	Ciudad Salitre Oriental	Teusaquillo	9,2	12	31	0,484	0,122	36	0,74	0,9
110	Ciudad Salitre Occidental	Fontibón	6,8	4	8	0,496	0,090	5	0,64	0,7
111	Puente Aranda	Puente Aranda	13,4	23	76	0,547	0,134	20	0,69	0,7
112	Granjas Techo	Fontibón	20,4	69	230	0,545	0,122	5	0,64	0,7
113	Bavaria	Ciudad Kennedy	10,1	9	25	0,611	0,126	11	0,54	0,7

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$
114	Modelia	Fontibón	5,1	0	1	0,646	0,165	5	0,64	0,7
115	Capellania	Fontibón	16,0	13	42	0,712	0,180	5	0,64	0,7
116	Álamos	Engativá	23,3	11	35	0,687	0,190	3	0,66	0,8
117	Aeropuerto El Dorado	Fontibón	10,2	1	4	0,717	0,189	5	0,64	0,7

Tabla F.17. Factores,  $F_{RF}$ , y el riesgo físico,  $R_F$ , para un sismo en la zona Benioff intermedia

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$R_F$
1	Paseo los Libertadores	San Cristóbal	0,08	0	0	0,00302	1,65E-06	0,058	0,68	0,9	0,096
2	La Academia	Suba	0,00605	0	0	0,00183	0,00000134	0,0181	0,66	0,77	0,062
3	Guaymaral	Suba	0,0338	0,0008	0,00569	0,00289	0,00000144	0,0181	0,66	0,77	0,072
9	Verbenal	Usaquén	0,0338	0	0,000356	0,00132	0,00000139	0,0288	0,7	0,83	0,076
10	La Uribe	Usaquén	0,198	0	0,000356	0,00169	0,0000012	0,0288	0,7	0,83	0,128
11	San Cristóbal Norte	Usaquén	0,106	0	0,000356	0,00123	0,000000977	0,0288	0,7	0,83	0,099
12	Toberin	Usaquén	0,198	0,0032	0,00889	0,00212	0,00000165	0,0288	0,7	0,83	0,129
13	Los Cedros	Usaquén	0,32	0,0072	0,0174	0,00151	0,00000149	0,0288	0,7	0,83	0,169
14	Usaquén	Usaquén	0,259	0,0008	0,0032	0,00102	0,0000012	0,0288	0,7	0,83	0,148
15	Country Club	Usaquén	0,344	0,0032	0,0128	0,00135	0,00000182	0,0288	0,7	0,83	0,176
16	Santa Bárbara	Usaquén	0,47	0,0288	0,0512	0,00111	0,00000194	0,0288	0,7	0,83	0,222
17	San José de Bavaria	Suba	0,0098	0	0	0,00172	0,00000149	0,0181	0,66	0,77	0,064
18	Britalia	Suba	0,0544	0	0	0,00185	0,00000155	0,0181	0,66	0,77	0,078
19	El Prado	Suba	0,231	0,0008	0,00569	0,0015	0,00000155	0,0181	0,66	0,77	0,134
20	La Alhambra	Suba	0,37	0,0032	0,00569	0,00235	0,00000257	0,0181	0,66	0,77	0,178
21	Los Andes	Barrios Unidos	0,101	0,0008	0,00142	0,00306	0,0000036	0,101	0,75	0,9	0,111
22	Doce de Octubre	Barrios Unidos	0,084	0	0,000356	0,00696	0,00000792	0,101	0,75	0,9	0,106

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$R_F$
23	Casa Blanca Suba	Suba	0,0392	0	0	0,00124	0,0000012	0,0181	0,66	0,77	0,073
24	Niza	Suba	0,0612	0	0	0,0015	0,00000182	0,0181	0,66	0,77	0,080
25	La Floresta	Suba	0,37	0,0128	0,043	0,00459	0,00000713	0,0181	0,66	0,77	0,183
26	Las Ferias	Engativá	0,259	0,0008	0,00569	0,00812	0,00000925	0,00045	0,66	0,8	0,143
27	Suba	Suba	0,238	0,0032	0,0128	0,000666	0,00000576	0,0181	0,66	0,77	0,137
28	El Rincón	Suba	0,162	0	0	0,00512	0,00000769	0,0181	0,66	0,77	0,112
29	Minuto de Dios	Engativá	0,32	0,0072	0,0128	0,00114	0,0000137	0,00045	0,66	0,8	0,163
30	Boyacá Real	Engativá	0,423	0,0008	0,00569	0,0139	0,0000151	0,00045	0,66	0,8	0,196
31	Santa Cecilia	Engativá	0,125	0,0008	0,00142	0,0116	0,0000116	0,00045	0,66	0,8	0,101
32	San Blas	San Cristóbal	0,106	0	0	0,00142	0,00000115	0,058	0,68	0,9	0,104
33	Sosiego	San Cristóbal	0,274	0,0072	0,0128	0,00248	0,00000231	0,058	0,68	0,9	0,159
34	20 de Julio	San Cristóbal	0,266	0	0	0,00145	0,00000125	0,058	0,68	0,9	0,155
35	Ciudad Jardín	Antonio Nariño	0,12	0,0008	0,00142	0,00294	0,0000036	0,145	0,67	0,8	0,114
36	San José	Rafael Uribe	0,328	0,0008	0,0032	0,00199	0,00000212	0,042	0,65	0,9	0,172
37	Santa Isabel	Los Mártires	0,192	0,0072	0,0288	0,00365	0,00000337	0,0162	0,66	0,7	0,122
38	Restrepo	Antonio Nariño	0,378	0,0288	0,091	0,00408	0,00000418	0,145	0,67	0,8	0,207
39	Quiroga	Rafael Uribe	0,336	0,0008	0,00569	0,00296	0,00000337	0,042	0,65	0,9	0,175
40	Ciudad Montes	Puente Aranda	0,162	0,0032	0,0128	0,00391	0,00000444	0,02	0,69	0,7	0,112
41	Muzu	Puente Aranda	0,018	0	0	0,00508	0,00000453	0,02	0,69	0,7	0,065
42	Venecia	Tunjuelito	0,328	0,0072	0,0288	0,00465	0,00000385	0,00245	0,58	0,7	0,160
43	San Rafael	Puente Aranda	0,146	0,0032	0,00889	0,00483	0,00000499	0,02	0,69	0,7	0,107
44	Americas	Ciudad Kennedy	0,344	0,0008	0,00569	0,00715	0,00000637	0,00605	0,54	0,7	0,161
45	Carvajal	Ciudad Kennedy	0,361	0,0072	0,0288	0,00479	0,00000427	0,00605	0,54	0,7	0,169
46	Castilla	Ciudad Kennedy	0,168	0,0008	0,00569	0,00812	0,00000864	0,00605	0,54	0,7	0,106
47	Kennedy Central	Ciudad Kennedy	0,13	0,0032	0,00569	0,00433	0,00000401	0,00605	0,54	0,7	0,094
48	Timiza	Ciudad Kennedy	0,238	0	0,000356	0,00449	0,00000462	0,00605	0,54	0,7	0,127
49	Apogeo	Bosa	0,231	0,0032	0,00889	0,00291	0,00000237	0,0882	0,73	0,9	0,150
50	La Gloria	San Cristóbal	0,168	0	0	0,00129	0,00000106	0,058	0,68	0,9	0,124

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$R_F$
51	Los Libertadores	San Cristóbal	0,106	0	0	0,00101	0,00000115	0,058	0,68	0,9	0,104
52	La Flora	Usme	0	0	0	0,000296	0,000000634	0,0098	0,67	0,9	0,065
53	Marco Fidel Suárez	Rafael Uribe	0,432	0	0,000356	0,00153	0,00000129	0,042	0,65	0,9	0,204
54	Marruecos	Rafael Uribe	0,37	0,0008	0,00142	0,00175	0,00000155	0,042	0,65	0,9	0,185
55	Diana Turbay	Rafael Uribe	0,218	0	0,000356	0,000943	0,0000016	0,042	0,65	0,9	0,136
56	Danubio	Usme	0,0392	0	0,000356	0,00101	0,00000129	0,0098	0,67	0,9	0,078
57	Gran Yomasa	Usme	0	0	0	0,00151	0,0000012	0,0098	0,67	0,9	0,065
58	Comuneros	Usme	0	0	0	0,00162	0,000000977	0,0098	0,67	0,9	0,065
59	Alfonso López	Usme	0,0128	0	0		0,000000977	0,0098	0,67	0,9	0,069
60	Parque Entre Nubes	Usme	0,042	0	0			0,0098	0,67	0,9	0,078
61	Ciudad Usme	Usme	0,0722	0	0	0,00177	0,000000935	0,0098	0,67	0,9	0,088
62	Tunjuelito	Tunjuelito	0,672	0,0032	0,0174	0,00283	0,00000171	0,00245	0,58	0,7	0,267
63	El Mochuelo	Ciudad Bolívar	0,423	0	0	0,0000891	0,00000134	0,022	0,64	0,9	0,198
64	Monte Blanco	Ciudad Bolívar	0,0128	0	0		0,00000129	0,022	0,64	0,9	0,069
65	Arborizadora	Ciudad Bolívar	0,539	0,0072	0,0356	0,00248	0,00000182	0,022	0,64	0,9	0,240
66	San Francisco	Ciudad Bolívar	0,328	0	0,000356	0,00138	0,00000144	0,022	0,64	0,9	0,169
67	Lucero	Ciudad Bolívar	0,0512	0	0	0,00123	0,0000012	0,022	0,64	0,9	0,081
68	El Tesoro	Ciudad Bolívar	0,0098	0	0	0,000211	0,00000111	0,022	0,64	0,9	0,068
69	Ismael Perdomo	Ciudad Bolívar	0,86	0,0008	0,0032	0,00168	0,00000155	0,022	0,64	0,9	0,337
70	Jerusalén	Ciudad Bolívar	0,0648	0	0	0,00131	0,00000144	0,022	0,64	0,9	0,086
71	Tibabuyes	Suba	0,296	0,0008	0,0032	0,00101	0,0000129	0,0181	0,66	0,77	0,154
72	Bolivia	Engativá	0,741	0,0288	0,0512	0,0108	0,0000141	0,00045	0,66	0,8	0,303
73	Garcés Navas	Engativá	0,0684	0	0,000356	0,0117	0,0000131	0,00045	0,66	0,8	0,083
74	Engativá	Engativá	0,0882	0,0008	0,0032	0,00576	0,0000129	0,00045	0,66	0,8	0,089
75	Fontibón	Fontibón	0,49	0,0072	0,0174	0,0138	0,0000132	0,00125	0,64	0,7	0,214
76	Fontibón San Pablo	Fontibón	0,966	0,135	0,658	0,0118	0,0000141	0,00125	0,64	0,7	0,443
77	Zona Franca	Fontibón	0,969	0,0128	0,0512	0,0106	0,0000121	0,00125	0,64	0,7	0,368
78	Tintal Norte	Ciudad Kennedy	1	0	0	0,00164	0,00000702	0,00605	0,54	0,7	0,366

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$R_F$
79	Calandaima	Ciudad Kennedy	0,018	0	0	0,00496	0,00000989	0,00605	0,54	0,7	0,058
80	Corabastos	Ciudad Kennedy	0,0144	0,0008	0,0032	0,00339	0,00000499	0,00605	0,54	0,7	0,057
81	Gran Britalia	Ciudad Kennedy	0,0338	0	0	0,00318	0,00000508	0,00605	0,54	0,7	0,062
82	Patio Bonito	Ciudad Kennedy	0,018	0	0	0,00422	0,00000659	0,00605	0,54	0,7	0,058
83	Las Margaritas	Ciudad Kennedy	0,0008	0	0	0,00035	0,0000041	0,00605	0,54	0,7	0,051
84	Bosa Occidental	Bosa	0,0144	0	0,000356	0,00362	0,00000489	0,0882	0,73	0,9	0,081
85	Bosa Central	Bosa	0,205	0,0008	0,00142	0,00196	0,00000206	0,0882	0,73	0,9	0,141
86	El Porvenir	Bosa	0,0002	0	0	0,00187	0,00000393	0,0882	0,73	0,9	0,076
87	Tintal Sur	Bosa	0,00245	0	0	0,00065	0,00000489	0,0882	0,73	0,9	0,077
88	El Refugio	Chapinero	0,238	0,0008	0,00142	0,00268	0,00000401	0,328	0,77	0,9	0,178
89	San Isidro Patios	Chapinero	0,0612	0	0			0,328	0,77	0,9	0,122
90	Pardo Rubio	Chapinero	0,18	0,0008	0,000356	0,003437	0,00000427	0,328	0,77	0,9	0,160
91	Sagrado Corazón	Santa Fe	0,53	0,08	0,299	0,00479	0,00000471	0,198	0,62	0,9	0,290
92	La Macarena	Santa Fe	0,704	0,0008	0,142	0,00471	0,00000427	0,198	0,62	0,9	0,320
93	Las Nieves	Santa Fe	0,549	0,0392	0,222	0,00459	0,00000401	0,198	0,62	0,9	0,284
94	Candelaria	La Candelaria	0,18	0,0008	0,00142	0,00371	0,00000337	0,328	0,67	0,9	0,156
95	Las Cruces	Santa Fe	1	0,0072	0,157	0,00304	0,00000224	0,198	0,62	0,9	0,415
96	Lourdes	Santa Fe	0,0612	0	0	0,00183	0,00000194	0,198	0,62	0,9	0,103
97	Chico Lago	Chapinero	0,32	0,02	0,043	0,00263	0,00000376	0,328	0,77	0,9	0,211
98	Los Alcázares	Barrios Unidos	0,0722	0,0008	0,00569	0,0051	0,00000617	0,101	0,75	0,9	0,102
99	Chapinero	Chapinero	0,48	0,0648	0,142	0,005	0,00000537	0,328	0,77	0,9	0,276
100	Galerías	Teusaquillo	0,13	0,0032	0,000889	0,00809	0,0000084	0,0648	0,74	0,9	0,117
101	Teusaquillo	Teusaquillo	0,361	0,0072	0,0174	0,00525	0,00000462	0,0648	0,74	0,9	0,191
102	La Sabana	Los Mártires	0,656	0,205	0,721	0,00314	0,0000025	0,0162	0,66	0,7	0,360
103	Parque Salitre	Barrios Unidos	0,281	0,0032	0,0128	0,0102	0,00000938	0,101	0,75	0,9	0,170
104	Parque Simón Bolívar-Can	Teusaquillo	0,106	0	0	0,00799	0,0000068	0,0648	0,74	0,9	0,109
105	Jardín Botánico	Engativá	0,986	1	1	0,00525	0,00000329	0,00045	0,66	0,8	0,577
106	La Esmeralda	Teusaquillo	0,218	0,0032	0,00569	0,00872	0,0000084	0,0648	0,74	0,9	0,145

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$R_F$
107	Quinta Paredes	Teusaquillo	0,18	0,0008	0,00142	0,00525	0,00000627	0,0648	0,74	0,9	0,132
108	Zona Industrial	Puente Aranda	0,994	1	1	0,00355	0,00000385	0,02	0,69	0,7	0,578
109	Ciudad Salitre Oriental	Teusaquillo	0,423	0,115	0,342	0,00589	0,00000669	0,0648	0,74	0,9	0,255
110	Ciudad Salitre Occidental	Fontibón	0,231	0,0128	0,0228	0,00616	0,00000368	0,00125	0,64	0,7	0,132
111	Puente Aranda	Puente Aranda	0,782	0,423	1	0,00734	0,00000804	0,02	0,69	0,7	0,453
112	Granjas Techo	Fontibón	1	1	1	0,00729	0,00000669	0,00125	0,64	0,7	0,577
113	Bavaria	Ciudad Kennedy	0,51	0,0648	0,222	0,00892	0,00000713	0,00605	0,54	0,7	0,243
114	Modelia	Fontibón	0,13	0	0,000356	0,00982	0,0000121	0,00125	0,64	0,7	0,098
115	Capellania	Fontibón	0,92	0,135	0,613	0,0116	0,0000143	0,00125	0,64	0,7	0,424
116	Álamos	Engativá	1	0,0968	0,436	0,0109	0,0000159	0,00045	0,66	0,8	0,431
117	Aeropuerto El Dorado	Fontibón	0,52	0,0008	0,00569	0,0117	0,0000157	0,00125	0,64	0,7	0,221

Tabla F.18. Resultados  $R_F$ ,  $F$  y  $R_T$  para un sismo en la zona Benioff intermedia

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$R_F$	$F$	$R_T$
1	Paseo los Libertadores	San Cristóbal	0,096	0,59	0,153
2	La Academia	Suba	0,062	0,52	0,095
3	Guaymaral	Suba	0,072	0,52	0,110
9	Verbenal	Usaquén	0,076	0,46	0,111
10	La Uribe	Usaquén	0,128	0,46	0,187
11	San Cristóbal Norte	Usaquén	0,099	0,46	0,145
12	Toberin	Usaquén	0,129	0,46	0,189
13	Los Cedros	Usaquén	0,169	0,46	0,247
14	Usaquén	Usaquén	0,148	0,46	0,215
15	Country Club	Usaquén	0,176	0,46	0,256
16	Santa Bárbara	Usaquén	0,222	0,46	0,324
17	San José de Bavaria	Suba	0,064	0,52	0,097
18	Britalia	Suba	0,078	0,52	0,118
19	El Prado	Suba	0,134	0,52	0,204
20	La Alhambra	Suba	0,178	0,52	0,271
21	Los Andes	Barrios Unidos	0,111	0,44	0,159
22	Doce de Octubre	Barrios Unidos	0,106	0,44	0,152
23	Casa Blanca Suba	Suba	0,073	0,52	0,111
24	Niza	Suba	0,080	0,52	0,122
25	La Floresta	Suba	0,183	0,52	0,279
26	Las Ferias	Engativá	0,143	0,51	0,216
27	Suba	Suba	0,137	0,52	0,209
28	El Rincón	Suba	0,112	0,52	0,171
29	Minuto de Dios	Engativá	0,163	0,51	0,245
30	Boyacá Real	Engativá	0,196	0,51	0,296
31	Santa Cecilia	Engativá	0,101	0,51	0,153
32	San Blas	San Cristóbal	0,104	0,59	0,166
33	Sosiego	San Cristóbal	0,159	0,59	0,253
34	20 de Julio	San Cristóbal	0,155	0,59	0,246
35	Ciudad Jardín	Antonio Nariño	0,114	0,50	0,171
36	San José	Rafael Uribe	0,172	0,56	0,268
37	Santa Isabel	Los Mártires	0,122	0,48	0,180
38	Restrepo	Antonio Nariño	0,207	0,50	0,311
39	Quiroga	Rafael Uribe	0,175	0,56	0,273
40	Ciudad Montes	Puente Aranda	0,112	0,52	0,171
41	Muzu	Puente Aranda	0,065	0,52	0,100
42	Venecia	Tunjuelito	0,160	0,53	0,245
43	San Rafael	Puente Aranda	0,107	0,52	0,163
44	Americas	Ciudad Kennedy	0,161	0,62	0,261
45	Carvajal	Ciudad Kennedy	0,169	0,62	0,274
46	Castilla	Ciudad Kennedy	0,106	0,62	0,172
47	Kennedy Central	Ciudad Kennedy	0,094	0,62	0,152
48	Timiza	Ciudad Kennedy	0,127	0,62	0,205
49	Apogeo	Bosa	0,150	0,61	0,243
50	La Gloria	San Cristóbal	0,124	0,59	0,197
51	Los Libertadores	San Cristóbal	0,104	0,59	0,165
52	La Flora	Usme	0,065	0,67	0,109
53	Marco Fidel Suárez	Rafael Uribe	0,204	0,56	0,318
54	Marruecos	Rafael Uribe	0,185	0,56	0,288
55	Diana Turbay	Rafael Uribe	0,136	0,56	0,213
56	Danubio	Usme	0,078	0,67	0,130

UPZ	Nombre UPZ	Localidad	$R_F$	$F$	$R_T$
57	Gran Yomasa	Usme	0,065	0,67	0,109
58	Comuneros	Usme	0,065	0,67	0,109
59	Alfonso López	Usme	0,069	0,67	0,115
60	Parque Entre Nubes	Usme	0,078	0,67	0,131
61	Ciudad Usme	Usme	0,088	0,67	0,147
62	Tunjuelito	Tunjuelito	0,267	0,53	0,408
63	El Mochuelo	Ciudad Bolívar	0,198	0,67	0,331
64	Monte Blanco	Ciudad Bolívar	0,069	0,67	0,115
65	Arborizadora	Ciudad Bolívar	0,240	0,67	0,400
66	San Francisco	Ciudad Bolívar	0,169	0,67	0,281
67	Lucero	Ciudad Bolívar	0,081	0,67	0,136
68	El Tesoro	Ciudad Bolívar	0,068	0,67	0,114
69	Ismael Perdomo	Ciudad Bolívar	0,337	0,67	0,562
70	Jerusalén	Ciudad Bolívar	0,086	0,67	0,143
71	Tibabuyes	Suba	0,154	0,52	0,235
72	Bolivia	Engativá	0,303	0,51	0,457
73	Garcés Navas	Engativá	0,083	0,51	0,126
74	Engativá	Engativá	0,089	0,51	0,134
75	Fontibón	Fontibón	0,214	0,55	0,332
76	Fontibón San Pablo	Fontibón	0,443	0,55	0,687
77	Zona Franca	Fontibón	0,368	0,55	0,572
78	Tintal Norte	Ciudad Kennedy	0,366	0,62	0,592
79	Calandaima	Ciudad Kennedy	0,058	0,62	0,093
80	Corabastos	Ciudad Kennedy	0,057	0,62	0,092
81	Gran Britalia	Ciudad Kennedy	0,062	0,62	0,101
82	Patio Bonito	Ciudad Kennedy	0,058	0,62	0,093
83	Las Margaritas	Ciudad Kennedy	0,051	0,62	0,083
84	Bosa Occidental	Bosa	0,081	0,61	0,131
85	Bosa Central	Bosa	0,141	0,61	0,227
86	El Porvenir	Bosa	0,076	0,61	0,123
87	Tintal Sur	Bosa	0,077	0,61	0,124
88	El Refugio	Chapinero	0,178	0,20	0,215
89	San Isidro Patios	Chapinero	0,122	0,20	0,147
90	Pardo Rubio	Chapinero	0,160	0,20	0,193
91	Sagrado Corazón	Santa Fe	0,290	0,61	0,467
92	La Macarena	Santa Fe	0,320	0,61	0,516
93	Las Nieves	Santa Fe	0,284	0,61	0,457
94	Candelaria	La Candelaria	0,156	0,49	0,233
95	Las Cruces	Santa Fe	0,415	0,61	0,669
96	Lourdes	Santa Fe	0,103	0,61	0,165
97	Chico Lago	Chapinero	0,211	0,20	0,254
98	Los Alcázares	Barrios Unidos	0,102	0,44	0,147
99	Chapinero	Chapinero	0,276	0,20	0,333
100	Galerías	Teusaquillo	0,117	0,27	0,148
101	Teusaquillo	Teusaquillo	0,191	0,27	0,242
102	La Sabana	Los Mártires	0,360	0,48	0,531
103	Parque Salitre	Barrios Unidos	0,170	0,44	0,244
104	Parque Simón Bolívar-Can	Teusaquillo	0,109	0,27	0,137
105	Jardín Botánico	Engativá	0,577	0,51	0,870
106	La Esmeralda	Teusaquillo	0,145	0,27	0,184
107	Quinta Paredes	Teusaquillo	0,132	0,27	0,167
108	Zona Industrial	Puente Aranda	0,578	0,52	0,881
109	Ciudad Salitre Oriental	Teusaquillo	0,255	0,27	0,323

<b>UPZ</b>	<b>Nombre UPZ</b>	<b>Localidad</b>	<b><math>R_F</math></b>	<b><math>F</math></b>	<b><math>R_T</math></b>
110	Ciudad Salitre Occidental	Fontibón	0,132	0,55	0,205
111	Puente Aranda	Puente Aranda	0,453	0,52	0,690
112	Granjas Techo	Fontibón	0,577	0,55	0,895
113	Bavaria	Ciudad Kennedy	0,243	0,62	0,392
114	Modelia	Fontibón	0,098	0,55	0,151
115	Capellania	Fontibón	0,424	0,55	0,657
116	Álamos	Engativá	0,431	0,51	0,651
117	Aeropuerto El Dorado	Fontibón	0,221	0,55	0,343

**F.3. Barcelona, evaluación para el año 2005**

**F.3.1 Para una amenaza probabilista**

**Tabla F.19. Ejemplos de algunos valores de los descriptores de riesgo físico**

ZRP	X <sub>RF1</sub>	X <sub>RF2</sub>	X <sub>RF3</sub>	X <sub>RF4</sub>	X <sub>RF5</sub>	X <sub>RF6</sub>	X <sub>RF7</sub>	X <sub>RF8</sub>	X <sub>RF9</sub>
001	16,9	6	12	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
002	19,5	10	21	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
003	19,7	9	19	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
004	20,5	6	12	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
005	20,7	7	15	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
006	22,2	5	11	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
007	24,2	7	14	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
008	10,1	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
009	8,9	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
010	8,3	4	8	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
011	8,9	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
012	8,9	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
013	8,9	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
014	8,7	3	7	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
015	8,9	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
016	8,8	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
017	9,0	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
018	4,8	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
019	8,4	2	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
020	10,1	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
021	22,8	5	10	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
022	15,4	4	8	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
023	24,6	5	10	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
024	23,0	9	18	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
025	16,3	16	34	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
026	21,7	11	24	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
027	24,3	6	12	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
028	20,5	14	30	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
029	23,3	7	14	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
030	17,2	5	10	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
031	8,5	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
032	10,2	3	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
033	12,0	3	7	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
034	8,9	3	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
035	8,8	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
036	9,1	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
037	9,0	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
038	8,6	6	12	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
039	6,9	7	15	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025

ZRP	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$	$X_{RF9}$
040	6,8	7	14	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
041	7,8	6	12	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
042	8,1	4	9	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
043	7,6	5	10	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
044	7,1	5	12	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
045	6,6	6	13	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
046	6,3	6	14	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
047	6,8	7	16	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
048	5,0	7	16	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
049	7,1	6	13	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
050	7,5	4	8	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
051	7,4	5	10	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
052	6,6	6	12	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
053	4,9	7	16	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
054	4,4	7	15	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
055	3,2	4	8	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
056	3,5	3	7	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
057	7,7	5	10	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
058	7,3	5	10	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
059	8,6	5	10	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
060	8,2	4	8	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
061	8,7	4	9	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
062	7,8	4	8	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
063	7,8	5	11	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
064	8,9	4	8	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
065	5,0	7	14	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
066	4,9	6	13	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
067	6,1	7	15	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,075
068	5,1	5	10	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
069	4,4	4	9	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
070	5,8	5	10	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
071	4,6	6	14	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
072	4,2	3	7	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
073	9,7	10	21	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
074	8,0	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
075	6,3	4	9	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
076	2,4	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,225
077	2,3	4	8	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
078	2,2	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
079	2,0	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
080	3,2	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
081	4,6	3	7	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
082	5,1	5	10	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
083	2,6	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
084	5,0	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0

ZRP	X <sub>RF1</sub>	X <sub>RF2</sub>	X <sub>RF3</sub>	X <sub>RF4</sub>	X <sub>RF5</sub>	X <sub>RF6</sub>	X <sub>RF7</sub>	X <sub>RF8</sub>	X <sub>RF9</sub>
085	4,9	3	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
086	4,2	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
087	2,9	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
088	4,5	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
089	5,0	3	7	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
090	3,9	3	7	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
091	2,4	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
092	2,4	5	11	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
093	3,4	4	8	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
094	4,3	6	13	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
095	3,5	4	9	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
096	1,8	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
097	2,0	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
098	2,6	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
099	2,2	4	9	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
100	1,0	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
101	0,4	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
102	2,1	4	9	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
103	4,0	3	7	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
104	4,1	4	10	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
105	3,1	3	7	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
106	2,5	4	8	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
107	1,8	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
108	2,6	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
109	2,3	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
110	1,3	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
111	1,9	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
112	1,2	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
113	2,6	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
114	2,6	3	7	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
115	0,9	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
116	1,2	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
117	2,2	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
118	1,9	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
119	0,6	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
120	0,8	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
121	0,1	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
122	6,1	4	9	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
123	6,6	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
124	5,7	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
125	6,4	3	7	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
126	5,7	5	10	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
127	4,0	5	11	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
128	3,2	3	7	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
129	3,1	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0

ZRP	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$	$X_{RF9}$
130	4,1	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
131	4,7	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
132	5,4	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
133	4,1	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
134	3,5	2	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
135	2,7	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
136	2,1	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
137	2,5	2	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
138	1,1	2	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
139	0,9	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
140	1,2	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
141	0,6	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
142	0,5	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
143	2,2	3	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
144	0,4	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
145	2,4	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
146	2,7	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
147	1,8	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
148	1,6	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
149	1,9	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
150	1,8	2	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
151	0,7	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
152	2,3	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
153	1,1	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
154	0,5	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
155	0,5	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
156	0,6	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
157	2,7	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
158	1,4	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
159	1,2	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
160	2,7	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
161	1,6	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
162	1,1	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
163	1,4	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
164	1,1	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
165	0,9	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
166	0,2	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
167	1,2	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
168	0,8	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
169	3,2	3	7	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
170	0,9	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
171	1,2	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
172	3,5	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
173	1,2	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
174	1,9	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025

ZRP	X <sub>RF1</sub>	X <sub>RF2</sub>	X <sub>RF3</sub>	X <sub>RF4</sub>	X <sub>RF5</sub>	X <sub>RF6</sub>	X <sub>RF7</sub>	X <sub>RF8</sub>	X <sub>RF9</sub>
175	1,4	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
176	0,8	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
177	2,3	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
178	3,0	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
179	3,7	2	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
180	0,4	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
181	1,1	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
182	2,7	4	8	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
183	3,2	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
184	2,6	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
185	2,3	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
186	1,9	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
187	1,3	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
188	1,8	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,125
189	3,3	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,125
190	1,9	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
191	2,3	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
192	1,4	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
193	1,0	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
194	0,6	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
195	0,0	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
196	1,7	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
197	0,0	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
198	3,8	6	12	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
199	2,1	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
200	1,9	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
201	2,0	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
202	1,7	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
203	1,2	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
204	2,1	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
205	4,3	2	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
206	1,7	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
207	1,1	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
208	1,1	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
209	0,7	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
210	1,0	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,125
211	1,1	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
212	1,6	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
213	0,8	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
214	0,9	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
215	5,1	5	10	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
216	3,1	5	11	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
217	0,2	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
218	1,3	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,325
219	4,5	7	15	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025

ZRP	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$	$X_{RF9}$
220	6,6	4	7	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
221	4,3	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,075
222	5,1	5	10	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
223	9,4	5	10	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
224	6,7	4	7	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
225	8,0	4	9	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
226	7,7	4	9	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
227	3,4	4	9	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
228	2,6	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
229	2,0	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,225
230	13,6	17	36	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
231	12,0	10	22	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
232	9,0	5	11	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
233	2,3	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
234	3,9	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,075
235	4,1	4	9	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
236	4,6	4	8	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
237	3,0	3	7	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
238	2,3	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
239	3,4	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
240	3,9	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
241	1,6	4	8	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
242	2,4	5	10	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
243	11,1	19	40	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
244	2,9	7	15	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
245	8,4	16	34	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
246	3,3	7	15	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
247	3,3	8	18	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
248	4,9	9	20	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0

Tabla F.20. Factores e índice de riesgo físico,  $R_F$ , en Barcelona

ZRP	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$F_{RF9}$	$R_F$
001	0,952	0,0288	0,0512	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,306
002	0,999	0,08	0,157	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,331
003	1	0,0648	0,128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,328
004	1	0,0288	0,0512	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2	0,336
005	1	0,0392	0,08	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2	0,340
006	1	0,02	0,043	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,316
007	1	0,0392	0,0697	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2	0,339
008	0,51	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,172
009	0,396	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,139
010	0,344	0,0128	0,0228	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,126
011	0,396	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,139
012	0,396	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,139
013	0,396	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,139
014	0,378	0,0072	0,0174	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,135
015	0,396	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,139
016	0,387	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,137
017	0,405	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,141
018	0,115	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,059
019	0,353	0,0032	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,126
020	0,51	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,171
021	1	0,02	0,0356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,315
022	0,894	0,0128	0,0228	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,283
023	1	0,02	0,0356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,315
024	1	0,0648	0,115	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2	0,346
025	0,932	0,205	0,411	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2	0,367
026	1	0,0968	0,205	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,338
027	1	0,0288	0,0512	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,317

ZRP	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$F_{RF9}$	$R_F$
028	1	0,157	0,32	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,354
029	1	0,0392	0,0697	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,320
030	0,961	0,02	0,0356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,304
031	0,361	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,129
032	0,52	0,0072	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,175
033	0,68	0,0072	0,0174	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,221
034	0,396	0,0072	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,139
035	0,387	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,137
036	0,414	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,145
037	0,405	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,141
038	0,37	0,0288	0,0512	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,138
039	0,238	0,0392	0,08	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,106
040	0,231	0,0392	0,0697	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,103
041	0,304	0,0288	0,0512	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,121
042	0,328	0,0128	0,0288	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,127
043	0,289	0,02	0,0356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,115
044	0,252	0,02	0,0512	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,108
045	0,218	0,0288	0,0601	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,100
046	0,198	0,0288	0,0697	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,093
047	0,231	0,0392	0,091	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,105
048	0,125	0,0392	0,091	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,073
049	0,252	0,0288	0,0601	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,107
050	0,281	0,0128	0,0228	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,111
051	0,274	0,02	0,0356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,111
052	0,218	0,0288	0,0512	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,094
053	0,12	0,0392	0,091	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,071
054	0,0968	0,0392	0,08	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,064
055	0,0512	0,0128	0,0228	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,043

ZRP	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$F_{RF9}$	$R_F$
056	0,0612	0,0072	0,0174	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,047
057	0,296	0,02	0,0356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,117
058	0,266	0,02	0,0356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,108
059	0,37	0,02	0,0356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,138
060	0,336	0,0128	0,0228	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,126
061	0,378	0,0128	0,0288	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,141
062	0,304	0,0128	0,0228	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,120
063	0,304	0,02	0,043	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,122
064	0,396	0,0128	0,0228	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,143
065	0,125	0,0392	0,0697	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,073
066	0,12	0,0288	0,0601	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,072
067	0,186	0,0392	0,08	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,075	0,096
068	0,13	0,02	0,0356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,072
069	0,0968	0,0128	0,0288	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,056
070	0,0168	0,02	0,0356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,037
071	0,0106	0,0288	0,0697	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,037
072	0,0882	0,0072	0,0174	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,052
073	0,47	0,08	0,157	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,181
074	0,32	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,118
075	0,198	0,0128	0,0288	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,085
076	0,0288	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,225	0,055
077	0,0264	0,0128	0,0228	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2	0,055
078	0,0242	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,036
079	0,02	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,034
080	0,0512	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,044
081	0,106	0,0072	0,0174	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,060
082	0,13	0,02	0,0356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,070
083	0,0338	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,035

ZRP	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$F_{RF9}$	$R_F$
084	0,125	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,062
085	0,12	0,0072	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,061
086	0,0882	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,052
087	0,042	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,038
088	0,101	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,055
089	0,125	0,0072	0,0174	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,063
090	0,0761	0,0072	0,0174	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,049
091	0,0288	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,037
092	0,0288	0,02	0,043	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,041
093	0,0578	0,0128	0,0228	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,045
094	0,0924	0,0288	0,0601	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,060
095	0,0612	0,0128	0,0288	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,046
096	0,0162	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,030
097	0,02	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,035
098	0,0338	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,039
099	0,0242	0,0128	0,0288	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,038
100	0,005	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,030
101	0,0008	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1	0,035
102	0,0221	0,0128	0,0288	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,038
103	0,08	0,0072	0,0174	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,052
104	0,084	0,0128	0,0356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,056
105	0,0481	0,0072	0,0174	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,041
106	0,0313	0,0128	0,0228	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,037
107	0,0162	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,031
108	0,0338	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,036
109	0,0264	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,034
110	0,00845	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,028
111	0,018	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,032

ZRP	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$F_{RF9}$	$R_F$
112	0,0072	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1	0,037
113	0,0338	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,036
114	0,0338	0,0072	0,0174	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,037
115	0,00405	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,026
116	0,0072	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,028
117	0,0242	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,033
118	0,018	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,030
119	0,0018	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1	0,035
120	0,0032	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1	0,035
121	0,000005	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,025
122	0,186	0,0128	0,0288	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,084
123	0,218	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,091
124	0,162	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,072
125	0,205	0,0072	0,0174	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,086
126	0,162	0,02	0,0356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,076
127	0,08	0,02	0,043	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,054
128	0,0512	0,0072	0,0174	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,042
129	0,0481	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,041
130	0,084	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,050
131	0,11	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,057
132	0,146	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,068
133	0,084	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,050
134	0,0612	0,0032	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,043
135	0,0365	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,036
136	0,0221	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,032
137	0,0313	0,0032	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,034
138	0,00605	0,0032	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,027
139	0,00405	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,026

ZRP	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$F_{RF9}$	$R_F$
140	0,0072	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,027
141	0,0018	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,026
142	0,00125	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,025
143	0,0242	0,0072	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1	0,043
144	0,0008	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1	0,035
145	0,0288	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,034
146	0,0365	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,036
147	0,0162	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,030
148	0,0128	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,029
149	0,018	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,030
150	0,0162	0,0032	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,030
151	0,00245	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,026
152	0,0264	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,034
153	0,00605	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,027
154	0,00125	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,025
155	0,00125	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,025
156	0,0018	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,026
157	0,0365	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,036
158	0,0098	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,028
159	0,0072	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,027
160	0,0365	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,036
161	0,0128	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,029
162	0,00605	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,027
163	0,0098	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,028
164	0,00605	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,027
165	0,00405	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1	0,036
166	0,0002	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1	0,035
167	0,0072	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1	0,037

ZRP	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$F_{RF9}$	$R_F$
168	0,0032	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,027
169	0,0512	0,0072	0,0174	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1	0,051
170	0,00405	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1	0,036
171	0,0072	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1	0,037
172	0,0612	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,043
173	0,0072	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,027
174	0,018	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,033
175	0,0098	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,029
176	0,0032	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,028
177	0,0264	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,033
178	0,045	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,039
179	0,0684	0,0032	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,045
180	0,0008	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,025
181	0,00605	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,028
182	0,0365	0,0128	0,0228	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1	0,048
183	0,0512	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1	0,050
184	0,0338	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,036
185	0,0264	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1	0,042
186	0,018	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,031
187	0,00845	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,031
188	0,0162	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,125	0,042
189	0,0544	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,125	0,054
190	0,018	0,0008	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,033
191	0,0264	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1	0,043
192	0,0098	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1	0,038
193	0,005	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1	0,038
194	0,0018	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,026
195	0	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,025

ZRP	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$F_{RF9}$	$R_F$
196	0,144	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,068
197	0	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,025
198	0,0722	0,0288	0,0512	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,055
199	0,0221	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,035
200	0,018	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,034
201	0,02	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,033
202	0,0144	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,032
203	0,0072	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,031
204	0,0221	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,032
205	0,0924	0,0032	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,052
206	0,0144	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,032
207	0,00605	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,029
208	0,00605	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,029
209	0,00245	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,028
210	0,005	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,125	0,039
211	0,00605	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1	0,037
212	0,0128	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1	0,040
213	0,0032	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,026
214	0,00405	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,026
215	0,13	0,02	0,0356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,067
216	0,0481	0,02	0,043	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2	0,064
217	0,0002	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2	0,044
218	0,00845	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,325	0,059
219	0,101	0,0392	0,08	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,067
220	0,218	0,0128	0,0174	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2	0,109
221	0,024	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,075	0,041
222	0,13	0,02	0,0356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,072
223	0,442	0,02	0,0356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2	0,175

ZRP	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$F_{RF9}$	$R_F$
224	0,224	0,0128	0,0174	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2	0,111
225	0,32	0,0128	0,0288	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,122
226	0,296	0,0128	0,0288	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,118
227	0,0578	0,0128	0,0288	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,048
228	0,0338	0,008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,038
229	0,02	0,008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,225	0,053
230	0,795	0,231	0,461	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,316
231	0,68	0,08	0,172	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2	0,261
232	0,405	0,02	0,043	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,149
233	0,0264	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,037
234	0,0761	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,075	0,056
235	0,084	0,0128	0,0288	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,058
236	0,106	0,0128	0,0228	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,058
237	0,045	0,0072	0,0174	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,040
238	0,0264	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,036
239	0,0578	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,047
240	0,0761	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,053
241	0,0128	0,0128	0,0228	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,032
242	0,0288	0,02	0,0356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,041
243	0,604	0,289	0,564	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,279
244	0,042	0,0392	0,08	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,048
245	0,353	0,205	0,411	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,183
246	0,0544	0,0392	0,08	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,054
247	0,0544	0,0512	0,115	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,058
248	0,12	0,0648	0,142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,078
<i>Barcelona</i>	<i>0,152</i>	<i>0,017</i>	<i>0,033</i>	<i>0,020</i>	<i>0,020</i>	<i>0,020</i>	<i>0,170</i>	<i>0,320</i>	<i>0,031</i>	<i>0,076</i>

Tabla F.21. Valores de los descriptores de agravamiento por fragilidad social y falta de resiliencia en Barcelona

<i>Distrito</i>	$X_{FS1}$	$X_{FS2}$	$X_{FS3}$	$X_{FS4}$	$X_{FS5}$	$X_{FR1}$	$X_{FR2}$	$X_{FR3}$	$X_{FR4}$	$X_{FR5}$	$X_{FR6}$
Ciutat Vella	0.2	119	252.87	0.8	12690	4.9650	11	0.0828	15	1	1
Eixample	0	119	60.04	0.3	14186	6.1475	14	0.0180	18	4	1
Sant - Montjuic	0	102	73.61	0.3	6834	0	0	0.1219	15	3	1
Les Corts	0	81	30.99	0.1	14080	10.6864	24	0.0424	18	4	1
Sarrià-Sant Gervasi	0	95	30.99	0	11647	10.8704	24	0.0194	8	4	1
Gràcia	0	115	42.66	0.2	16570	7.1269	16	0.0324	8	4	1
Horta-Guinardó	0.1	95	36.00	0.5	21573	16.1716	36	0.0369	8	2	1
Nou Barris	0.1	95	31.54	0.8	28256	0	0	0.0430	10	1	1
Sant Andreu	0.1	91	31.54	0.5	19890	1.1325	3	0.0198	10	2	1
Sant Martí	0.3	93	42.44	0.8	19069	0	0	0.0337	3	1	1

Tabla F.22. Coeficiente de agravamiento a partir de los factores de fragilidad social y de falta de resiliencia en Barcelona

<i>Distrito</i>	$F_{FS1}$	$F_{FS2}$	$F_{FS3}$	$F_{FS4}$	$F_{FS5}$	$F_{FR1}$	$F_{FR2}$	$F_{FR3}$	$F_{FR4}$	$F_{FR5}$	$F_{FR6}$	$F$
Ciutat Vella	0.0918	0.00061	0.0452	0,8	0,342	0.964	0,142	0.461	0	1	0,5	0,4437
Eixample	0	0.00061	0.000111	0,3	0,471	0.925	0,00889	0.993	0	0,0	0,5	0,2796
Sant - Montjuic	0	0.000347	0.000612	0,3	0,0364	1	1	0.0806	0	0,3	0,5	0,2558
Les Corts	0	0.000123	0	0,1	0,461	0.755	0	0.893	0	0	0,5	0,2270
Sarrià-Sant Gervasi	0	0.00026	0	0	0,265	0.769	0	0.991	0	0	0,5	0,1785
Gràcia	0	0.000542	0	0,2	0,678	0.894	0	0.949	0	0,0	0,5	0,2947
Horta-Guinardó	0,0102	0.00026	0	0,5	0,947	0.436	0	0	0	0,6	0,5	0,3875
Nou Barris	0,0102	0.00026	0	0,8	1	1	1	0.889	0	1	0,5	0,6164
Sant Andreu	0,0102	0.000215	0	0,5	0,882	0.997	0,92	0.99	0	0,6	0,5	0,5042
Sant Martí	0,255	0.000237	0	0,8	0,84	1	1	0.943	0.633	1	0,5	0,6591
<i>Barcelona</i>	<i>0.04</i>	<i>0.00033</i>	<i>0.00352</i>	<i>0,48</i>	<i>0,69</i>	<i>0.87</i>	<i>0.45</i>	<i>0.75</i>	<i>0.07</i>	<i>0.53</i>	<i>0.5</i>	<i>0.42</i>

**Tabla F.23. Resultados de  $R_F$ ,  $F$ ,  $R_T$ , por ZRP para un sismo probabilista**

<b>Nombre ZRP</b>	<b>ZRP</b>	<b><math>R_F</math></b>	<b><math>F</math></b>	<b><math>R_T</math></b>
1. Sant Sebastia	001	0,306	0,444	0,442
2. C/Cervera-Aixada	002	0,331	0,444	0,479
3. C/Churruca	003	0,328	0,444	0,473
4. Barceloneta Centre	004	0,336	0,444	0,485
5. Hospital del Mar	005	0,340	0,444	0,491
6. Ciutadella-Born	006	0,316	0,444	0,456
7. Llotja de Mar	007	0,339	0,444	0,489
8. Santa Maria del Mar	008	0,172	0,444	0,248
9. Museo Picasso	009	0,139	0,444	0,200
10. Casc Antic-Jutjats	010	0,126	0,444	0,182
11. Mercat Santa Caterina	011	0,139	0,444	0,200
12. Av.Fransesc Cambó	012	0,139	0,444	0,200
13. Sant Pere	013	0,139	0,444	0,200
14. Palau Musica	014	0,135	0,444	0,195
15. C/Condal	015	0,139	0,444	0,200
16. Pl.Villa de Madrid	016	0,137	0,444	0,198
17. C/Petritxol	017	0,141	0,444	0,204
18. Catedral	018	0,059	0,444	0,085
19. Palau Generalitat	019	0,126	0,444	0,182
20. C/Boqueria	020	0,171	0,444	0,247
21. Pl.Reial-Ajuntament	021	0,315	0,444	0,455
22. Correus	022	0,283	0,444	0,408
23. Pl.La MercÚ	023	0,315	0,444	0,455
24. Pl.Medinaceli	024	0,346	0,444	0,499
25. Drassanes	025	0,367	0,444	0,529
26. Palau G <sup>3</sup> ell	026	0,338	0,444	0,488
27. Liceu	027	0,317	0,444	0,458
28. Sant Pau del Camp	028	0,354	0,444	0,511
29. Pl.Folch i Torres	029	0,320	0,444	0,462
30. Sant Agustí	030	0,304	0,444	0,439
31. Mercat Boqueria	031	0,129	0,444	0,186
32. C/Riera Baixa	032	0,175	0,444	0,252
33. C/La Cera	033	0,221	0,444	0,319
34. C/Rierar Alta	034	0,139	0,444	0,201
35. Casa Caritat	035	0,137	0,444	0,198
36. Academia Ciències	036	0,145	0,444	0,209
37. C/Tallers-Pelai	037	0,141	0,444	0,204
38. Mercat San Antoni	038	0,138	0,280	0,176
39. Av.Mistral	039	0,106	0,280	0,136
40. C/Sepulveda-Viladomat	040	0,103	0,280	0,132
41. C/Sepulveda-Casanova	041	0,121	0,280	0,155
42. Universitat	042	0,127	0,280	0,163
43. C/Casanova-Diputacio	043	0,115	0,280	0,147
44. Casa Golferichs	044	0,108	0,280	0,138

<b>Nombre ZRP</b>	<b>ZRP</b>	<b>R<sub>F</sub></b>	<b>F</b>	<b>R<sub>T</sub></b>
45. Parc Excorsador	045	0,100	0,280	0,128
46. C/Llanca	046	0,093	0,280	0,119
47. Av.Roma-Arago	047	0,105	0,280	0,135
48. Telefonica	048	0,073	0,280	0,093
49. Mercat Ninot	049	0,107	0,280	0,137
50. C/Aribau-Mallorca	050	0,111	0,280	0,142
51. C/Aribau-Corsega	051	0,111	0,280	0,141
52. Hospital Clinic	052	0,094	0,280	0,121
53. Escola Industrial	053	0,071	0,280	0,091
54. Preso Model	054	0,064	0,280	0,081
55. C/Londres-Borrell	055	0,043	0,280	0,055
56. C/Londres-Casanova	056	0,047	0,280	0,060
57. La Pedrera	057	0,117	0,280	0,149
58. Casa de les Punxes	058	0,108	0,280	0,139
59. Mercat Concepcio	059	0,138	0,280	0,176
60. Pg.Gracia Central	060	0,126	0,280	0,162
61. Illa Discordia	061	0,141	0,280	0,181
62. Torre de les Aig <sup>3</sup> es	062	0,120	0,280	0,153
63. Tetuan Nord	063	0,122	0,280	0,156
64. Pl.Catalunya-Rondes	064	0,143	0,280	0,184
65. Estacio del nord	065	0,073	0,280	0,094
66. Auditori	066	0,072	0,280	0,092
67. Pl.Monumental	067	0,096	0,280	0,123
68. Pl.Hispanitat	068	0,072	0,280	0,092
69. Mercat Sgda.Familia	069	0,056	0,280	0,072
70. Sagrada Familia	070	0,037	0,280	0,048
71. Jardins Industria	071	0,037	0,280	0,048
72. Creu Roja	072	0,052	0,280	0,067
73. Tres Xemeneies	073	0,181	0,256	0,227
74. Poble Sec-Satalia	074	0,118	0,256	0,148
75. Mercat de les Flors	075	0,085	0,256	0,107
76. Montjuic	076	0,055	0,256	0,069
77. Poligon de Zona Franca	077	0,055	0,256	0,069
78. Passeig Zona Franca-Oest	078	0,036	0,256	0,045
79. Passeig Zona Franca-Est	079	0,034	0,256	0,043
80. Font de la Guatlla	080	0,044	0,256	0,055
81. Holtalfrancs	081	0,060	0,256	0,075
82. Magoria-Can Batllo	082	0,070	0,256	0,087
83. Sants-Mercat Nou	083	0,035	0,256	0,044
84. Cotxeres de Sants	084	0,062	0,256	0,078
85. Espanya Industrial	085	0,061	0,256	0,076
86. Pl.Centre Sud	086	0,052	0,256	0,065
87. Can Mantega	087	0,038	0,256	0,048
88. Mercat Sants	088	0,055	0,256	0,069
89. C/Sugranyes	089	0,063	0,256	0,079

<b>Nombre ZRP</b>	<b>ZRP</b>	<b><math>R_F</math></b>	<b><math>F</math></b>	<b><math>R_T</math></b>
90. C/Roger	090	0,049	0,256	0,061
91. Torre Melina-Collblanc	091	0,037	0,227	0,045
92. FC Barcelona	092	0,041	0,227	0,051
93. Jardins Bacardi	093	0,045	0,227	0,055
94. Sol de Baix	094	0,060	0,227	0,073
95. Pl.Centre Nord	095	0,046	0,227	0,057
96. Les Infantes	096	0,030	0,227	0,037
97. C/Loreto	097	0,035	0,227	0,043
98. Les Corts-Centre	098	0,039	0,227	0,048
99. Santa Gemma	099	0,038	0,227	0,047
100. Palau Reial	100	0,030	0,227	0,036
101. Pedralbes	101	0,035	0,227	0,043
102. RCD Espanyol	102	0,038	0,178	0,044
103. C/Sagues	103	0,052	0,178	0,062
104. C/Tuset	104	0,056	0,178	0,066
105. Jardins Moragas	105	0,041	0,178	0,048
106. Tur <sup>3</sup> / <sub>4</sub> Parc	106	0,037	0,178	0,044
107. Pl. Adriano	107	0,031	0,178	0,036
108. Parc De Monterols	108	0,036	0,178	0,043
109. C/Saragossa	109	0,034	0,178	0,040
110. Parc Turo del Putget	110	0,028	0,178	0,033
111. C.T.Barçino	111	0,032	0,178	0,038
112. Av.Tividabo	112	0,037	0,178	0,043
113. C/Sant Gervasi	113	0,036	0,178	0,043
114. C/Mandri	114	0,037	0,178	0,043
115. Tres Torres	115	0,026	0,178	0,031
116. Salesians	116	0,028	0,178	0,033
117. Quinta Amelia	117	0,033	0,178	0,039
118. Sarria Centre	118	0,030	0,178	0,036
119. Can Caralleu	119	0,035	0,178	0,041
120. Institut Quimic	120	0,035	0,178	0,042
121. Vallvidrera	121	0,025	0,178	0,029
122. Riera Sant Miquel	122	0,084	0,295	0,109
123. Pl.Rius i Taulet	123	0,091	0,295	0,118
124. C/Libertat	124	0,072	0,295	0,093
125. C/Quevedo	125	0,086	0,295	0,111
126. C/D'en Grassot	126	0,076	0,295	0,099
127. La Sedeta	127	0,054	0,295	0,069
128. C/Romana	128	0,042	0,295	0,054
129. C/Legalitat	129	0,041	0,295	0,052
130. Pl.Virreina-Travessera	130	0,050	0,295	0,065
131. Pl.Diamant	131	0,057	0,295	0,074
132. Pl.Sol	132	0,068	0,295	0,088
133. Rambla del Prat	133	0,050	0,295	0,065
134. Fontana	134	0,043	0,295	0,056

<b>Nombre ZRP</b>	<b>ZRP</b>	<b>R<sub>F</sub></b>	<b>F</b>	<b>R<sub>T</sub></b>
135. Pl.Lesseps-Sud	135	0,036	0,295	0,046
136. Torrent de l'Olla-Trav.Dalt	136	0,032	0,295	0,041
137. Pl.Nord-Pl.Rovira	137	0,034	0,295	0,045
138. C.F.Europa	138	0,027	0,295	0,035
139. Parc Guell	139	0,026	0,295	0,034
140. Baixada de la Gloria	140	0,027	0,295	0,035
141. C/Mora d'Ebre	141	0,026	0,295	0,033
142. La Creueta del Coll	142	0,025	0,295	0,033
143. Hospital Militar	143	0,043	0,295	0,056
144. Penitents N.	144	0,035	0,295	0,045
145. Quarter Girona	145	0,034	0,387	0,048
146. La Alianca	146	0,036	0,387	0,051
147. Hospital Sant Pau	147	0,030	0,387	0,042
148. Pl.Guinardo	148	0,029	0,387	0,040
149. Mercat Guinardo	149	0,030	0,387	0,042
150. C/Mascaro	150	0,030	0,387	0,042
151. Parc del Guinardo	151	0,026	0,387	0,036
152. Parc de les Aig <sup>3</sup> es	152	0,034	0,387	0,048
153. Can Baro	153	0,027	0,387	0,037
154. C/Font d'en Fargas	154	0,025	0,387	0,035
155. C/Alt Pedrell	155	0,025	0,387	0,035
156. Can Pujolet	156	0,026	0,387	0,035
157. Mercat Carmel	157	0,036	0,387	0,050
158. C/Segimon	158	0,028	0,387	0,039
159. Muntanya del Carmel	159	0,027	0,387	0,038
160. Pl.Pastrana	160	0,036	0,387	0,050
161. Mercat Horta	161	0,029	0,387	0,040
162. Pl.Santes Creus	162	0,027	0,387	0,037
163. C.Esportiu Horta	163	0,028	0,387	0,039
164. Horta Centre-Pl.Eivissa	164	0,027	0,387	0,037
165. Horta-Valldaura	165	0,036	0,387	0,050
166. Cementeri Horta	166	0,035	0,387	0,048
167. Sant Genis	167	0,037	0,387	0,051
168. C.Sanitaria Vall Hebron	168	0,027	0,387	0,037
169. Montbau	169	0,051	0,387	0,071
170. A.Olimpica Vall Hebron	170	0,036	0,387	0,050
171. Teixonera	171	0,037	0,387	0,051
172. Torre Llobeta	172	0,043	0,616	0,070
173. Vilapiscina	173	0,027	0,616	0,044
174. C/Escocia	174	0,033	0,616	0,053
175. Pl.Soller	175	0,029	0,616	0,046
176. Can Drago	176	0,028	0,616	0,046
177. C/Alcudia	177	0,033	0,616	0,054
178. Calderon de la Barca	178	0,039	0,616	0,062
179. Turo de la Peira	179	0,045	0,616	0,073

<b>Nombre ZRP</b>	<b>ZRP</b>	<b><math>R_F</math></b>	<b><math>F</math></b>	<b><math>R_T</math></b>
180. Ramon Albo	180	0,025	0,616	0,041
181. Can Ensenya	181	0,028	0,616	0,045
182. Guineueta	182	0,048	0,616	0,078
183. Parc Guineueta	183	0,050	0,616	0,081
184. Prosperitat-Llucmajor	184	0,036	0,616	0,059
185. Verdum	185	0,042	0,616	0,069
186. Properitat-Via Julia	186	0,031	0,616	0,050
187. Properitat-Rio Janeiro	187	0,031	0,616	0,050
188. Properitat-Via Favencia	188	0,042	0,616	0,068
189. Trinitat Nova	189	0,054	0,616	0,087
190. Diposits Aigua	190	0,033	0,616	0,053
191. Roquetes	191	0,043	0,616	0,069
192. C/Mina de la Ciutat	192	0,038	0,616	0,061
193. Canyelles	193	0,038	0,616	0,061
194. Turo de Roquetes	194	0,026	0,616	0,042
195. Torre Baro	195	0,025	0,616	0,040
196. Ciutat Meridiana	196	0,068	0,616	0,110
197. Vallbona	197	0,025	0,616	0,040
198. C/Borafull	198	0,055	0,504	0,083
199. Navas	199	0,035	0,504	0,052
200. La Sagrera-Estacio	200	0,034	0,504	0,051
201. C/Berenguer de Palou	201	0,033	0,504	0,049
202. La Sagrera	202	0,032	0,504	0,048
203. Mercat Felip II	203	0,031	0,504	0,047
204. I.B.Alzina	204	0,032	0,504	0,048
205. Congres	205	0,052	0,504	0,078
206. Fabra i Coats	206	0,032	0,504	0,048
207. Sant Andreu	207	0,029	0,504	0,044
208. Mercat Sant Andreu	208	0,029	0,504	0,044
209. C/Servet	209	0,028	0,504	0,042
210. Pl.Mossen Clapes	210	0,039	0,504	0,058
211. Casa Bloc	211	0,037	0,504	0,055
212. Colorantes	212	0,040	0,504	0,060
213. Sant Andreu-C/Segre	213	0,026	0,504	0,039
214. CF Sant Andreu	214	0,026	0,504	0,039
215. Bon Pastor-Santander	215	0,067	0,504	0,101
216. Bon Pastor-Maquinista	216	0,064	0,504	0,096
217. Baro de Viver	217	0,044	0,504	0,066
218. Trinitat Vella	218	0,059	0,504	0,088
219. Fort Pius	219	0,067	0,659	0,112
220. Vila Olimpica	220	0,109	0,659	0,181
221. C/Sancho de Avila	221	0,041	0,659	0,068
222. Olivetti	222	0,072	0,659	0,119
223. Poblenou	223	0,175	0,659	0,291
224. Catalana	224	0,111	0,659	0,184

Nombre ZRP	ZRP	$R_F$	$F$	$R_T$
225. Can Felipa	225	0,122	0,659	0,203
226. C/Gran Via-Bilbao	226	0,118	0,659	0,196
227. Pl.Peru	227	0,048	0,659	0,079
228. C/Venezuela	228	0,038	0,659	0,063
229. Diagonal Mar	229	0,053	0,659	0,088
230. Besos-Diagonal	230	0,316	0,659	0,524
231. Besos-Mar	231	0,261	0,659	0,433
232. Besos	232	0,149	0,659	0,246
233. Besos-Paraguai	233	0,037	0,659	0,061
234. Parc del Clot	234	0,056	0,659	0,092
235. C/Arago-Independencia	235	0,058	0,659	0,095
236. Provenca-Independencia	236	0,058	0,659	0,097
237. Sant Josep Calasanz	237	0,040	0,659	0,066
238. Camp de l'Arpa Nord	238	0,036	0,659	0,059
239. Can Robacols	239	0,047	0,659	0,079
240. Clot-Meridiana	240	0,053	0,659	0,088
241. C/Provencals	241	0,032	0,659	0,053
242. Centre Civic Sant Marti	242	0,041	0,659	0,068
243. C.E.Jupiter	243	0,279	0,659	0,462
244. Parc Sant Marti	244	0,048	0,659	0,080
245. Poligon Sant Marti	245	0,183	0,659	0,303
246. Pl.la Palmera	246	0,054	0,659	0,089
247. La Pau	247	0,058	0,659	0,097
248. La Verneda-Santander	248	0,078	0,659	0,130

### F.3.2 Para una amenaza determinista

Tabla F.24. Ejemplos de algunos valores de los descriptores de riesgo físico

ZRP	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$	$X_{RF9}$
001	5,77	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
002	6,70	3	7	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
003	6,73	3	7	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
004	7,00	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
005	7,09	3	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
006	7,57	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
007	8,25	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
008	2,18	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
009	1,72	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
010	1,62	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
011	1,70	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
012	1,70	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
013	1,71	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0

ZRP	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$	$X_{RF9}$
014	1,64	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
015	1,68	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
016	1,66	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
017	1,72	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
018	0,78	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
019	1,58	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
020	2,21	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
021	7,70	2	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
022	4,92	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
023	8,40	2	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
024	7,87	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
025	5,74	6	12	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
026	7,50	4	8	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
027	8,28	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
028	7,12	5	10	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
029	7,97	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
030	5,37	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
031	1,62	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
032	2,29	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
033	3,17	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
034	1,68	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
035	1,65	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
036	1,72	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
037	1,69	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
038	1,92	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
039	1,44	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
040	1,42	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
041	1,56	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
042	1,56	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
043	1,49	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
044	1,42	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
045	1,35	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
046	1,30	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
047	1,45	2	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
048	1,17	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
049	1,44	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
050	1,43	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
051	1,45	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
052	1,33	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
053	1,08	2	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
054	1,09	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
055	0,46	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
056	0,54	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
057	1,51	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
058	1,45	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025

ZRP	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$	$X_{RF9}$
059	1,63	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
060	1,57	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
061	1,66	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
062	1,52	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
063	1,53	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
064	1,69	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
065	1,14	2	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
066	1,12	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
067	1,30	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,075
068	1,10	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
069	0,96	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
070	1,17	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
071	1,08	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
072	0,88	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
073	2,97	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
074	1,76	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
075	1,21	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
076	0,66	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,225
077	1,46	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
078	1,13	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
079	0,84	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
080	0,65	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
081	0,92	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
082	1,42	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
083	0,51	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
084	0,98	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
085	0,98	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
086	0,87	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
087	0,63	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
088	0,84	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
089	1,01	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
090	0,84	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
091	0,62	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
092	0,89	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
093	0,81	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
094	1,04	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
095	0,82	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
096	0,44	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
097	0,25	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
098	0,55	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
099	0,23	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
100	0,13	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
101	0,05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
102	0,24	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
103	0,62	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025

ZRP	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$	$X_{RF9}$
104	0,70	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
105	0,47	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
106	0,36	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
107	0,25	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
108	0,34	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
109	0,37	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
110	0,18	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
111	0,27	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
112	0,18	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
113	0,40	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
114	0,40	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
115	0,14	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
116	0,18	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
117	0,32	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
118	0,33	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
119	0,10	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
120	0,13	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
121	0,01	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
122	1,21	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
123	1,29	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
124	1,12	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
125	1,27	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
126	1,15	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
127	0,97	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
128	0,61	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
129	0,58	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
130	0,81	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
131	0,92	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
132	1,06	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
133	0,71	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
134	0,61	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
135	0,45	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
136	0,35	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
137	0,41	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
138	0,12	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
139	0,10	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
140	0,17	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
141	0,07	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
142	0,06	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
143	0,32	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
144	0,06	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
145	0,38	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
146	0,43	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
147	0,31	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
148	0,27	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0

ZRP	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$	$X_{RF9}$
149	0,32	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
150	0,29	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
151	0,07	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
152	0,31	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
153	0,15	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
154	0,06	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
155	0,07	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
156	0,09	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
157	0,46	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
158	0,23	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
159	0,20	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
160	0,44	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
161	0,26	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
162	0,18	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
163	0,23	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
164	0,18	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
165	0,15	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
166	0,03	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
167	0,19	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
168	0,01	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
169	0,58	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
170	0,09	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
171	0,18	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
172	0,59	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
173	0,21	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
174	0,31	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
175	0,22	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
176	0,12	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
177	0,36	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
178	0,47	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
179	0,52	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
180	0,05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
181	0,06	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
182	0,47	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
183	0,55	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
184	0,42	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
185	0,37	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
186	0,32	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
187	0,19	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
188	0,29	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,125
189	0,57	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,125
190	0,34	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
191	0,43	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
192	0,24	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
193	0,00	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1

ZRP	X <sub>RF1</sub>	X <sub>RF2</sub>	X <sub>RF3</sub>	X <sub>RF4</sub>	X <sub>RF5</sub>	X <sub>RF6</sub>	X <sub>RF7</sub>	X <sub>RF8</sub>	X <sub>RF9</sub>
194	0,06	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
195	0,00	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
196	0,12	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
197	0,00	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
198	1,01	2	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
199	0,35	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
200	0,45	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
201	0,58	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
202	0,30	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
203	0,08	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
204	0,35	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
205	0,83	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
206	0,26	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
207	0,17	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
208	0,17	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
209	0,10	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
210	0,12	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,125
211	0,11	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
212	0,19	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,1
213	0,11	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
214	0,12	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
215	1,89	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
216	1,70	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
217	0,04	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
218	0,21	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,325
219	1,39	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
220	2,33	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
221	1,47	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,075
222	1,91	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
223	3,24	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
224	2,35	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
225	2,78	1	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
226	2,68	2	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
227	1,51	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
228	0,94	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
229	0,77	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,225
230	5,08	6	14	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
231	4,25	4	8	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
232	3,18	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
233	1,19	2	3	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
234	0,86	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,075
235	0,95	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
236	1,00	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
237	0,76	1	2	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
238	0,50	0	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025

<b>ZRP</b>	<b><math>X_{RF1}</math></b>	<b><math>X_{RF2}</math></b>	<b><math>X_{RF3}</math></b>	<b><math>X_{RF4}</math></b>	<b><math>X_{RF5}</math></b>	<b><math>X_{RF6}</math></b>	<b><math>X_{RF7}</math></b>	<b><math>X_{RF8}</math></b>	<b><math>X_{RF9}</math></b>
239	0,73	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
240	0,86	1	1	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
241	0,83	2	4	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
242	1,09	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
243	4,23	7	15	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
244	1,44	3	7	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
245	3,23	6	13	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
246	1,78	4	8	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
247	1,65	4	9	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
248	2,34	4	9	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0

Tabla F.25. Factores e índice de riesgo físico,  $R_F$ , en Barcelona

ZRP	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$F_{RF9}$	$R_F$
001	0,166	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,075
002	0,224	0,0072	0,0174	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,091
003	0,226	0,0072	0,0174	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,092
004	0,245	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,20	0,115
005	0,251	0,0072	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,20	0,117
006	0,287	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,108
007	0,34	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,20	0,142
008	0,0238	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,032
009	0,0148	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,029
010	0,0131	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,029
011	0,0144	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,029
012	0,0144	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,029
013	0,0146	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,029
014	0,0134	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,029
015	0,0141	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,029
016	0,0138	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,029
017	0,0148	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,029
018	0,00304	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,026
019	0,0125	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,029
020	0,0244	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,032
021	0,296	0,0032	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,110
022	0,121	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,060
023	0,353	0,0032	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,126
024	0,31	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,20	0,134
025	0,165	0,0288	0,0512	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,20	0,099
026	0,281	0,0128	0,0228	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,108
027	0,343	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,123

ZRP	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$F_{RF9}$	$R_F$
028	0,253	0,02	0,0356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,102
029	0,318	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,117
030	0,144	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,066
031	0,0131	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,029
032	0,0262	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,033
033	0,0502	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,039
034	0,0141	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,029
035	0,0136	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,029
036	0,0148	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,029
037	0,0143	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,029
038	0,0184	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,031
039	0,0104	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,031
040	0,0101	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,031
041	0,0122	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,031
042	0,0122	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,033
043	0,0111	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,031
044	0,0101	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,033
045	0,00911	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,033
046	0,00845	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,030
047	0,0105	0,0032	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,031
048	0,00684	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,028
049	0,0104	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,031
050	0,0102	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,030
051	0,0105	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,031
052	0,00884	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,028
053	0,00583	0,0032	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,027
054	0,00594	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,027
055	0,00106	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025

ZRP	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$F_{RF9}$	$R_F$
056	0,00146	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,028
057	0,0114	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,031
058	0,0105	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,031
059	0,0133	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,031
060	0,0123	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,031
061	0,0138	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,034
062	0,0116	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,033
063	0,0117	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,033
064	0,0143	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,032
065	0,0065	0,0032	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,030
066	0,00627	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,032
067	0,00845	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,08	0,035
068	0,00605	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,032
069	0,00461	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,026
070	0,00684	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,030
071	0,00583	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,027
072	0,00387	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,026
073	0,0441	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,039
074	0,0155	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,029
075	0,00732	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,027
076	0,00218	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,23	0,047
077	0,0107	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,20	0,048
078	0,00638	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,030
079	0,00353	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,029
080	0,00211	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,028
081	0,00423	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,029
082	0,0101	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,031
083	0,0013	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025

ZRP	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$F_{RF9}$	$R_F$
084	0,0048	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,026
085	0,0048	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,026
086	0,00378	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,026
087	0,00198	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,026
088	0,00353	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,026
089	0,0051	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,027
090	0,00353	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,026
091	0,00192	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,028
092	0,00396	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,029
093	0,00328	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,026
094	0,00541	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,027
095	0,00336	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,026
096	0,000968	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
097	0,000313	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,027
098	0,00151	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,028
099	0,000264	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,027
100	8,45E-05	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,027
101	1,20E-05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,10	0,035
102	0,000288	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,027
103	0,00192	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,028
104	0,00245	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,028
105	0,0011	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
106	0,000648	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
107	0,000313	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
108	0,000578	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
109	0,000684	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
110	0,000162	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
111	0,000365	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025

ZRP	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$F_{RF9}$	$R_F$
112	0,000162	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,10	0,035
113	0,0008	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
114	0,0008	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
115	9,80E-05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
116	0,000162	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
117	0,000512	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
118	0,000545	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
119	5,00E-05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,10	0,035
120	8,45E-05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,10	0,035
121	5,00E-07	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
122	0,00732	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,030
123	0,00832	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,030
124	0,00627	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,027
125	0,00806	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,027
126	0,00661	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,027
127	0,0047	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,027
128	0,00186	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,026
129	0,00168	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,026
130	0,00328	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,026
131	0,00423	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,026
132	0,00562	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,027
133	0,00252	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,026
134	0,00186	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,026
135	0,00101	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
136	0,000612	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
137	0,00084	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
138	7,20E-05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
139	5,00E-05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025

ZRP	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$F_{RF9}$	$R_F$
140	0,000145	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
141	2,45E-05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
142	1,80E-05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
143	0,000512	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,10	0,035
144	1,80E-05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,10	0,035
145	0,000722	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
146	0,000924	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
147	0,00048	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
148	0,000365	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
149	0,000512	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
150	0,00042	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
151	2,45E-05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
152	0,00048	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
153	0,000113	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
154	1,80E-05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
155	2,46E-05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
156	4,05E-05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
157	0,00106	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
158	0,000264	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
159	0,0002	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
160	0,000968	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
161	0,00338	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,026
162	0,000162	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
163	0,000264	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
164	0,000162	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
165	0,000113	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,10	0,035
166	4,50E-06	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,10	0,035
167	0,000181	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,10	0,035

ZRP	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$F_{RF9}$	$R_F$
168	5,00E-07	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
169	0,00168	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,10	0,035
170	4,05E-05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,10	0,035
171	0,000162	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,10	0,035
172	0,00174	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
173	0,00022	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
174	0,00048	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,027
175	0,000242	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
176	7,20E-05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,027
177	0,000648	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
178	0,0011	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
179	0,00135	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
180	1,25E-05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
181	1,80E-05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
182	0,0011	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,10	0,035
183	0,00151	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,10	0,035
184	0,000882	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
185	0,000684	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,10	0,035
186	0,000512	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
187	0,000181	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,027
188	0,00042	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,13	0,037
189	0,00162	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,13	0,037
190	0,000578	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,028
191	0,000924	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,10	0,035
192	0,000288	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,10	0,035
193	0	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,10	0,035
194	1,80E-05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
195	0	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025

ZRP	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$F_{RF9}$	$R_F$
196	7,20E-05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
197	0	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
198	0,0051	0,0032	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,029
199	0,000612	0	0,00356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,028
200	0,00101	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,028
201	0,00168	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,026
202	0,00045	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,027
203	3,20E-05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,027
204	0,000612	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
205	0,00344	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,026
206	0,000338	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,027
207	0,000145	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,027
208	0,000145	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,027
209	5,00E-05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,027
210	7,20E-05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,13	0,037
211	6,05E-05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,10	0,035
212	0,000181	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,10	0,035
213	6,05E-05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
214	7,20E-05	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,025
215	0,0179	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,031
216	0,0144	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,20	0,050
217	8,00E-06	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,20	0,044
218	0,00022	0	0	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,33	0,056
219	0,00966	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,031
220	0,0271	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,20	0,052
221	0,0108	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,08	0,035
222	0,0182	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,036
223	0,0525	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,20	0,060

ZRP	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$F_{RF9}$	$R_F$
224	0,0276	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,20	0,052
225	0,0386	0,0008	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,039
226	0,0359	0,0032	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,041
227	0,0114	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,031
228	0,00442	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,029
229	0,00296	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,23	0,047
230	0,129	0,0288	0,0697	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,071
231	0,0903	0,0128	0,0228	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,20	0,073
232	0,0506	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,043
233	0,00708	0,0032	0,0032	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,030
234	0,0037	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,08	0,033
235	0,00451	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,031
236	0,005	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,027
237	0,00289	0,0008	0,00142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,026
238	0,00125	0	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,028
239	0,00226	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,031
240	0,0037	0,0008	0,000356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,031
241	0,00344	0,0032	0,00569	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,027
242	0,00594	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,030
243	0,0895	0,0392	0,08	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,064
244	0,0104	0,0072	0,0174	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,030
245	0,0522	0,0288	0,0601	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,048
246	0,0158	0,0128	0,0228	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,035
247	0,0136	0,0128	0,0288	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,03	0,035
248	0,0274	0,0128	0,0288	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,00	0,037

**Tabla F.26. Resultados de  $R_F$ ,  $F$  y  $R_T$ , para las ZRP de Barcelona en el caso de un sismo determinista**

<b>Nombre ZRP</b>	<b>ZRP</b>	<b><math>R_F</math></b>	<b><math>F</math></b>	<b><math>R_T</math></b>
1. Sant Sebastia	001	0,075	0,444	0,109
2. C/Cervera-Aixada	002	0,091	0,444	0,131
3. C/Churruca	003	0,092	0,444	0,132
4. Barceloneta Centre	004	0,115	0,444	0,166
5. Hospital del Mar	005	0,117	0,444	0,169
6. Ciutadella-Born	006	0,108	0,444	0,155
7. Llotja de Mar	007	0,142	0,444	0,205
8. Santa Maria del Mar	008	0,032	0,444	0,046
9. Museo Picasso	009	0,029	0,444	0,042
10. Casc Antic-Jutjats	010	0,029	0,444	0,042
11. Mercat Santa Caterina	011	0,029	0,444	0,042
12. Av.Fransesc Cambó	012	0,029	0,444	0,042
13. Sant Pere	013	0,029	0,444	0,042
14. Palau Musica	014	0,029	0,444	0,042
15. C/Condal	015	0,029	0,444	0,042
16. Pl.Villa de Madrid	016	0,029	0,444	0,042
17. C/Petritxol	017	0,029	0,444	0,042
18. Catedral	018	0,026	0,444	0,037
19. Palau Generalitat	019	0,029	0,444	0,041
20. C/Boqueria	020	0,032	0,444	0,046
21. Pl.Reial-Ajuntament	021	0,110	0,444	0,159
22. Correus	022	0,060	0,444	0,086
23. Pl.La Mercú	023	0,126	0,444	0,182
24. Pl.Medinaceli	024	0,134	0,444	0,194
25. Drassanes	025	0,099	0,444	0,142
26. Palau G <sup>3</sup> ell	026	0,108	0,444	0,156
27. Liceu	027	0,123	0,444	0,178
28. Sant Pau del Camp	028	0,102	0,444	0,148
29. Pl.Folch i Torres	029	0,117	0,444	0,168
30. Sant Agustí	030	0,066	0,444	0,096
31. Mercat Boqueria	031	0,029	0,444	0,041
32. C/Riera Baixa	032	0,033	0,444	0,047
33. C/La Cera	033	0,039	0,444	0,057
34. C/Rierar Alta	034	0,029	0,444	0,042
35. Casa Caritat	035	0,029	0,444	0,042
36. Academia Ciencies	036	0,029	0,444	0,042
37. C/Tallers-Pelai	037	0,029	0,444	0,042
38. Mercat San Antoni	038	0,031	0,280	0,039
39. Av.Mistral	039	0,031	0,280	0,039
40. C/Sepulveda-Viladomat	040	0,031	0,280	0,039
41. C/Sepulveda-Casanova	041	0,031	0,280	0,040
42. Universitat	042	0,033	0,280	0,043
43. C/Casanova-Diputacio	043	0,031	0,280	0,039

<b>Nombre ZRP</b>	<b>ZRP</b>	<b>R<sub>F</sub></b>	<b>F</b>	<b>R<sub>T</sub></b>
44. Casa Golferichs	044	0,033	0,280	0,042
45. Parc Excorsador	045	0,033	0,280	0,042
46. C/Llanca	046	0,030	0,280	0,039
47. Av.Roma-Arago	047	0,031	0,280	0,040
48. Telefonica	048	0,028	0,280	0,036
49. Mercat Ninot	049	0,031	0,280	0,039
50. C/Aribau-Mallorca	050	0,030	0,280	0,039
51. C/Aribau-Corsega	051	0,031	0,280	0,039
52. Hospital Clinic	052	0,028	0,280	0,035
53. Escola Industrial	053	0,027	0,280	0,035
54. Preso Model	054	0,027	0,280	0,035
55. C/Londres-Borrell	055	0,025	0,280	0,032
56. C/Londres-Casanova	056	0,028	0,280	0,036
57. La Pedrera	057	0,031	0,280	0,039
58. Casa de les Punxes	058	0,031	0,280	0,039
59. Mercat Concepcio	059	0,031	0,280	0,040
60. Pg.Gracia Central	060	0,031	0,280	0,040
61. Illa Discordia	061	0,034	0,280	0,043
62. Torre de les Aig <sup>3</sup> es	062	0,033	0,280	0,043
63. Tetuan Nord	063	0,033	0,280	0,043
64. Pl.Catalunya-Rondes	064	0,032	0,280	0,040
65. Estacio del nord	065	0,030	0,280	0,038
66. Auditori	066	0,032	0,280	0,041
67. Pl.Monumental	067	0,035	0,280	0,045
68. Pl.Hispanitat	068	0,032	0,280	0,041
69. Mercat Sgda.Familia	069	0,026	0,280	0,034
70. Sagrada Familia	070	0,030	0,280	0,038
71. Jardins Industria	071	0,027	0,280	0,035
72. Creu Roja	072	0,026	0,280	0,033
73. Tres Xemeneies	073	0,039	0,256	0,049
74. Poble Sec-Satalia	074	0,029	0,256	0,037
75. Mercat de les Flors	075	0,027	0,256	0,034
76. Montjuic	076	0,047	0,256	0,059
77. Poligon de Zona Franca	077	0,048	0,256	0,061
78. Passeig Zona Franca-Oest	078	0,030	0,256	0,037
79. Passeig Zona Franca-Est	079	0,029	0,256	0,036
80. Font de la Guatlla	080	0,028	0,256	0,035
81. Holtalfrancs	081	0,029	0,256	0,036
82. Magoria-Can Batllo	082	0,031	0,256	0,038
83. Sants-Mercat Nou	083	0,025	0,256	0,032
84. Cotxeres de Sants	084	0,026	0,256	0,033
85. Espanya Industrial	085	0,026	0,256	0,033
86. Pl.Centre Sud	086	0,026	0,256	0,033
87. Can Mantega	087	0,026	0,256	0,032
88. Mercat Sants	088	0,026	0,256	0,033

<b>Nombre ZRP</b>	<b>ZRP</b>	<b><math>R_F</math></b>	<b><math>F</math></b>	<b><math>R_T</math></b>
89. C/Sugranyes	089	0,027	0,256	0,033
90. C/Roger	090	0,026	0,256	0,033
91. Torre Melina-Collblanc	091	0,028	0,227	0,034
92. FC Barcelona	092	0,029	0,227	0,036
93. Jardins Bacardi	093	0,026	0,227	0,032
94. Sol de Baix	094	0,027	0,227	0,033
95. Pl.Centre Nord	095	0,026	0,227	0,032
96. Les Infantes	096	0,025	0,227	0,031
97. C/Loreto	097	0,027	0,227	0,034
98. Les Corts-Centre	098	0,028	0,227	0,034
99. Santa Gemma	099	0,027	0,227	0,034
100. Palau Reial	100	0,027	0,227	0,034
101. Pedralbes	101	0,035	0,227	0,042
102. RCD Espa±ol	102	0,027	0,178	0,032
103. C/Sagues	103	0,028	0,178	0,033
104. C/Tuset	104	0,028	0,178	0,033
105. Jardins Moragas	105	0,025	0,178	0,030
106. Tur¾ Parc	106	0,025	0,178	0,030
107. Pl. Adriano	107	0,025	0,178	0,030
108. Parc De Monterols	108	0,025	0,178	0,030
109. C/Saragossa	109	0,025	0,178	0,030
110. Parc Turo del Putget	110	0,025	0,178	0,029
111. C.T.Barcino	111	0,025	0,178	0,030
112. Av.Tividabo	112	0,035	0,178	0,041
113. C/Sant Gervasi	113	0,025	0,178	0,030
114. C/Mandri	114	0,025	0,178	0,030
115. Tres Torres	115	0,025	0,178	0,029
116. Salesians	116	0,025	0,178	0,030
117. Quinta Amelia	117	0,025	0,178	0,030
118. Sarria Centre	118	0,025	0,178	0,030
119. Can Caralleu	119	0,035	0,178	0,041
120. Institut Quimic	120	0,035	0,178	0,041
121. Vallvidrera	121	0,025	0,178	0,029
122. Riera Sant Miquel	122	0,030	0,295	0,038
123. Pl.Rius i Taulet	123	0,030	0,295	0,039
124. C/Libertat	124	0,027	0,295	0,035
125. C/Quevedo	125	0,027	0,295	0,035
126. C/D'en Grassot	126	0,027	0,295	0,035
127. La Sedeta	127	0,027	0,295	0,035
128. C/Romana	128	0,026	0,295	0,033
129. C/Legalitat	129	0,026	0,295	0,033
130. Pl.Virreina-Travessera	130	0,026	0,295	0,034
131. Pl.Diamant	131	0,026	0,295	0,034
132. Pl.Sol	132	0,027	0,295	0,034
133. Rambla del Prat	133	0,026	0,295	0,033

<b>Nombre ZRP</b>	<b>ZRP</b>	<b>R<sub>F</sub></b>	<b>F</b>	<b>R<sub>T</sub></b>
134. Fontana	134	0,026	0,295	0,033
135. Pl.Lesseps-Sud	135	0,025	0,295	0,033
136. Torrent de l'Olla-Trav.Dalt	136	0,025	0,295	0,033
137. Pl.Nord-Pl.Rovira	137	0,025	0,295	0,033
138. C.F.Europa	138	0,025	0,295	0,032
139. Parc Guell	139	0,025	0,295	0,032
140. Baixada de la Gloria	140	0,025	0,295	0,032
141. C/Mora d'Ebre	141	0,025	0,295	0,032
142. La Creueta del Coll	142	0,025	0,295	0,032
143. Hospital Militar	143	0,035	0,295	0,045
144. Penitents N.	144	0,035	0,295	0,045
145. Quarter Girona	145	0,025	0,387	0,035
146. La Alianca	146	0,025	0,387	0,035
147. Hospital Sant Pau	147	0,025	0,387	0,035
148. Pl.Guinardo	148	0,025	0,387	0,035
149. Mercat Guinardo	149	0,025	0,387	0,035
150. C/Mascaro	150	0,025	0,387	0,035
151. Parc del Guinardo	151	0,025	0,387	0,035
152. Parc de les Aig <sup>3</sup> es	152	0,025	0,387	0,035
153. Can Baro	153	0,025	0,387	0,035
154. C/Font d'en Fargas	154	0,025	0,387	0,035
155. C/Alt Pedrell	155	0,025	0,387	0,035
156. Can Pujolet	156	0,025	0,387	0,035
157. Mercat Carmel	157	0,025	0,387	0,035
158. C/Segimon	158	0,025	0,387	0,035
159. Muntanya del Carmel	159	0,025	0,387	0,035
160. Pl.Pastrana	160	0,025	0,387	0,035
161. Mercat Horta	161	0,026	0,387	0,036
162. Pl.Santes Creus	162	0,025	0,387	0,035
163. C.Esportiu Horta	163	0,025	0,387	0,035
164. Horta Centre-Pl.Eivissa	164	0,025	0,387	0,035
165. Horta-Valldaura	165	0,035	0,387	0,048
166. Cementeri Horta	166	0,035	0,387	0,048
167. Sant Genis	167	0,035	0,387	0,048
168. C.Sanitaria Vall Hebron	168	0,025	0,387	0,035
169. Montbau	169	0,035	0,387	0,049
170. A.Olimpica Vall Hebron	170	0,035	0,387	0,048
171. Teixonera	171	0,035	0,387	0,048
172. Torre Llobeta	172	0,025	0,616	0,041
173. Vilapiscina	173	0,025	0,616	0,040
174. C/Escocia	174	0,027	0,616	0,044
175. Pl.Soller	175	0,025	0,616	0,041
176. Can Drago	176	0,027	0,616	0,044
177. C/Alcudia	177	0,025	0,616	0,041
178. Calderon de la Barca	178	0,025	0,616	0,041

<b>Nombre ZRP</b>	<b>ZRP</b>	<b><math>R_F</math></b>	<b><math>F</math></b>	<b><math>R_T</math></b>
179. Turo de la Peira	179	0,025	0,616	0,041
180. Ramon Albo	180	0,025	0,616	0,040
181. Can Ensenya	181	0,025	0,616	0,040
182. Guineueta	182	0,035	0,616	0,056
183. Parc Guineueta	183	0,035	0,616	0,057
184. Prosperitat-Llucmajor	184	0,025	0,616	0,041
185. Verdum	185	0,035	0,616	0,056
186. Properitat-Via Julia	186	0,025	0,616	0,041
187. Properitat-Rio Janeiro	187	0,027	0,616	0,044
188. Properitat-Via Favencia	188	0,037	0,616	0,060
189. Trinitat Nova	189	0,037	0,616	0,060
190. Diposits Aigua	190	0,028	0,616	0,044
191. Roquetes	191	0,035	0,616	0,056
192. C/Mina de la Ciutat	192	0,035	0,616	0,056
193. Canyelles	193	0,035	0,616	0,056
194. Turo de Roquetes	194	0,025	0,616	0,040
195. Torre Baro	195	0,025	0,616	0,040
196. Ciutat Meridiana	196	0,025	0,616	0,040
197. Vallbona	197	0,025	0,616	0,040
198. C/Borafull	198	0,029	0,504	0,044
199. Navas	199	0,028	0,504	0,042
200. La Sagrera-Estacio	200	0,028	0,504	0,042
201. C/Berenguer de Palou	201	0,026	0,504	0,039
202. La Sagrera	202	0,027	0,504	0,041
203. Mercat Felip II	203	0,027	0,504	0,041
204. I.B.Alzina	204	0,025	0,504	0,038
205. Congres	205	0,026	0,504	0,039
206. Fabra i Coats	206	0,027	0,504	0,041
207. Sant Andreu	207	0,027	0,504	0,041
208. Mercat Sant Andreu	208	0,027	0,504	0,041
209. C/Servet	209	0,027	0,504	0,041
210. Pl.Mossen Clapes	210	0,037	0,504	0,056
211. Casa Bloc	211	0,035	0,504	0,052
212. Colorantes	212	0,035	0,504	0,052
213. Sant Andreu-C/Segre	213	0,025	0,504	0,038
214. CF Sant Andreu	214	0,025	0,504	0,038
215. Bon Pastor-Santander	215	0,031	0,504	0,046
216. Bon Pastor-Maquinista	216	0,050	0,504	0,075
217. Baro de Viver	217	0,044	0,504	0,066
218. Trinitat Vella	218	0,056	0,504	0,084
219. Fort Pius	219	0,031	0,659	0,052
220. Vila Olimpica	220	0,052	0,659	0,087
221. C/Sancho de Avila	221	0,035	0,659	0,059
222. Olivetti	222	0,036	0,659	0,059
223. Poblenou	223	0,060	0,659	0,099

<b>Nombre ZRP</b>	<b>ZRP</b>	<b><math>R_F</math></b>	<b><math>F</math></b>	<b><math>R_T</math></b>
224. Catalana	224	0,052	0,659	0,087
225. Can Felipa	225	0,039	0,659	0,064
226. C/Gran Via-Bilbao	226	0,041	0,659	0,067
227. Pl.Peru	227	0,031	0,659	0,052
228. C/Venezuela	228	0,029	0,659	0,048
229. Diagonal Mar	229	0,047	0,659	0,079
230. Besos-Diagonal	230	0,071	0,659	0,118
231. Besos-Mar	231	0,073	0,659	0,121
232. Besos	232	0,043	0,659	0,071
233. Besos-Paraguai	233	0,030	0,659	0,050
234. Parc del Clot	234	0,033	0,659	0,055
235. C/Arago-Independencia	235	0,031	0,659	0,052
236. Provenca-Independencia	236	0,027	0,659	0,044
237. Sant Josep Calasanz	237	0,026	0,659	0,043
238. Camp de l'Arpa Nord	238	0,028	0,659	0,046
239. Can Robacols	239	0,031	0,659	0,051
240. Clot-Meridiana	240	0,031	0,659	0,051
241. C/Provincals	241	0,027	0,659	0,044
242. Centre Civic Sant Marti	242	0,030	0,659	0,050
243. C.E.Jupiter	243	0,064	0,659	0,106
244. Parc Sant Marti	244	0,030	0,659	0,050
245. Poligon Sant Marti	245	0,048	0,659	0,080
246. Pl.la Palmera	246	0,035	0,659	0,058
247. La Pau	247	0,035	0,659	0,058
248. La Verneda-Santander	248	0,037	0,659	0,061