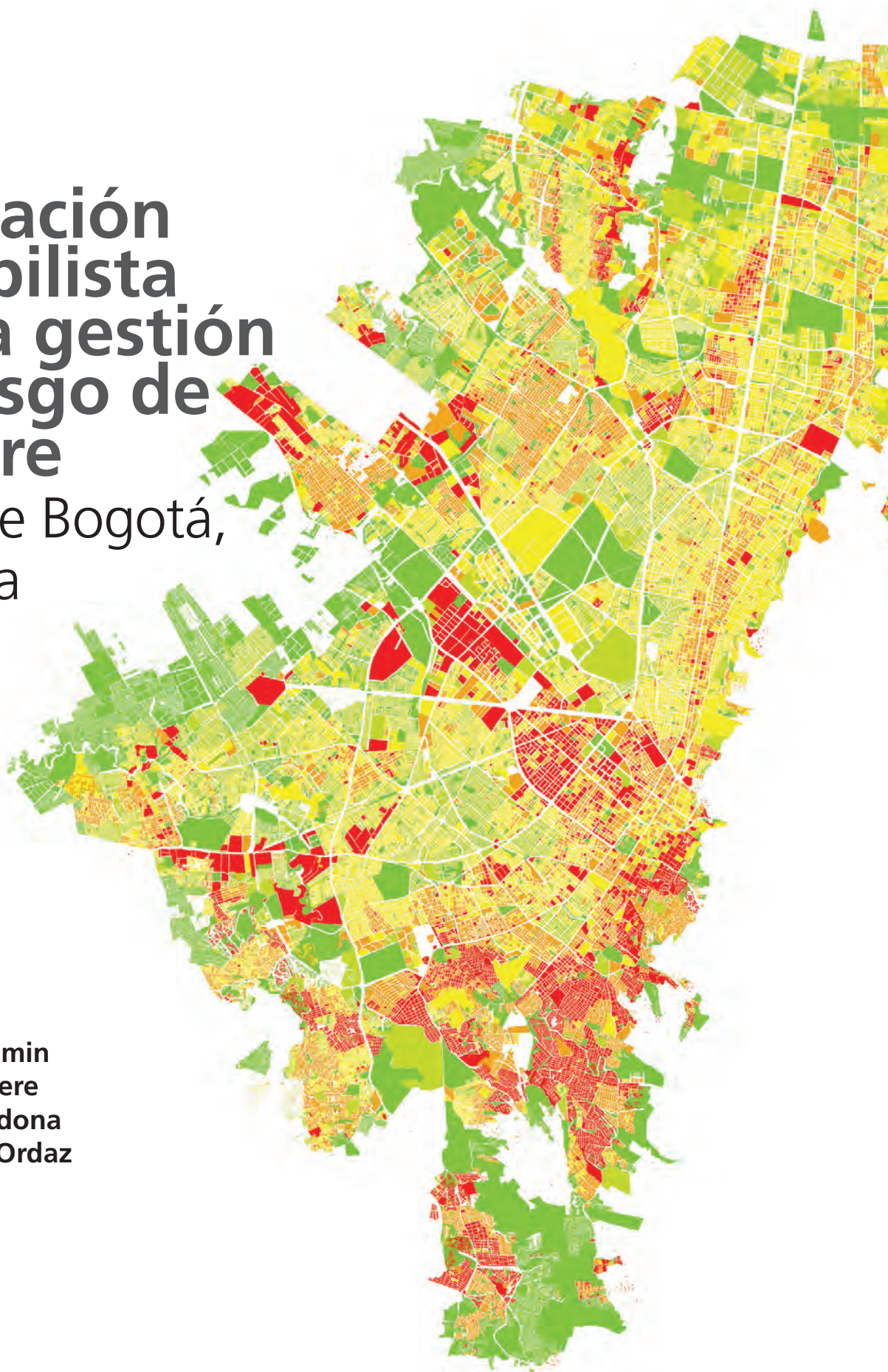


Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre

El caso de Bogotá,
Colombia

Autores

Luis Eduardo Yamin
Francis Ghesquiere
Omar Darío Cardona
Mario Gustavo Ordaz



Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre

El caso de Bogotá, Colombia

Autores

Luis Eduardo Yamin

Profesor asociado, Universidad de los Andes
Bogotá, Colombia

Francis Ghesquiere

Gerente Grupo de Práctica, Gestión del Riesgo de Desastres,
Banco Mundial, y director del Fondo Mundial para la Reducción
y Recuperación de los Desastres (GFDRR, por su sigla en inglés)
Washington, D. C., Estados Unidos

Omar Darío Cardona

Profesor asociado, Universidad Nacional de Colombia
Manizales, Colombia

Mario Gustavo Ordaz

Profesor titular, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional
Autónoma de México, México D. F., México



BANCO MUNDIAL



**Universidad de
los Andes**

Colombia

Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre

El caso de Bogotá, Colombia

Coautores

Gabriel Bernal

Asistente de investigación, Cimne, Universidad Politécnica de Cataluña

Miguel Mora

Asistente de investigación, Cimne, Universidad Politécnica de Cataluña

César Velásquez

Asistente de investigación, Cimne, Universidad Politécnica de Cataluña

Fernando Ramírez

Especialista sénior, gestión del riesgo de desastres, Región de América Latina y el Caribe, Banco Mundial

Martha Liliana Carreño

Investigadora, Cimne, profesora, Universidad Politécnica de Cataluña

Alex Barbat

Investigador, Cimne, profesor catedrático, Universidad Politécnica de Cataluña

Mabel Cristina Marulanda

Asistente de investigación, Cimne, Universidad Politécnica de Cataluña



BANCO MUNDIAL



Universidad de los Andes

Colombia

Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre. El caso de Bogotá, Colombia

Copyright © 2013 por Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento / Banco Mundial
Región de América Latina y el Caribe
1818 H Street, N.W. Washington, D.C. 20433, U. S. A.
www.worldbank.org/lcrdrm

Todos los derechos reservados
Primera edición en español: abril de 2013

ISBN: 978-958-695-840-0

El Banco Mundial no acepta responsabilidad alguna por cualquier consecuencia derivada de su uso o interpretación. El Banco Mundial no garantiza la exactitud de la información incluida en esta publicación y no acepta responsabilidad alguna por cualquier consecuencia derivada de su uso o interpretación.

Los límites, los colores, las denominaciones y demás información contenida en los mapas de este libro no presuponen, por parte del Grupo del Banco Mundial, juicio alguno sobre la situación legal de cualquier territorio, ni el reconocimiento o aceptación de dichos límites.

Los resultados, interpretaciones y conclusiones expresadas en este libro son en su totalidad de los autores y no deben ser atribuidas en forma alguna al Banco Mundial, a sus organizaciones aliadas o a los miembros de su Directorio Ejecutivo ni a los países que representan.

Derechos y permisos

El material de esta publicación está protegido por el derecho de propiedad intelectual. Las solicitudes de autorización para reproducir partes de esta publicación y cualquier otra pregunta sobre los derechos y licencias deben ser dirigidas a la Oficina de Publicaciones del Banco Mundial, The World Bank, 1818 H Street N. W., Washington, D. C. 20433, U. S. A.; fax: 202-522-2422; e-mail: pubrights@worldbank.org.

Primera edición

Impreso y hecho en Bogotá, Colombia, 2013
Banco Mundial

Edición y corrección de estilo: Marcela Giraldo
Diseño y diagramación: Miki Fernández/ULTRAdesigns, Inc.
Fotos: René Ospitia
Impresión: Periódicas, S. A. S.

Yamin, L. E.; Ghesquiere, F.; Cardona, O. D.; Ordaz, M. G. 2013. *Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre: el caso de Bogotá, Colombia*. Banco Mundial, Universidad de los Andes.

Contenido

Presentación	ix
Agradecimientos y reconocimientos	xi
Carta del Fondo de Prevención y Atención de Emergencias (Fopae)	xiii
Acerca de los autores	xiv
Acerca de los coautores	xvi
Siglas	xix

Introducción

Gestión del riesgo: visión integral	1
El desarrollo y la gestión del riesgo de desastres	3
Entender el riesgo y la gestión del riesgo	3
Modelos probabilistas del riesgo	5
La gestión del riesgo y la modelación probabilista del riesgo en Bogotá	9
Alcance y contenido	10
Referencias bibliográficas	13

Capítulo 1

Evaluación del riesgo	15
El riesgo derivado de los eventos naturales	17
Desagregación y representación del riesgo	17
Evaluación del riesgo	17
Evaluación y visualización del riesgo	19
Incertidumbre y precauciones en la estimación del riesgo	26
Referencias bibliográficas	26

Capítulo 2

Evaluación de las amenazas	27
Marco conceptual	29
Análisis de la amenaza sísmica	29
Definición del área de influencia	29
Análisis de los eventos históricos	29
Selección del parámetro de la intensidad sísmica para el análisis	30
Caracterización de las fuentes sismogénicas	31
Representación estocástica de la amenaza	32
Representación de la amenaza en términos probabilistas	33

Microzonificación sísmica	34
Amenaza sísmica para el diseño de estructuras	34
Análisis de la amenaza por inundación	35
Definición del área de influencia	38
Análisis geomorfológico	39
Caracterización hidrológica de la cuenca	39
Tormentas estocásticas	40
Modelos hidrológicos	40
Modelos hidráulicos	40
Representación de la amenaza	40
Mapas de amenaza de inundación	40
Análisis de la amenaza por deslizamientos	43
Referencias bibliográficas	46

Capítulo 3

Evaluación de la exposición y vulnerabilidad de componentes	47
Aspectos conceptuales	49
Exposición física urbana	49
Caracterización de la infraestructura	55
Exposición humana	56
Vulnerabilidad física y humana	58
Referencias bibliográficas	60

Capítulo 4

Incorporación de los análisis de amenaza y riesgo en la planificación territorial	61
La planificación territorial y el riesgo	63
Políticas e instrumentos de planificación territorial y posibilidades de incorporar los criterios de la reducción del riesgo	63
Elementos relevantes de la amenaza o del riesgo para la toma de decisiones en planificación y gestión territorial	66
Aplicación del análisis probabilista de las amenazas y del riesgo en Bogotá	66
Amenaza sísmica	67
Amenaza por inundación	68
Amenaza por deslizamiento	68
Referencias bibliográficas	71

Capítulo 5

Indicadores de amenaza, exposición y riesgo urbano	73
Aspectos conceptuales	75
Indicadores de exposición urbana	75
Unidades geográficas de análisis	75

Indicadores de exposición física	76
Indicadores de exposición económica	77
Indicadores de exposición de población	77
Indicadores de amenaza y riesgo físico	78
Estimación holística del riesgo	84
Índice de la Gestión del Riesgo (IGR)	85
Referencias bibliográficas	90

Capítulo 6

Relaciones beneficio-costo de las obras de reducción del riesgo	91
Aspectos conceptuales	93
Estimación de la relación beneficio-costo (B/C)	93
Definición de las prioridades para las obras de rehabilitación, reconstrucción y refuerzo, por sectores y componentes	96
Referencias bibliográficas	101

Capítulo 7

Escenarios de daños y pérdidas para orientar la respuesta ante las emergencias	103
Aspectos conceptuales	105
Evaluación del riesgo por escenarios	105
Aplicaciones principales	110
Escenarios de los efectos sobre la población	110
Planes de respuesta ante las emergencias	114
Análisis de capacidad sectorial con relación al impacto sobre la población	115
Definición de tipos de rescates según el nivel del daño probable en estructuras	115
Simulaciones y simulacros	116
Vulnerabilidad funcional urbana ante eventos con capacidad destructiva	117
Diseño e implementación de sistemas de alerta temprana	119
Referencias bibliográficas	121

Capítulo 8

Sistemas de alerta y estimación inmediata de los impactos luego de un evento	123
Planteamiento conceptual	125
Elementos básicos para construir los sistemas de alerta y de estimación inmediata de impactos	125
Metodología para la evaluación del riesgo	126
Aplicaciones	127
Referencias bibliográficas	136

Capítulo 9

Análisis de exposición fiscal y protección financiera 137

La modelación probabilista del riesgo de desastre	139
Perfil de exposición fiscal	139
Estrategia de protección financiera para los gobiernos	142
Reducir la exposición financiera del Estado	142
Protección financiera a través de seguros y reaseguros	143
Estrategia de protección financiera contra desastres	143
Estudio para el aseguramiento del sector de vivienda y protección de los estratos socioeconómicos de bajos ingresos en Bogotá	148
Promover el aseguramiento de la infraestructura de líneas vitales en Bogotá	150
Terminología sobre seguros y esquemas de retención y transferencia del riesgo	151
Referencias bibliográficas	153

CAPRA 156

Presentación

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

Se exponen también diversos casos de aplicación de la evaluación probabilista del riesgo: alternativas de visualización de parámetros e indicadores de amenaza, exposición y riesgo; indicadores de riesgo y de gestión del riesgo; el riesgo en la planificación urbana y territorial, el análisis beneficio-costos de las obras de prevención y mitigación, escenarios de daños y de efectos con fines de planificación de la atención de las emergencias, sistemas de alerta y de estimación inmediata de daños después de un desastre y análisis del riesgo desde el punto de vista financiero con fines de protección, financiamiento, retención y transferencia. Estas aplicaciones se ilustran con casos reales que se han desarrollado durante los últimos quince años con la participación de los autores en proyectos realizados en Bogotá (Colombia).

El objetivo de esta publicación es ilustrar una serie de casos reales de análisis del riesgo que derivan en acciones de la gestión del riesgo de desastre, con el fin de que la comunidad técnica relacionada con el tema, al igual que funcionarios públicos y tomadores de decisiones, conozcan los beneficios de disponer de información relevante apropiada y con resultados interpretados de análisis del riesgo realizados desde una perspectiva probabilista. El principal propósito de este libro, por tanto, no es entrar en los detalles técnicos ni en los modelos matemáticos o actuariales utilizados, sino plantear un enfoque conceptual de las diferentes aplicaciones e ilustrar los resultados y aplicaciones realizados en un centro urbano con fines de gestión.

Finalmente, se espera que esta publicación contribuya a incentivar el uso de estas metodologías de evaluación en los países en desarrollo, con miras a generar una mayor conciencia acerca del riesgo de desastre, teniendo como base una orientación técnico-científica que permita la valoración detallada de las amenazas, la vulnerabilidad y las posibles consecuencias de aquel.

De manera adicional, se espera ilustrar cómo, a partir de evaluaciones de riesgo basadas en ejemplo reales, se pueden proponer alternativas óptimas de prevención y de mitigación, una adecuada planeación para la atención de emergencias y el análisis de alternativas de retención y transferencia de riesgo con fines de protección financiera.

Agradecimientos y reconocimientos

Los conceptos y la utilización de resultados que se presentan en esta publicación son fruto de un trabajo continuo, durante más de veinte años, de diferentes especialistas y colaboradores tanto del área académica como de la consultoría técnica. En particular, de personas que han apoyado la gestión del riesgo de desastres en Bogotá desde diferentes ámbitos.

Los autores agradecen en especial las revisiones, contribuciones técnicas y mejoras realizadas por Gabriel Bernal (capítulos 2 y 8), César Velásquez (capítulo 3), Fernando Ramírez (capítulos 4, 7 y 8), Martha Liliana Carreño y Alex Barbat (capítulo 5), Mabel Cristina Marulanda (capítulos 5 y 9) y Miguel Mora (capítulos 3, 6 y 9).

También agradecen los aportes de Santiago Arámbula, Mauricio Cardona, Mario Díaz-Granados, Álvaro Moreno, Camilo Phillips, Juan Guillermo Saldarriaga, Mario Andrés Salgado, Ana María Torres, Julián Tristancho, Jairo Valcárcel y Daniela Zuloaga, quienes participaron en el desarrollo de las técnicas descritas y en la elaboración de los casos de estudio. De igual modo, a Erika Vargas por la coordinación de las actividades de edición y publicación.

Se reconoce igualmente la cuidadosa revisión y las sugerencias de Sergio Mora, Leonardo Garrido, Jeannette Fernández y Jorge Pardo.

Un agradecimiento a la Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital (Uaecd) de Bogotá y a María Camila Uribe Sánchez (directora en 2009) por la autorización para utilizar la información catastral de la ciudad con fines académicos y de investigación.

Los autores también agradecen la colaboración de las diversas instituciones, y sus innumerables funcionarios, que desde mediados de 1990 hasta la fecha han tenido que ver con el proceso que aquí se describe. En particular, la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias (DPAE) y la Secretaría Distrital de Hacienda de Bogotá; el Departamento Nacional de Planeación y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia. Finalmente, se agradece el apoyo y acompañamiento en la realización de varios de estos estudios por parte del Banco Mundial, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal).

Los autores

Carta del Fondo de Prevención y Atención de Emergencias (Fopae)

Los desarrollos modernos frente a la gestión del riesgo de desastres se caracterizan porque han pasado de la acción remedial, o de atención en caso de crisis, a la acción prospectiva; es decir, de las obras de mitigación, los preparativos y respuesta a emergencias, a la identificación y priorización de los riesgos y su incorporación en la planeación del desarrollo, adoptando medidas de preparación de financiamiento, recuperación y acciones *ex post* en caso de desastre. Esto ha permitido que los gobiernos locales y nacionales direccionen sus esfuerzos hacia acciones integrales para evitar o reducir sus riesgos, establecer alertas tempranas y aumentar su resiliencia.

En esta misma dirección, el gobierno de Bogotá ha venido evolucionando hasta convertir la gestión integral del riesgo en un componente fundamental del desarrollo sostenible, para lo cual los estudios e investigaciones que permiten la identificación, análisis y evaluación de riesgos han sido imprescindibles.

Entre estos estudios e investigaciones, la evaluación probabilística del riesgo es una excelente herramienta en la toma de decisiones, que orienta la priorización de las acciones de gestión del riesgo en forma anticipada, con el fin de identificar y establecer estrategias financieras para hacer frente a las pérdidas potenciales que podrían generarse en el caso de que se presente una crisis.

El presente documento propone el uso de modelos diseñados por reconocidos profesionales y especialistas que contribuyen en la toma de decisiones y que se consideran ejemplos a seguir en otras ciudades del mundo que tienen similares problemáticas de riesgo.

De igual modo, para Bogotá, este trabajo se convertirá en un referente para enfrentar los nuevos desafíos del cambio climático, que trae consigo nuevos riesgos y el aumento de las vulnerabilidades.

Si bien el distrito ha sido pionero en el contexto latinoamericano en varias técnicas de evaluación de riesgos, en especial las relacionadas con el riesgo sísmico, algunas de ellas plasmadas en este documento, son numerosos los retos que debe afrontar Bogotá. Esto exige esfuerzos para generar herramientas que brinden la información suficiente para que la comunidad y sus dirigentes tomen conciencia de los riesgos y sepan cómo actuar de modo efectivo, práctico y responsable.



Ing. Javier Pava Sánchez
Director General Fopae, Bogotá
Bogotá, julio 2012

Acerca de los autores

Luis Eduardo Yamin

Profesor asociado, Universidad de los Andes

Ingeniero civil y magíster en Ingeniería Civil (1983) de la Universidad de los Andes de Bogotá (Colombia), y Master of Science (1985) de Stanford University. Está vinculado a la Universidad de los Andes desde 1985, como profesor asociado e investigador del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Es director del Cimoc (Centro de Investigaciones en Materiales y Obras Civiles) y del Cederi (Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos) de la Universidad de los Andes. Sus áreas de especialización son el análisis y la modelación de amenazas ante fenómenos naturales, en especial sismos, vientos y deslizamientos, la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo de todo tipo de componentes de obras civiles, así como el análisis y diseño de obras de infraestructura ante todo tipo de solicitudes.

Ha sido director de gran número de proyectos de investigación y de trabajos de consultoría especializada en los ámbitos nacional e internacional. Es autor de más de treinta artículos publicados en revistas nacionales y extranjeras, y de varios capítulos de libros especializados, documentos y publicaciones técnicas de diversa índole. Ha participado en forma activa en el desarrollo de la plataforma CAPRA por parte del consorcio Evaluación de Riesgos Naturales-América Latina (ERN-AL), proyecto patrocinado por el Banco Mundial, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la ONU-EIRD, con el fin de evaluar riesgos multiamenaza en el mundo. Es asesor de varias empresas multinacionales en el sector industrial y de seguros, de agencias gubernamentales de varios países y de organizaciones internacionales como el Banco Mundial, el BID, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal), el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), y la OFDA (Oficina de Asistencia a Desastres en el Extranjero) de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (Usaid), entre otras.

Francis Ghesquiere

Gerente Grupo de Práctica, Gestión del Riesgo de Desastres, Banco Mundial y director del Fondo Mundial para la Reducción y Recuperación de los Desastres (GFDRR, por su sigla en inglés), Washington D. C.

En la actualidad es gerente del Grupo de Práctica de Gestión del Riesgo de Desastre, y director del Fondo Mundial para la Reducción y Recuperación de los Desastres (Global Facility for Disaster Reduction and Recovery, GFDRR). Antes de ocupar el cargo en mención, fue coordinador regional en Gestión del Riesgo para América Latina y el Caribe del Banco Mundial, donde dirigió una serie de iniciativas emblemáticas, incluido el Fondo Caribeño de Seguros de Riesgos de Catástrofes (Ccrif) y la Iniciativa CAPRA para la evaluación probabilista de riesgo. Asimismo, fue el fundador del Foro Understanding Risk (UR), que reúne a expertos y profesionales para explorar la innovación en la evaluación de riesgos de desastres.

Su gestión ha sido relevante en el diseño e implementación de nuevas políticas en materia de gestión del riesgo del Banco Mundial, incluyendo la nueva política de operaciones de emergencia y los innovadores instrumentos de financiación de emergencias y riesgo como, por ejemplo, la Opción de Giro Diferido para Catástrofes (por su sigla en inglés, CAT DDO) y el Mecanismo de Respuesta Inmediata (Immediate Response Mechanism, IRM). Además, fue líder del proyecto de reducción de vulnerabilidad en Bogotá (Colombia). Cuenta con una maestría de la Escuela de gobierno Kennedy de Harvard y una Licenciatura en Ingeniería de la Universidad de Lovaina. También estudió Finanzas y Economía en la Universidad de Nueva York, Esade-Barcelona y HEC de París.

Omar Darío Cardona

Profesor asociado, Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales

Es profesor asociado de la Universidad Nacional de Colombia. Ha sido presidente de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica y director general de la Dirección Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres de Colombia. Ha sido consultor del Banco Mundial, el BID, el PNUD, la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (ONU-EIRD) y otras agencias del Sistema de la ONU. Ha sido el representante del Consorcio Evaluación de Riesgos Naturales-América Latina (ERN-AL, que desarrolla la plataforma CAPRA), gerente de Ingeniar Ltda. e investigador del Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (Cimne) de España.

Es miembro fundador de la Red Latinoamericana de Estudios Sociales en Prevención de Desastres (LA RED). También es miembro del Comité Científico IRDR de ICSU, del Consejo Científico del GEM, autor líder y coordinador del IPCC SREX y revisor editor del IPCC AR5. En 2004 fue laureado con el Premio Sasakawa de la ONU de Reducción del Riesgo de Desastres. Es ingeniero civil de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, ha realizado estudios de posgrado en evaluación de riesgos en Oxford Polytechnic, en el Reino Unido, y en Colorado State University, en Fort Collins, Estados Unidos. Asimismo, es doctor en Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural de la Universidad Politécnica de Cataluña.

Mario Gustavo Ordaz

Profesor titular, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

Ingeniero civil, M. Sc. y doctor en Ingeniería Estructural (1992, con honores) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Es autor de cerca de ochenta artículos publicados en revistas internacionales y cuatro capítulos de libros. Ha participado en la definición de la mayoría de las normas sísmicas desarrolladas en México desde 1985, así como en las de otros países. Asimismo, ha participado en los análisis de riesgo sísmico con fines de diseño en decenas de proyectos de ingeniería importantes y ha liderado el desarrollo de los sistemas utilizados por el gobierno de México para evaluar la solvencia de las compañías de seguros que suscriben pólizas sísmicas e hidrometeorológicas en ese país.

Ha asesorado a los gobiernos de varios países en estas materias y ha liderado el desarrollo técnico de la plataforma de software de la iniciativa CAPRA. En la actualidad, es profesor en el Instituto de Ingeniería de la UNAM y presidente de ERN Ingenieros Consultores.

Acerca de los coautores

Gabriel Bernal

Asistente de investigación, Cimne, Universidad Politécnica de Cataluña

Es ingeniero civil, ingeniero mecánico y M. Sc. en Ingeniería Sísmica de la Universidad de los Andes. En la actualidad es estudiante de doctorado en el Programa de Análisis Estructural de la Universidad Politécnica de Cataluña, como becario del Programa Paul C. Bell de la Florida International University, en Miami. También es estudiante del programa de Máster en Métodos Numéricos de la Universidad Politécnica de Cataluña y asistente de investigación del Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (Cimne), en Barcelona. Trabajó como investigador en el Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos (Cederi) y el Centro de Investigación en Materiales y Obras Civiles (Cimoc) de la Universidad de los Andes. Ha estado vinculado como coordinador de proyectos y director del área de Modelación de Amenazas Naturales del Consorcio ERN-AL, y ha participado en el desarrollo de la plataforma CAPRA. Es miembro de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, el Earthquake Engineering Research Institute, la Seismological Society of America y la International Association of Vulcanology and Chemistry of the Earth's Interior.

Miguel Mora

Asistente de investigación, Cimne, Universidad Politécnica de Cataluña

De origen colombiano, es licenciado en ingeniería civil (1981) y M. Sc. de la Universidad de los Andes, y en la actualidad estudia un doctorado en la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Desde 2004, ha trabajado en proyectos de evaluación de riesgos sísmicos, comenzando durante sus estudios de pregrado en el Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos (Cederi) de la Universidad de los Andes. Posteriormente, pasó a formar parte del Consorcio Evaluación de Riesgos Naturales-América Latina (ERN-AL). Realizó los estudios de riesgo de las principales ciudades de Colombia y de algunas otras regiones de América Latina, con los que ganó una beca del Programa Paul C. Bell de Gestión de Riesgos, del Centro Latinoamericano y del Caribe de la Universidad Internacional de Florida (LACC/UIF), con el apoyo de OFDA.

Su trabajo se ha centrado principalmente en la recolección y organización de datos de exposición, la evaluación de riesgos, el procesamiento de análisis para los programas de mitigación de riesgos y atención humanitaria, y las estrategias de transferencia de riesgo de los activos públicos y de los sectores de seguros y reaseguros. Ha formado parte del equipo de la plataforma CAPRA y es usuario experto del software comercial para el sector de seguros desarrollado por ERN Ingenieros Consultores en México.

César Augusto Velásquez

Asistente de investigación, Cimne, Universidad Politécnica de Cataluña

Es ingeniero civil de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, y magíster en Ingeniería de la Universidad de los Andes. En la actualidad es estudiante de doctorado en la Universidad Politécnica de Cataluña, en el Programa de Análisis Estructural y asistente de investigación del Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (Cimne, Barcelona Tech). Ha estado involucrado en el Programa de Indicadores de Riesgo y Gestión del Riesgo de Desastres para las Américas, desarrollado para el BID por el grupo IDEA de la Universidad Nacional de Colombia y el Consorcio ERN-AL. También ha participado en el desarrollo técnico de la plataforma de software de la Iniciativa CAPRA.

Fernando Ramírez

Especialista sénior, gestión del riesgo de desastres, Región de América Latina y el Caribe, Banco Mundial

Es ingeniero civil, máster en Ingeniería Geotécnica de la Universidad Nacional de Colombia. Cuenta con veinticinco años de experiencia como ingeniero y quince en el campo de la gestión del riesgo de desastres. Ha desempeñado cargos directivos del sector público en el diseño e implementación de políticas públicas de gestión de riesgo en los ámbitos nacional, regional y local. Como jefe de proyecto en el Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas) dirigió numerosos estudios científicos sobre amenazas, vulnerabilidad y riesgo. Como director de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias (DPAE) de Bogotá fue responsable de las políticas de gestión del riesgo de desastre de la ciudad, desde identificación y reducción de riesgo hasta atención de emergencias y recuperación posdesastre.

En el ámbito internacional tiene una amplia experiencia en América Latina y el Caribe. Fue consultor del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y de la Estrategia Internacional de Reducción de Desastres para América Latina de Naciones Unidas (Unisdr). Fue asesor del Programa de Apoyo a la Prevención de Desastre en la Comunidad Andina (Predecán). En la actualidad es especialista sénior en gestión de riesgo de desastres en el Banco Mundial y coordinador de la Iniciativa de Modelamiento Probabilista de Riesgo (CAPRA).

Martha Liliana Carreño

Investigadora, Cimne, profesora, Universidad Politécnica de Cataluña

Es ingeniera civil y M. Sc. en Ingeniería Estructural de la Universidad de los Andes y doctora en Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Ha desarrollado sistemas expertos para la evaluación postsísmica de daños utilizando inteligencia computacional, para ciudades colombianas, con la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Es investigadora en evaluación y gestión integral del riesgo de desastres del Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (Cimne) y profesora asociada de la UPC. Estuvo vinculada al Banco Interamericano de Desarrollo (BID) como *research fellow*. Ha contribuido con sus investigaciones al Programa de Indicadores de Riesgo y Gestión del Riesgo del BID y con evaluaciones integrales de riesgo utilizando indicadores urbanos para Earthquake and Megacities Initiative (EMI) y el proyecto Methods for Improvement the Vulnerability Assessment in Europe (MOVE) de la Comisión Europea. Ha tenido a cargo la coordinación de varios proyectos del Consorcio Evaluación de Riesgos Naturales-América Latina (ERN-AL), entre los cuales se encuentran proyectos relativos a la aplicación del “sistema de indicadores de riesgo y gestión del riesgo y evaluación del riesgo catastrófico”, usando la plataforma CAPRA en países de América Latina y el Caribe.

Alex Barbat

Investigador, Cimne, profesor catedrático, Universidad Politécnica de Cataluña

Ingeniero civil de la Universidad Técnica de Iasi, Rumania, y la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), en Barcelona. Es profesor de mecánica estructural de la UPC, en el Departamento de Resistencia de Materiales y Estructuras en la Ingeniería. Asimismo, es investigador del Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, de Barcelona, donde desarrolla la mayor parte de sus investigaciones sobre daño sísmico de las estructuras, evaluación del riesgo sísmico y control estructural activo y pasivo. Ha publicado más de setenta artículos sobre estos temas en revistas indexadas con arbitraje internacional y más de 55 artículos en otras revistas nacionales e internacionales. Ha colaborado en catorce proyectos de investigación de la Comisión Europea, en campos como ingeniería sísmica y dinámica estructural, control estructural, evaluación de riesgos naturales, nuevos materiales estructurales, etcétera. Es el presidente de la Asociación Española de Ingeniería Sísmica (AEIS) y dirige el Grupo de Gestión de Riesgos de Cimne. Ha sido coordinador de proyectos del Consorcio Evaluación de Riesgos Naturales-América Latina (ERN-AL) para el Banco Mundial, el BID, la ONU-EIRD y gobiernos de América Latina y el Caribe, utilizando la plataforma CAPRA de evaluación de amenazas y riesgos.

Mabel Cristina Marulanda

Asistente de investigación, Cimne, Universidad Politécnica de Cataluña

Es ingeniera civil de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, estudiante de doctorado en la Universidad Politécnica de Cataluña, en el Programa de Análisis Estructural, y asistente de investigación del Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (Cimne) en Barcelona. Ha estado involucrada en proyectos de investigación relacionados con el diseño e implementación de observatorios urbanos usando indicadores ambientales y en el Programa de Indicadores de Riesgo y Gestión del Riesgo de Desastres para las Américas, desarrollado y actualizado para el BID por el Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la UNC y el Consorcio Evaluación de Riesgos Naturales-América Latina (ERN-AL). Hizo estudios de posgrado en el Instituto Nacional de Investigación de Ciencias de la Tierra y Prevención de Desastres (NIED) de Japón y ha recibido subvenciones del Programa de Becas de Investigación Aplicada para la Reducción de Desastres (2005) del Consorcio ProVention y del Premio Ecopolis para Estudiantes de Posgrado (2008) del International Development Research Centre (IDRC) de Canadá.

Siglas

Acción Social	Agencia Presidencial para la Acción Social y la Cooperación Internacional
AEIS	Asociación Española de Ingeniería Sísmica
AIS	Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica
B/C o B/Q	Relación beneficio-costo
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CAPRA	Evaluación Probabilista de Riesgo (Probabilistic Risk Assessment Initiative)
CAR	Corporación Autónoma Regional
CAT DDO	Catastrophe Deferred Drawdown Option (Opción de Giro Diferido para Catástrofes)
CCB	Cámara de Comercio de Bogotá
CCRIF	Fondo Caribeño de Seguros contra Riesgos de Catástrofes
Cederi	Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos de la Universidad de los Andes
Cenapred	Centro Nacional de Prevención de Desastres
CEP	Curva de excedencia de las pérdidas
Cepal	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
Cepredenac	Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central
Cimne	Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería
Cimoc	Centro de Investigaciones en Materiales y Obras Civiles
Codensa	Empresa de Generación de Energía Eléctrica de Bogotá
CVC	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
CVP	Caja de Vivienda Popular
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
DAS	Departamento Administrativo de Seguridad
DNP	Departamento Nacional de Planeación
DPAE	Dirección de Prevención y Atención de Emergencias
EEAB	Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá
EEB	Empresa de Energía de Bogotá
EERI	Earthquake Engineering Research Institute (Instituto de Investigación de Ingeniería Sísmica)
EIRD	Estrategia Internacional para la Reducción de los Desastres
EMC	Evento máximo considerado
EMI	Earthquake and Megacities Initiative (Iniciativa de Terremotos y Megaciudades)
ERN-AL	Consorcio Evaluación de Riesgos Naturales-América Latina
ETB	Empresa de Teléfonos de Bogotá
F	Factor de Impacto
Fonade	Fondo Financiero de Proyectos de Desarrollo
Fopae	Fondo de Prevención y Atención de Emergencias
GAR	Global Assessment Report (Informe de evaluación global sobre la reducción del riesgo de desastres)
GEM	Global Earthquake Model (Modelo mundial de terremotos)
GFDRR	Global Facility for Disaster Risk Reduction (Fondo Mundial para la Reducción y Recuperación de los Desastres)

IADB	Inter-American Development Bank
IADF o PADF	Curva intensidad-área-duración-frecuencia o profundidad-área-duración-frecuencia
ICSU	International Council for Science (Consejo Internacional para la Ciencia)
IDD	Índice de Déficit por Desastres
IDEA	Instituto de Estudios Ambientales
IDF	Curva intensidad-duración-frecuencia
IDRC	International Disaster and Risk Conference
IDU	Instituto de Desarrollo Urbano
IGR	Índice de la Gestión del Riesgo
IPCC	Intergovernmental Panel of Climate Change (Panel Intergubernamental de Cambio Climático)
IPCC AR5	IPCC Fifth Assessment Report (Quinto reporte del Panel Intergubernamental de Cambio Climático)
IPCC SREX	IPCC Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (Gestión del riesgo para eventos extremos y el avance en la adaptación al cambio climático)
IR	Identificación del Riesgo
IRM	Immediate Response Mechanism (Mecanismo de Respuesta Inmediata)
JICA	Japan International Cooperation Agency (Agencia de Cooperación Internacional del Japón)
LAC/UIF	Centro Latinoamericano y del Caribe de la Universidad Internacional de la Florida
LA RED	Red Latinoamericana de Estudios Sociales en Prevención de Desastres
L_u	Valor presente de las pérdidas futuras en estado no-intervenido
L_v	Valor presente de las pérdidas futuras en estado intervenido
MAVDT	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
MD	Manejo de desastres
MOVE	Methods for the Improvement of Vulnerability Assessment in Europe (Métodos para el mejoramiento de la evaluación de vulnerabilidad en Europa)
NIED	Instituto Nacional de Investigación de Ciencias de la Tierra y Prevención de Desastres
ODCA-ITEC	Omar Darío Cardona Arboleda-Ingeniería Técnica y Científica Unión Temporal
Ompad	Oficina Municipal para la Prevención y Atención de Desastres
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PAE	Pérdida anual esperada
PEB	Plan de emergencia para Bogotá
PF	Protección financiera
PIB	Producto Interno Bruto

PMP	Pérdida máxima probable
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
POT	Plan de Ordenamiento Territorial
PPR	Prima pura de riesgo
Predecán	Prevención de Desastres en la Comunidad Andina
R	Costo o valor de la inversión para disminuir la curva de vulnerabilidad
RE	Resiliencia económica
R_F	Índice de Riesgo Físico
ROL	Rate-On-Line (Tasa-en-línea)
RR	Reducción del riesgo
R_T	Índice de Riesgo Total
SAT	Sistema de Alerta Temprana
SDH	Secretaría Distrital de Hacienda
SDPAE	Sistema Distrital para la Prevención y Atención de Emergencias
SED	Secretaría de Educación del Distrito
SELA	Secretaría Permanente del Sistema Económico Latinoamericano y del Caribe
Sisbog-Daño	Sistema de Información Sísmica de Bogotá
Sisman-Lisa	Sistema de Información Sísmica de Manizales-Laboratorio de Instrumentación Sísmica Automática
SMS	Short Message Service
TAP	Technical Assistance Projects (Proyectos de Asistencia Técnica)
T_e	Periodo estructural
T_{ret}	Periodo de retorno en años
UDRI	Urban Disaster Risk Index (Índice de Riesgo de Desastre Urbano)
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
Uniandes	Universidad de los Andes
UNISDR	United Nations International Strategy for Disaster Reduction (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas)
UN-INSARG	United Nations International Search and Rescue Advisory Group (Asesor de Operaciones de Búsqueda y Rescate de las Naciones Unidas)
UPC	Universidad Politécnica de Cataluña
UPZ	Unidad de Planeamiento Zonal
UR	Understanding Risk Project
Usaid	United States Agency for International Development (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional)





Introducción

Gestión del riesgo: visión integral



El desarrollo y la gestión del riesgo de desastres

El impacto intenso de huracanes, ciclones y otros eventos peligrosos recientes de origen socionatural evidencia el riesgo al que están expuestas las comunidades en situación de vulnerabilidad ante este tipo de fenómenos en todo el mundo.

Eventos recientes –como el terremoto en Haití del 12 de enero de 2010, el de Chile del 27 de febrero de 2010, el de Nueva Zelanda del 13 de junio de 2011 y el de Japón del 11 de marzo de 2011, al igual que las inundaciones de Pakistán, Tailandia y Colombia de 2010 y 2011– ilustran el gran impacto que estos eventos pueden tener sobre los planes nacionales de desarrollo, así como la necesidad de que los países adopten y profundicen políticas proactivas de gestión del riesgo.

De acuerdo con el *Informe global de evaluación sobre reducción de riesgo de desastre de Naciones Unidas* (UNISDR, 2011), el riesgo que se deriva de las amenazas naturales y socionaturales aumentó en forma significativa entre 1990 y 2011; en especial en los países de bajos y medios ingresos y con economías en rápido crecimiento. En efecto, el desarrollo económico contribuye en ocasiones a configurar nuevas condiciones de riesgo, en la medida en que puede incrementarse la exposición de la población, la infraestructura y las actividades económicas en áreas propensas a la ocurrencia de fenómenos naturales y socionaturales peligrosos.

Esta situación es en particular significativa en los países en desarrollo, en donde las elevadas tasas de crecimiento demográfico y de migración, la pobreza, la desigualdad, la rápida urbanización, la ausencia de planificación y las normas de seguridad, así como la aplicación de políticas de vigilancia y control que permiten la urbanización en terrenos no aptos para esta, han inducido a que una porción importante de la población se localice en dichas áreas.

Como resultado de esta situación se han incrementado los asentamientos informales y medios de vida precarios, caracterizados por la escasa o nula infraestructura, la degradación intensa de los ecosistemas y la construcción de edificaciones en situación de alta vulnerabilidad. En estos lugares, más que en cualquier otra parte, el efecto de las amenazas naturales y socionaturales se intensifica sobre la población más pobre, creando un círculo vicioso de impactos frecuentes sobre sus bienes y medios de sustento, lo que a su vez reduce cada vez más su resiliencia ante eventos futuros y con ello sus posibilidades de progreso y desarrollo.

Diferentes fenómenos hidrometeorológicos extremos, atribuidos por algunos autores al cambio climático pero que probablemente se deben a la variabilidad climática (Klotzbach y Gray, 2011), parecen empeorar, poco a poco y a largo plazo, la ya desigual distribución del riesgo. Por un lado, la ocurrencia de lluvias muy intensas que generan avalanchas, flujos de lodos, desbordamiento de ríos e inundaciones devastadoras en unas zonas y fenómenos de inestabilidad de laderas y deslizamientos en otras; por otro lado, la ocurrencia de ciclones, lluvias huracanadas, marejadas y el incremento en el nivel medio del mar exacerbaban el riesgo de las comunidades en situación de vulnerabilidad ubicadas en las franjas costeras, en las zonas montañosas y en cercanías de los cauces de los ríos.

Para hacer frente al creciente impacto físico, social, económico y ambiental de tales fenómenos se ha llegado a un consenso global en torno a la necesidad de integrar la gestión del riesgo dentro de los procesos de desarrollo. El Marco de Acción de Hyogo, firmado por 168 Estados Miembros de las Naciones Unidas en 2005 (UNISDR, 2005), alienta a los países a emprender acciones concretas para reducir, hacia 2015, el riesgo derivado de las amenazas naturales y socionaturales. Sin embargo, y a pesar de algunos resultados, la integración de la gestión del riesgo en el desarrollo es aún limitada y prevalecen las acciones de respuesta a emergencias luego de la ocurrencia de los desastres, en lugar de las medidas anticipadas de prevención y mitigación del riesgo.

Entender el riesgo y la gestión del riesgo

El riesgo está implícito en todas las dimensiones de nuestras vidas y es parte inseparable de nuestras acciones. Puede entenderse como la posibilidad de sufrir pérdidas significativas o resultados adversos. Está relacionado tanto con la probabilidad de que un evento adverso se presente como con su severidad o potencial de causar daño. También está íntimamente relacionado con la percepción humana. Se percibe claramente cuando las actividades cotidianas se pueden ver interrumpidas por un evento adverso que parece inesperado o excepcional; por ejemplo, cuando un terremoto impide que se llegue al sitio de trabajo o a la escuela. Pero, aunque el evento tenga una naturaleza incierta, la ciencia ha ayudado a comprender que este tipo de amenazas pueden describirse mediante relaciones de tipo estadístico entre la frecuencia y la intensidad de los eventos que las caracterizan.

El riesgo adquiere un significado más estructurado bajo el contexto de su gestión, que se relaciona con los efectos potenciales; por ejemplo, los daños físicos, las pérdidas económicas directas e indirectas, el impacto social o en la salud, la interrupción en los servicios, el impacto sobre el ingreso o la pérdida de oportunidades que podría tener una comunidad o sociedad durante un determinado tiempo de exposición, todo lo cual puede resultar en un desastre.

La gestión del riesgo se refiere entonces a un conjunto de acciones y procesos sociales orientados al conocimiento, reducción y transferencia del riesgo (protección financiera), que son medidas *ex ante*, y al manejo de desastres, que incluye la preparación y la respuesta a las emergencias, la rehabilitación y la reconstrucción, que son medidas *ex post*.

La gestión del riesgo es una estrategia integral de planificación para minimizar el impacto de los eventos destructivos sobre la población, los bienes y los procesos socioeconómicos. Incorpora cinco políticas o componentes principales, que se ilustran en el gráfico 1.

Los componentes principales de la gestión del riesgo son:

■ **Conocimiento del riesgo (identificación y evaluación)**

La identificación y evaluación genera conocimiento e información sobre el riesgo derivado de una o varias amenazas y permite sentar las bases para el desarrollo de los demás componentes o políticas. Incluye las acciones de vigilancia y observación de los fenómenos peligrosos, la realización de estudios, escenarios, mapas y modelos de amenaza, los sistemas de información sobre la exposición, la evaluación de la vulnerabilidad de los componentes expuestos, la calificación y la visualización del riesgo, entre otros. Requiere de información completa y confiable en diferentes ámbitos y niveles. Puede evaluarse en función de la probabilidad de ocurrencia de un evento y con una intensidad determinada y cuantificarse a través de diferentes indicadores de su impacto físico, económico, social y ambiental.

Gráfico 1. Componentes principales de la gestión del riesgo



Fuente: Ghesquiere y Mahul, 2010.

■ Reducción del riesgo (prevención y mitigación)

La reducción del riesgo busca intervenir los principales factores de riesgo antes de la ocurrencia del evento. Puede llevarse a cabo a través de la reducción de la amenaza (por ejemplo, en caso de deslizamientos o inundaciones) o mediante el control o la reducción de los factores de vulnerabilidad física, de los componentes de infraestructura expuestos y de la vulnerabilidad social y económica de la población. En estos casos, las medidas pueden ser estructurales –si intervienen físicamente a los factores de riesgo, como por ejemplo la realización de obras de mitigación– o no estructurales, como en el caso de las campañas de educación, regulación, normalización, planificación y ordenamiento territorial, entre otras.

Bajo esta política, algunas medidas buscan evitar la generación de riesgos nuevos (por ejemplo, la planificación territorial y la implantación de códigos de construcción) o reducir el riesgo existente por medio de, por ejemplo, el reforzamiento estructural sismorresistente de las edificaciones esenciales existentes (hospitales, escuelas, estaciones de bomberos, etcétera).

Los planificadores y tomadores de decisiones acuden con frecuencia al análisis de relaciones beneficio-costos para evaluar diferentes opciones de reducción del riesgo en términos del costo social, económico y ambiental y de su impacto en la reducción efectiva del riesgo, así como para priorizar las inversiones en mitigación ante disponibilidad presupuestal limitada.

■ Protección financiera mediante la retención y transferencia del riesgo

La protección financiera provee a los gobiernos de un medio para asegurar la disponibilidad de recursos económicos cuando se requieran, para atender las situaciones de emergencia y hacer frente a las necesidades de rehabilitación y reconstrucción posdesastre. Existen varios instrumentos financieros y mecanismos para combinar estrategias de retención y transferencia del riesgo, lo que permite disminuir la vulnerabilidad fiscal del Estado y, por tanto, el impacto de los posibles desastres futuros.

■ Preparativos y respuesta ante las emergencias y los desastres

Las acciones de preparación y planificación de la respuesta ante las emergencias permiten a los gobiernos el desarrollo e implantación de planes de

contingencia específicos y la atención y la reacción que aseguren el mejor manejo posible de las crisis derivadas del impacto de las amenazas naturales y los desastres.

Las acciones de preparación están relacionadas con el diseño e implantación de sistemas de alerta-alarma; el fortalecimiento de la infraestructura logística y de comunicaciones para la respuesta; el entrenamiento y capacitación de los equipos operativos; el desarrollo y aplicación de planes de emergencia y contingencia en diferentes niveles y ámbitos (institucional, sectorial, municipal, etcétera) y la participación comunitaria, de acuerdo con el contexto particular de las amenazas socio-naturales.

■ Recuperación posdesastre

La planificación de políticas y estrategias para la rehabilitación y reconstrucción posdesastre proporciona a los gobiernos las herramientas necesarias para asegurar la definición clara de funciones, responsabilidades y mecanismos de coordinación interinstitucional y municipal, así como para evaluar con anticipación las posibles soluciones para enfrentar problemas críticos. Por ejemplo, la satisfacción pronta de las necesidades de alojamiento temporal, seguridad y salud de la población afectada, la remoción y disposición rápida de escombros, la rehabilitación de los servicios vitales, la evaluación de daños y necesidades de la población y la construcción de nuevas viviendas, además de la oportunidad de propiciar procesos adecuados de planificación y desarrollo en los que no se repitan errores del pasado, entre muchos otros temas.

El recuadro 1 presenta un resumen de algunos conceptos básicos que se utilizan en relación con el riesgo de desastres.

Modelos probabilistas del riesgo

A pesar de las evidencias claras del impacto de las amenazas naturales y siconaturales sobre el desarrollo, la incorporación formal de la evaluación y la gestión del riesgo en los procesos de planificación, ha sido, hasta ahora, muy tímida.

Aunque en la mayoría de los países en desarrollo se incluyen en sus presupuestos algunas partidas, principalmente para la preparación y atención de las emergencias y, en algunos casos, para orientar recursos hacia actividades de planificación referidas a la prevención o mitigación del riesgo, rara vez se contabilizan las pérdidas como un componente permanente del proceso fiscal. Ahora bien, si no se

Recuadro 1. Conceptos relacionados con el riesgo de desastres



El riesgo de desastre ante una amenaza natural determinada involucra la estimación de esta mediante la utilización de un parámetro de intensidad, la identificación de los elementos expuestos y la calificación de su vulnerabilidad frente a dichos fenómenos.

Para efectos de su estudio, la acción del evento peligroso se evalúa en términos de algún parámetro de intensidad que refleje en forma adecuada la severidad de aquel, que pueda medirse, estimarse, compararse y predecirse con algún grado de confiabilidad. En el caso de los sismos, por ejemplo, estos parámetros pueden ser la aceleración máxima del terreno, la aceleración espectral para diferentes periodos estructurales o la velocidad y desplazamientos máximos del terreno.

Para el caso de las lluvias intensas, este parámetro puede ser la profundidad de precipitación. Para inundaciones se utiliza por lo general la altura del agua de inundación o la velocidad del agua en las áreas de tránsito de las crecientes. Para el caso de los deslizamientos, el parámetro de intensidad que sirve para medir la amenaza se traduce, por ejemplo, en un factor de inestabilidad o susceptibilidad de las laderas en cada sector dentro del área de influencia.

Es necesario identificar los elementos expuestos que pueden sufrir un determinado efecto o impacto cuando el fenómeno se presenta. Se requiere, entonces, conocer la ubicación y las características principales de los elementos expuestos. La vulnerabilidad física corresponde a la susceptibilidad o predisposición que dichos elementos tienen de sufrir daños si se presentan eventos con una intensidad determinada.

El riesgo puede medirse o expresarse de diferentes maneras. En primera instancia, resulta pertinente la estimación del impacto directo de la amenaza sobre el elemento o componente expuesto, o sea el riesgo físico. Este se expresa por lo general mediante el porcentaje de daño físico, debido a la acción de una amenaza con determinada intensidad, sobre un componente dado de infraestructura.

También es importante expresar el riesgo en términos de la pérdida económica esperada para cada uno de los elementos expuestos. De manera similar, se puede conocer el nivel de impacto sobre los contenidos de una edificación particular y los daños o pérdidas asociados a la interrupción de su funcionamiento, conocidas también como pérdidas consecuenciales o de lucro cesante.

Además, es relevante conocer el impacto social que se deriva de los efectos físicos o daños, que está relacionado con los efectos en la población, en sus medios de sustento e ingresos, en las interrelaciones sociales y productivas, y en los servicios y valores culturales.

continúa

Recuadro 1. Conceptos relacionados con el riesgo de desastres (continuación)

De acuerdo con este marco conceptual general, a continuación se presenta un glosario relacionado con el tema, que ha sido el resultado de revisiones y adecuaciones, por parte de los autores, de algunas definiciones dadas por la UNISDR (2009).

Amenaza: peligro latente de que un evento físico de origen natural o causado por la acción humana se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños o pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales. Las amenazas pueden ser geológicas, resultado de procesos internos y externos en la Tierra; hidrometeorológicas, que pueden ser exacerbadas por la variabilidad y el cambio climático, o antropogénicas.

Amenazas de origen socionatural: fenómenos como inundaciones, subsidencia de terrenos, sequías o deslizamientos que surgen de la interacción de amenazas hidrometeorológicas con zonas o recursos ambientales degradados o sobreexplotados.

Desastre: proceso social que se desencadena como resultado de la manifestación de uno o varios eventos naturales o antropogénicos, que al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en las personas, los bienes, la infraestructura, los medios de subsistencia, la prestación de servicios o los recursos ambientales, causa daños o pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales, generando una alteración intensa, grave y extendida en las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad.

Efectos 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 acervos, servicios y ambiente, y por el impacto inmediato en las actividades sociales y económicas.

Efectos indirectos: aquellos que mantienen relación de causalidad con los efectos directos, y que corresponden usualmente a la concatenación de efectos posteriores sobre la población, sus actividades económicas y sociales o sobre el medio ambiente. Por ejemplo, el impacto sobre flujos económicos, pérdidas de oportunidades productivas e ingresos futuros, aumentos en los niveles de pobreza y en costos de transporte debido a la pérdida de puentes y caminos, entre otros.

Exposición (elementos expuestos): se refiere a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales, recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura, que por su localización pueden ser afectados por la manifestación de una amenaza.

Evaluación (o análisis) del riesgo: proceso mediante el cual se estiman los daños físicos y las pérdidas potenciales, en términos económicos o humanos, como resultado de relacionar la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, y se comparan con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcances de la reducción del riesgo.

Gestión del riesgo: proceso social caracterizado por la planificación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias y acciones permanentes para promover mayores grados de consciencia, conocimiento, estimación y cuantificación del riesgo, para impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y manejarlo cuando se materializa en desastre. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y la calidad de vida de las personas en el marco del desarrollo sostenible.

Intervención: corresponde al tratamiento del riesgo, o bien mediante la modificación intencional de las características de un fenómeno con el fin de reducir la amenaza que representa o bien mediante la modificación de las características intrínsecas de un elemento expuesto, con el fin de reducir su vulnerabilidad. En suma, la intervención busca cambiar los factores de riesgo internos y externos.

Intervención correctiva: proceso cuyo objetivo es reducir el nivel de riesgo existente en la sociedad a través de acciones anticipadas de mitigación, en el sentido principalmente de disminuir o reducir la vulnerabilidad de los elementos expuestos, llevar a cabo obras para su protección parcial o eliminar su exposición ante posibles eventos peligrosos mediante su relocalización.

Intervención prospectiva: proceso cuyo objetivo es garantizar que no surjan nuevos riesgos a través de acciones de prevención, en el sentido de impedir que los elementos expuestos sean vulnerables o que lleguen a estar expuestos a posibles eventos peligrosos, incluidos los que puedan exacerbarse por el cambio climático. Su objetivo es evitar nuevos riesgos y la necesidad de intervenciones correctivas en el futuro.

Mitigación: medidas de intervención prescriptiva o correctiva dirigidas a reducir o disminuir el riesgo en forma anticipada. La mitigación del riesgo es el resultado de la aceptación de la imposibilidad de controlar o eliminar los factores de un riesgo ya establecido o cuya severidad puede ser muy alta. Se implementa a través de reglamentos de seguridad y proyectos de inversión pública o privada, cuyo objetivo es reducir la vulnerabilidad existente o proveer una protección limitada frente a eventos peligrosos.

Recuadro 1. Conceptos relacionados con el riesgo de desastres (continuación)

Planificación territorial: proceso mediante el cual las autoridades públicas identifican, evalúan y deciden a partir de diferentes opciones el uso del territorio teniendo en cuenta las consideraciones económicas, sociales y ambientales de largo plazo y las implicaciones para las diferentes comunidades y grupos de interés. Incluye la subsecuente formulación y promulgación de los planes de ordenamiento que establecen los usos permitidos o aceptables del suelo.

Preparación: medidas cuyo objetivo es planificar, organizar y poner a prueba los procedimientos y protocolos de respuesta de la sociedad en caso de desastre, con el objeto de garantizar una adecuada y oportuna atención de las personas afectadas, así como la rehabilitación de los servicios básicos indispensables, lo cual permitiría normalizar las actividades en la zona afectada por el desastre.

Prevención: medidas y acciones de intervención restrictiva o prospectiva dispuestas con anticipación con el fin de evitar que se genere riesgo. Puede enfocarse en evitar o neutralizar amenazas, o bien en la exposición y la vulnerabilidad ante estas, en forma definitiva, para impedir que se produzcan nuevos riesgos. Los instrumentos esenciales de la prevención son aquellos previstos en la planificación, la inversión pública y el ordenamiento ambiental territorial, que tienen como objetivo reglamentar el uso y la ocupación del suelo en forma segura y sostenible.

Protección financiera: mecanismos o instrumentos financieros de retención intencional o transferencia del riesgo, que se establecen *ex ante*, con el fin de acceder de manera *ex post* a recursos económicos oportunos para el manejo de desastres, incluidos recursos para la atención de emergencias o la recuperación.

Recuperación: proceso de restablecimiento de las condiciones normales de vida mediante la rehabilitación, la reparación o la reconstrucción del área afectada y los bienes y servicios interrumpidos o deteriorados, y de impulso al desarrollo económico y social de la comunidad. La recuperación tiene como propósito evitar la reproducción de las condiciones de riesgo preexistentes en el área o sector afectado.

Reducción del riesgo: medidas de intervención compensatorias dirigidas a modificar o disminuir las condiciones de riesgo existentes y a establecer mecanismos de control con el fin de evitar nuevos riesgos en el territorio. Son medidas de mitigación y prevención que se adoptan con antelación de manera prescriptiva o restrictiva, para reducir las amenazas o la exposición ante estas y disminuir la vulnerabilidad.

Refuerzo: obras de mejoramiento de componentes estructurales existentes, para hacerlos más resistentes a los efectos y daños que pueden causar las amenazas.

Resiliencia: capacidad de un sistema, comunidad o sociedad para anticiparse o adaptarse a los efectos de un evento peligroso, absorberlos o recuperarse de ellos, en forma oportuna y eficiente, garantizando la preservación, la restauración o la mejora de sus estructuras y funciones básicas y esenciales.

Riesgo de desastres: daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los efectos de eventos físicos peligrosos en un periodo de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad.

Sistema de alerta-alarma: el conjunto de capacidades requerido para generar y difundir información oportuna de alerta y alarma que permita a individuos, comunidades y organizaciones amenazados prepararse y actuar en forma apropiada y con suficiente tiempo para reducir la posibilidad de daño o pérdida.

Transferencia del riesgo: acuerdo o contrato, mediante el cual una parte se compromete a tomar el riesgo y pagar las pérdidas que se pueden presentar a un cedente durante un periodo de tiempo, a cambio de una prima de riesgo.

Vulnerabilidad: susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad ante los potenciales efectos adversos de un eventual suceso físico peligroso. Corresponde a la predisposición a la pérdida de (o a daños en) seres humanos y sus medios de subsistencia, sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo, por cuenta de eventos físicos peligrosos.

Fuente: UNISDR, 2009.

contabilizan las pérdidas contingentes potenciales se carece de la información necesaria para considerar y evaluar opciones, con el fin de reducir o financiar dichas pérdidas. Como consecuencia, las políticas encaminadas hacia la reducción del riesgo no reciben en realidad la atención que requieren.

El hecho de no contar con modelos adecuados que permitan cuantificar el riesgo en términos objetivos, y no relativos o subjetivos, trae consigo una serie de implicaciones importantes. Si bien es posible adoptar decisiones de política con cierto tipo de aproximaciones, no cuantificar el riesgo –cuando es posible hacerlo– limita el proceso de toma de decisiones desde la perspectiva de la planificación física, la reducción y la financiación. Si la cuantificación de las pérdidas futuras no forma parte del proceso de planificación e inversión en el país, es casi imposible mantener los recursos presupuestales para enfrentar y reducir dichas pérdidas potenciales.

La ausencia de estimaciones probabilistas del riesgo tiene implicaciones serias: primero, no se planifica por adelantado el costo de las futuras reconstrucciones; segundo, y más importante, se pierde el incentivo principal para promover la mitigación y la reducción del riesgo. Por las razones anteriores, en los últimos años se han desarrollado herramientas de cómputo poderosas, incluidas algunas orientadas a la generación de modelos probabilistas, las cuales son un soporte vital para la tarea de identificación, evaluación y gestión del riesgo. El uso de tales herramientas involucra, por lo general, la estimación del impacto hipotético debido a la posible ocurrencia de una determinada amenaza (por ejemplo, calcular el daño probable en la infraestructura de un país debido a la posible ocurrencia de un terremoto de ubicación y magnitud determinadas).

Los modelos probabilistas del riesgo ofrecen una metodología rigurosa para evaluar las pérdidas potenciales por eventos adversos antes de que estos ocurran. El uso adecuado de estas metodologías proporciona la información para una toma de decisiones adecuada. Por ejemplo, es posible comparar las pérdidas potenciales derivadas de varias amenazas, con las opciones disponibles de recursos, para conseguir una solución balanceada, basada en una perspectiva técnicamente viable y diversificada.

Por otro lado, con las posibilidades informáticas actuales, el avance de los sistemas de información geográfica y el desarrollo de herramientas de software libre (*open source*), los instrumentos para modelar el riesgo de manera probabilista están actualmente al alcance de gobiernos y particulares (ERN-AL, 2010).

El gráfico 2 resume los principales elementos que deben considerarse en la evaluación probabilista rigurosa del riesgo. Los modelos probabilistas permiten la consideración de las incertidumbres asociadas en su evaluación, la consideración de las relaciones frecuencia-intensidad de los eventos en el análisis, la obtención de diferentes parámetros probabilistas que lo califiquen, la posibilidad de obtener medidas del riesgo únicas en caso de multiamenazas y la consideración de casos particulares de análisis, asociados al cambio climático o a escenarios futuros con algún grado de probabilidad de ocurrencia asignado.

La gestión del riesgo y la modelación probabilista del riesgo en Bogotá

La capital de Colombia se destaca por su actitud proactiva ante la gestión del riesgo. Desde la década de 1990, bajo el liderazgo de una serie de alcaldes dinámicos, la ciudad ha desarrollado una agenda ambiciosa para este tipo de gestión, fortaleciendo los estándares y mecanismos de control e invirtiendo en programas de infraestructura orientados a reducir la vulnerabilidad de la ciudad frente a eventos adversos. El recuadro 2 presenta un panorama general de Bogotá desde la perspectiva de la gestión del riesgo.

El éxito en varios de los programas de gestión del riesgo de la ciudad se debe en parte al trabajo conjunto entre técnicos y planificadores que hacen parte de organismos públicos relacionados con el tema en las administraciones distritales recientes y grupos de investigadores y profesionales consultores, que han logrado en forma conjunta desarrollar modelos probabilistas del riesgo orientados a diversos tipos de aplicaciones.

Los resultados de la política proactiva para la gestión del riesgo de Bogotá han tenido impacto tangible sobre la población expuesta. La ciudad ha realizado grandes inversiones en la cartografía y zonificación de las amenazas y el riesgo en el ámbito local, campañas de sensibilización ciudadana, profesionalización de sus servicios de emergencias, reasentamiento de familias, fortalecimiento de la capacidad técnica y reforzamiento sismorresistente de su infraestructura, incluidos puentes, escuelas y redes de los servicios de agua, energía, gas y comunicación.

Mediante diferentes esquemas de financiamiento se ha reforzado un amplio número de escuelas, jardines infantiles y hospitales. De igual modo, se rea-

Gráfico 2. Elementos de los modelos probabilistas del riesgo



sentaron familias ubicadas en zonas de amenaza alta por deslizamiento e inundaciones y se han aplicado estrategias para controlar asentamientos nuevos en dichas áreas. Estas acciones han sido percibidas por los ciudadanos como el resultado de un proceso de decisión basado en evidencias y análisis científicos, lo cual ayudó a su apropiación y cumplimiento por parte de las comunidades.

Alcance y contenido

Esta publicación ilustra el uso de las metodologías de análisis probabilista del riesgo derivado de las amenazas naturales y siconaturales, como parte esencial de las políticas de gestión del riesgo.

Está dirigida a tomadores de decisiones y administradores públicos con o sin formación técnica, incluidos planificadores y administradores urba-

nos, funcionarios encargados de hacienda y presupuesto, cuerpo técnico y administrativo de oficinas de manejo y gestión del riesgo de desastres y, en general, a todas las personas relacionadas con la temática de su gestión en el ámbito de la administración pública. También sirve de referencia a investigadores y profesionales cuya actividad esté relacionada con la gestión del riesgo en cualquiera de sus ámbitos de aplicación.

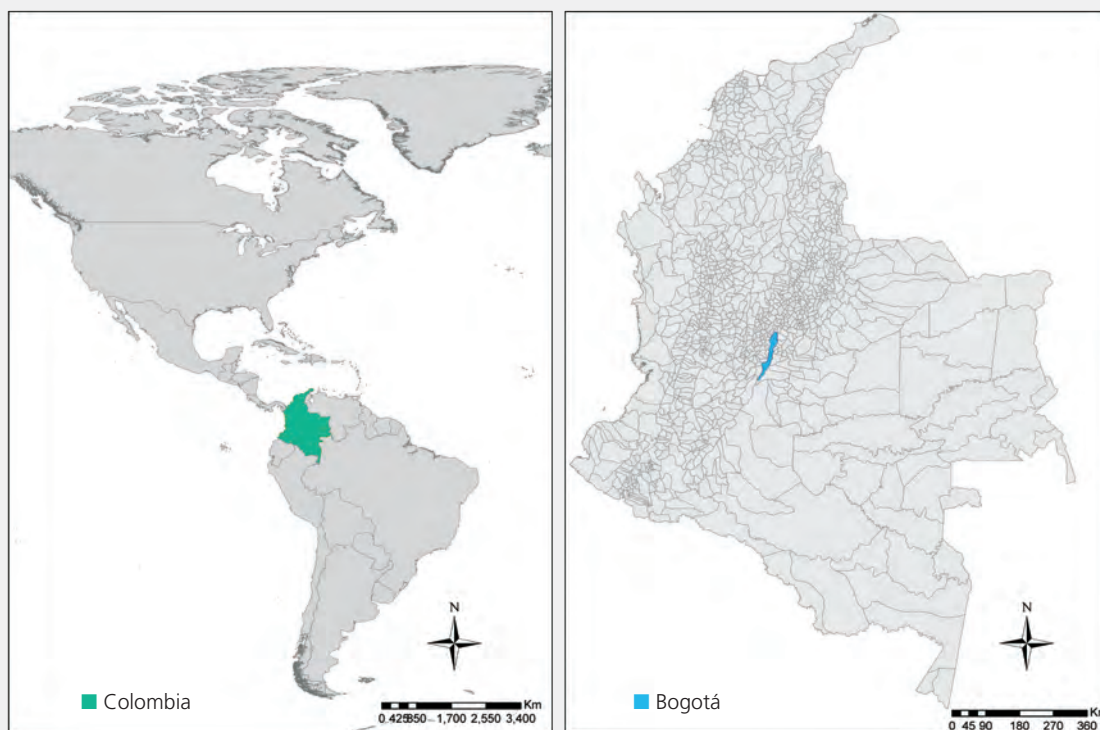
Este documento, sin embargo, no presenta las bases teóricas ni las formulaciones matemáticas que dan soporte a los ejemplos y casos presentados, aspectos que son cubiertos en diferentes referencias relacionadas (ERN-AL, 2010).

Para ilustrar el proceso y las aplicaciones se ha seleccionado a Bogotá, la cual cuenta en la actualidad con una gran cantidad de información

Recuadro 2. Bogotá desde la perspectiva de la gestión del riesgo

La ciudad de Bogotá, Distrito Capital de la República de Colombia, es la ciudad más poblada del país, con más de siete millones de habitantes en 2011, y la más productiva económica y fiscalmente, con el 26% del PIB nacional, la mitad de los mercados laboral y de consumo y aproximadamente el 50% de los ingresos tributarios nacionales (mapa 2.1). Ocupa el octavo puesto entre las economías urbanas más grandes de América Latina, después de Ciudad de México, São Paulo, Buenos Aires, Río de Janeiro, Santiago de Chile, Brasilia y Lima, y se encuentra en el puesto 82 de las 100 ciudades más grandes del mundo en términos del PIB per cápita (CCB, 2011).

Mapa 2.1 Localización de Bogotá



Bogotá está localizada en la cordillera Oriental de Colombia, perteneciente al complejo sistema montañoso de los Andes. Tiene aproximadamente 300 km² de área urbana y una densidad de población de 3.529 personas/km². La tasa de población ha aumentado debido a los conflictos sociales del país, lo cual genera elevados niveles de migración. Por ser la ciudad de mayor desarrollo y oportunidades económicas del país, presenta las mejores oportunidades de trabajo y servicios.

Está ubicada en una zona de amenaza sísmica entre moderada y alta, y se ha visto afectada por diversos terremotos durante su historia, como los ocurridos en 1785, 1826, 1827 y 1917. Tanto la exposición como la vulnerabilidad sísmica se ha incrementado en forma dramática desde la década de 1950 debido a la migración masiva y porque al menos el 75% de la urbe ha crecido de manera desordenada y construida sin normas de sismorresistencia. Además, por estar ubicada en un valle de origen lacustre con suelos blandos de gran espesor, las ondas sísmicas se pueden amplificar en forma significativa debido a las características dinámicas del suelo.

De igual modo, por la baja capacidad de drenaje en el valle lacustre y por estar rodeada de montañas y colinas, la ciudad también es susceptible a inundaciones y deslizamientos. La situación se ve empeorada por la ocupación desordenada de más de 450 zonas de laderas inestables. Las amenazas antropogénicas existen también como resultado de varias actividades económicas que implican el transporte, almacenamiento y transformación industrial de materiales peligrosos, incluidas sustancias químicas y combustibles. Por otra parte, allí se presentan cada año alrededor de 180 incendios estructurales y forestales en las colinas de la ciudad (DPAE, s. f.).

continúa

Recuadro 2. Bogotá desde la perspectiva de la gestión del riesgo (continuación)

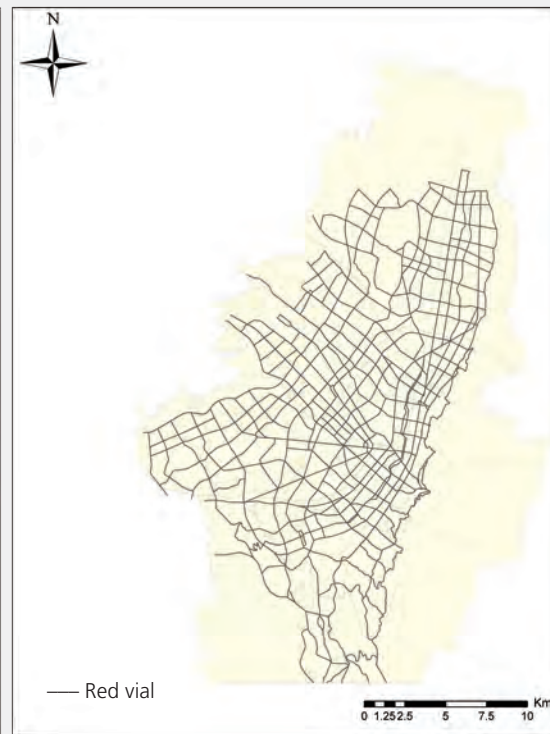
Desde el punto de vista administrativo, la ciudad tiene una estructura central, el Distrito Capital de Bogotá, dividida en veinte unidades descentralizadas, denominadas localidades (mapas 2.2 y 2.3). Dispone de un Sistema Distrital para la Prevención y Atención de Emergencias (SDPAE), conformado por el conjunto de entidades públicas y privadas que generan políticas, normas, recursos, procedimientos y metodologías, organizadas con el fin de contribuir a la reducción de pérdidas humanas, económicas y sociales ocasionadas por fenómenos de origen natural o humano en el distrito.

La entidad coordinadora del SDPAE es el Fondo de Prevención y Atención de Emergencias (FOPAE), que se encarga de la promoción y articulación de la participación de los diferentes actores públicos, privados y comunitarios en la reducción, la prevención y el control permanente del riesgo, integrado todo al logro de pautas de desarrollo humano, económico, ambiental y territorial sustentables bajo criterios de eficiencia y eficacia en la gestión del riesgo (www.fopae.gov.co).

Mapa 2.2 Distribución administrativa de la ciudad en localidades



Mapa 2.3 Bogotá. Red vial de la ciudad



Fuente: DPAAE, s. f.

relacionada con amenazas, exposición, vulnerabilidad y riesgo, que le han permitido desarrollar interesantes aplicaciones específicas en su gestión. Estas sirven de ejemplo e ilustración para que otras ciudades y poblaciones en este tipo de situaciones inicien procesos similares.

Este proceso, que empezó hace más de quince años mediante el trabajo conjunto entre entidades del Estado, centros de investigación y desarrollo y firmas de consultoría, permite presentar una información

valiosa de la ciudad, útil para la realización de futuras aplicaciones, al igual que ejemplos de aplicación práctica en gestión del riesgo.

Este documento, por tanto, presenta, además de casos específicos de aplicación exitosa llevados a cabo en la ciudad, propuestas metodológicas y ejemplos de información disponible que pueden utilizarse en diversas aplicaciones complementarias o que pueden conformar la base de nuevos desarrollos y actividades relacionados con la gestión del riesgo.

En el capítulo 1 se exponen los conceptos relacionados con el tema del riesgo, una metodología para su evaluación, las diferentes maneras de representarlo y algunos resultados ilustrativos. El capítulo 2 aborda el tema de las amenazas, incluyendo el caso de la sísmica, por inundaciones debido a crecientes de los ríos y por deslizamientos en zonas de ladera. El capítulo 3 se refiere a la exposición y la vulnerabilidad de los elementos en riesgo y las alternativas para generar este tipo de información cuando esta no existe o no está disponible.

Por su parte, el capítulo 4 condensa la forma como se han integrado los temas de amenaza y riesgo para efectos de la planificación y gestión territorial en el área urbana de Bogotá y su vinculación con los planes de ordenamiento territorial, como estrategia para la reducción y el control del riesgo.

El capítulo 5 contiene una serie de indicadores que se han estimado y se visualizan mediante mapas para tener una visión integral de la distribución geográfica de diferentes parámetros que expresan la amenaza, la exposición y el riesgo de la ciudad.

El capítulo 6 recopila las bases conceptuales y algunos resultados específicos de evaluaciones de relaciones beneficio-coste de las obras de mitigación, con base en los cuales se han implementado algunos planes de gestión del riesgo en la ciudad.

El capítulo 7 ilustra diferentes escenarios de daños y efectos tanto en las construcciones como en la población de la ciudad, información con base en la cual se han preparado tanto los planes de atención de emergencias y recuperación posdesastre como la realización de simulaciones y simulacros con diferentes actores y planes de recuperación posterremoto.

El capítulo 8 plantea un modelo para la estimación inmediata de daño posterremoto en la ciudad, como ejemplo de lo que es posible hacer con la información disponible, que puede extenderse fácilmente a otros tipos de amenaza.

Finalmente, el capítulo 9 presenta estimaciones de riesgo financiero y de exposición fiscal que se han llevado a cabo en la ciudad; información fundamental para proponer opciones de protección financiera para los sectores público y privado.

Referencias bibliográficas

Consortio Evaluación de Riesgos Naturales-América Latina (ERN-AL). 2010. Metodología de análisis probabilista de riesgos. En: *Central America Probabilistic Risk Assessment (CAPRA)*. Washington D. C.: Banco Mundial y Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Cardona, O. D. 2009. *La gestión financiera del riesgo de desastres: instrumentos financieros de retención y transferencia para la Comunidad Andina*. Lima: Comunidad Andina.

Cámara de Comercio de Bogotá (CCB). Observatorio de la región Bogotá-Cundinamarca. 2011. *Comportamiento de la economía de la región en el primer semestre de 2011*. [Disponible en: <http://camara.ccb.org.co>].

Dirección de Prevención y Atención de Emergencias. (DPAE). *Bogotá sus localidades y amenazas*. [Disponible en: <http://www.fopae.gov.co>].

Ghesquiere, F; Mahul O. 2010. *Financial Protection of the State against Natural Disasters: A Primer*. World Bank Research Working Paper 5429. Washington, D. C.: Banco Mundial.

Klotzbach, P; Gray, W. 2011. *Extended Range Forecast of Atlantic Seasonal Hurricane Activity and Landfall Strike Probability for 2011*. Forth Collins, CO: Colorado State University. [Disponible en: <http://tropical.atmos.colostate.edu>].

United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR). 2005. *Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015, Aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres*. Kobe (Japón).

United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR). 2009. *Terminology on Disaster Risk Reduction*. Ginebra: Naciones Unidas. [Disponible en: <http://www.unisdr.org>].

United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR). 2011. *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. GAR, 2011*. Ginebra: Naciones Unidas.



The background of the page is a grayscale aerial photograph of a city, showing a dense grid of streets and buildings. A semi-transparent blue layer is overlaid on the entire image, and a halftone dot pattern is applied to the blue layer, creating a textured effect. The text is centered in the upper right quadrant of the image.

Capítulo 1

Evaluación del riesgo



El riesgo derivado de los eventos naturales

Un gran terremoto con epicentro en zonas deshabitadas o una gran tormenta cuya trayectoria no se aproxime a las zonas habitadas tendrán consecuencias muy pequeñas para el ser humano. Sin embargo, un sismo superficial moderado puede tener efectos devastadores si ocurre cerca a un centro poblado. El análisis del riesgo causado por eventos naturales busca, además de evaluar las consecuencias posibles de cada evento individual, integrar el impacto potencial que sismos, tormentas, inundaciones y otras amenazas puedan tener sobre la población, las actividades productivas y la infraestructura.

El riesgo está relacionado con la probabilidad de que se causen efectos adversos y consecuencias negativas en los contextos material, social y ambiental. Su evaluación, por tanto, consiste en la estimación del impacto probable de una cierta amenaza sobre los elementos expuestos (por ejemplo, edificaciones, infraestructura, población, medio ambiente).

Este análisis puede llevarse a cabo en forma determinista, de modo que la estimación del impacto probable se hace con base en un solo evento o escenario, o de manera aleatoria, integrando el análisis de escenarios múltiples, cada uno con una frecuencia de ocurrencia dada, para obtener así una estimación genérica del riesgo.

Los análisis por escenarios (por ejemplo, un terremoto con origen en una falla tectónica cercana al área de interés y con una magnitud definida) pueden ser útiles para los preparativos de emergencias y evaluación *ex ante* de daños (capítulos 7 y 8).

Un análisis probabilista del riesgo, por otra parte, proporciona información para un conjunto completo de eventos históricos o generados en forma estocástica que definen una amenaza particular, e integra todos los escenarios posibles mediante un proceso analítico riguroso. Así, el riesgo puede expresarse en términos de pérdidas potenciales o esperadas, y ser comparado para diferentes condiciones de amenaza, de elementos expuestos y de condiciones de vulnerabilidad, lo cual proporciona información valiosa para evaluar, por ejemplo, el impacto de los eventos y de las opciones de reducción estructural de la vulnerabilidad. De manera adicional, el riesgo puede expresarse en términos de pérdidas máximas probables, información fundamental para establecer, por ejemplo, mecanismos de protección financiera.

Desagregación y representación del riesgo

El impacto de los eventos que representan amenazas naturales se centra en tres componentes: la infraestructura física, que incluye construcciones, instalaciones, equipos y contenidos; lo social, que incluye el efecto de los eventos en las personas y las actividades sociales, y lo ambiental, lo que involucra el impacto en los servicios y productos ambientales de los ecosistemas. Los impactos de un evento natural se clasifican en directos, o sea aquellos causados por la acción directa e inmediata del evento adverso sobre los elementos expuestos, las personas o el ambiente, e indirectos, que corresponden a aquellos que se derivan de los efectos directos y se materializan a mediano o largo plazo.

Estos impactos traen como consecuencias pérdidas económicas, las cuales a su vez también se pueden clasificar en pérdidas económicas directas e indirectas.

El gráfico 1.1 ilustra los posibles impactos de eventos naturales con capacidad destructiva y las métricas que usualmente se utilizan para caracterizar o dimensionar el riesgo.

Para los casos de las evaluaciones probabilistas del riesgo en términos de pérdidas económicas, y para efectos de plantear esquemas de su retención y transferencia, se utilizan una serie de parámetros de medida, como por ejemplo la pérdida anual esperada (PAE), la prima pura de riesgo (PPR), la curva de excedencia de las pérdidas (CEP) y la curva de pérdidas máximas probables (PMP). El recuadro 1.1 presenta las definiciones para cada una de estas métricas del riesgo.

Evaluación del riesgo

El riesgo puede valorarse de diferentes maneras. Tradicionalmente la evaluación del riesgo se ha llevado a cabo mediante metodologías simplificadas basadas principalmente en regresiones numéricas o combinación de capas de sistemas de información geográfica. Al tratar de capturar los principales rasgos que definen el nivel de riesgo, estas metodologías utilizan variables que expresan en forma general las amenazas, la exposición y la vulnerabilidad, de tal manera que al combinarlas se obtiene un indicador que refleja el nivel de riesgo (Peduzzi et ál., 2010).

Por otro lado, la evaluación del riesgo con técnicas probabilistas (ERN-AL, 2008; Yamin, 2007) requiere de la identificación y valoración de las principales variables que determinan el impacto de las

Gráfico 1.1 Impacto y métricas del riesgo de desastres



RECUADRO 1.1 Métricas para la evaluación probabilista del riesgo

El riesgo puede expresarse en términos de diferentes métricas. Desde el punto de vista de las pérdidas económicas directas, se utilizan las siguientes métricas como resultado de la evaluación probabilista del riesgo:

Pérdida anual esperada (PAE): numéricamente, la PAE es la suma del producto de la pérdida esperada y de la probabilidad de ocurrencia anual de cada uno de los eventos estocásticos considerados en los modelos de amenaza. En términos probabilistas, la PAE es el valor esperado de la pérdida anual. Se interpreta como el valor promedio anual de las pérdidas que pueden esperarse, luego de considerar eventos múltiples durante periodos largos.

Prima pura del riesgo (PPR): es igual a la PAE pero los valores se presentan en términos relativos al valor de reposición de los activos y, usualmente, se expresa como una tasa, por millar, del valor monetario. Se utiliza por lo general en el sector de seguros como una base para evaluar las primas comerciales de los seguros catastróficos.

Curva de excedencia de pérdidas (CEP): representa la frecuencia o tasa anual con la que una pérdida (en sus unidades de análisis) puede ser excedida. Esta es la medida del riesgo catastrófico más importante para quienes toman decisiones para la reducción del riesgo, dado que estima la cantidad de fondos requeridos para alcanzar los objetivos de la gestión del riesgo en diferentes frecuencias de ocurrencia.

Pérdida máxima probable (PMP): constituye una medida de las pérdidas esperadas para diferentes periodos de retorno (el inverso de la frecuencia anual de excedencia). Según la tolerancia o aversión al riesgo, el analista del riesgo puede seleccionar el valor de la pérdida obtenida del análisis o del diseño para un determinado periodo de retorno; por ejemplo, 200 años, 500, 1.000 o 2.500 años. A mayor periodo de retorno, menor probabilidad de excedencia de dicho valor, pero mayor costo involucrado en las métricas de protección o transferencia, debido al incremento en la intensidad de referencia de la amenaza.

amenazas sobre los elementos expuestos. En el marco conceptual ya descrito, el modelo para el análisis se construye a partir de cuatro módulos principales: (a) evaluación de la amenaza, (b) identificación y caracterización de los elementos expuestos, (c) definición de la vulnerabilidad de cada uno de los elementos expuestos, y (d) cálculo del riesgo. La evaluación se lleva a cabo de acuerdo con la siguiente metodología:

- ▶ Se estima el nivel de intensidad de la amenaza para cada uno de los componentes expuestos considerando su ubicación geográfica y la información de amenaza probabilista disponible.
- ▶ La intensidad de amenaza para cada componente define el daño esperado en este mediante la utilización de funciones de vulnerabilidad adecuadas.
- ▶ El grado de daño define a su vez la pérdida económica y las pérdidas humanas esperadas para cada uno de los componentes.
- ▶ La integración de daños por componentes permite estimar pérdidas globales por tipos de componentes o por regiones, con lo cual se obtienen las estimaciones del riesgo.

El gráfico 1.2 resume el modelo conceptual para la

evaluación del riesgo. Documentación detallada de métodos para la evaluación probabilista del riesgo se puede encontrar en ERN-AL (2008).

En este documento se presentan ejemplos de aplicación de diferentes metodologías para la estimación de riesgo con propósitos distintos.

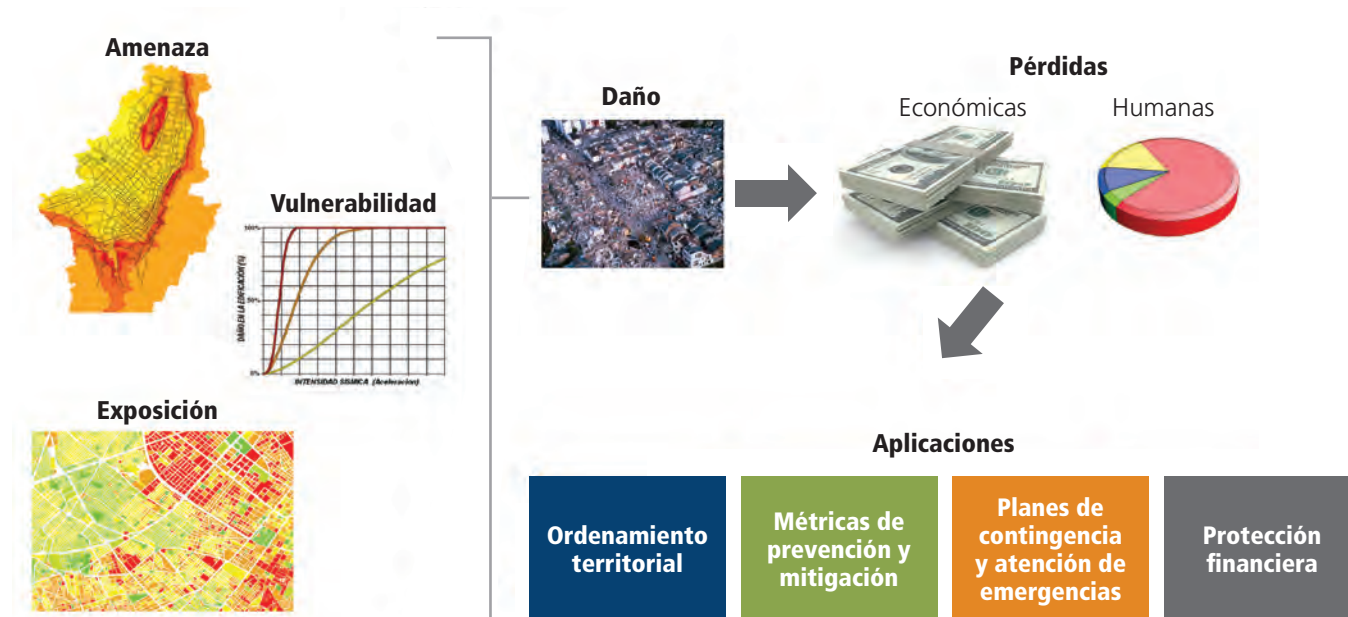
Evaluación y visualización del riesgo

Como se explicó, existen diferentes formas de evaluar el riesgo de acuerdo con el objetivo del análisis. Cualquiera que sea la medida para dimensionarlo, la visualización de los resultados siempre es uno de los objetivos principales ya que permite describir la distribución geográfica del riesgo y valorar aspectos como su concentración o su dispersión, elementos fundamentales en varias de las aplicaciones en la gestión del riesgo.

En los recuadros 1.2 a 1.7 se presentan varios casos que ilustran evaluaciones del riesgo con diferentes propósitos y alcances.

Para la visualización de estos resultados se utilizan las unidades geográficas que se explican en el recuadro 3.2

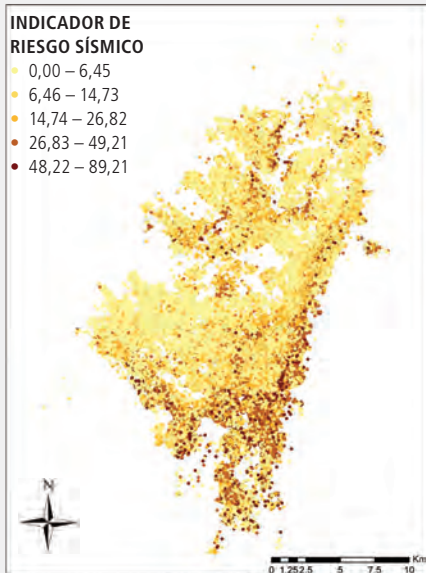
Gráfico 1.2 Esquema del proceso para la evaluación rigurosa del riesgo



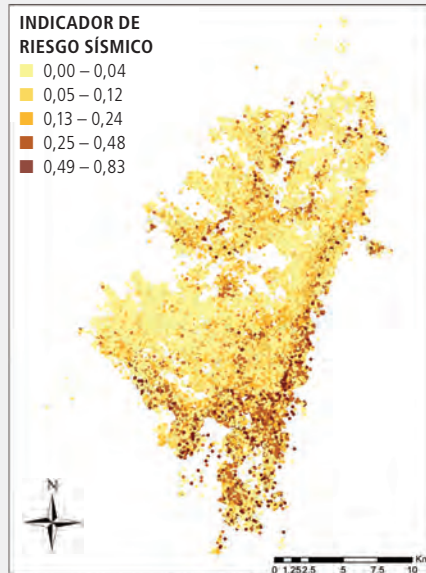
RECUADRO 1.2 Bogotá: riesgo sísmico expresado por medio de la pérdida esperada económica directa

El riesgo sísmico para Bogotá (DPAE, 2005; Yamin y Cardona, 1997) se representa en los mapas 1.2.1, mediante la pérdida económica esperada como una fracción decimal del valor total de reposición de cada edificación, para un evento sísmico particular correspondiente a un sismo de magnitud 7.2, que se origine en la Fuente Frontal de la Cordillera Oriental a unos 50 km de distancia de la ciudad. Los resultados se presentan para varias unidades geográficas de análisis: el predio, la manzana, el barrio, las UPZ y las localidades.

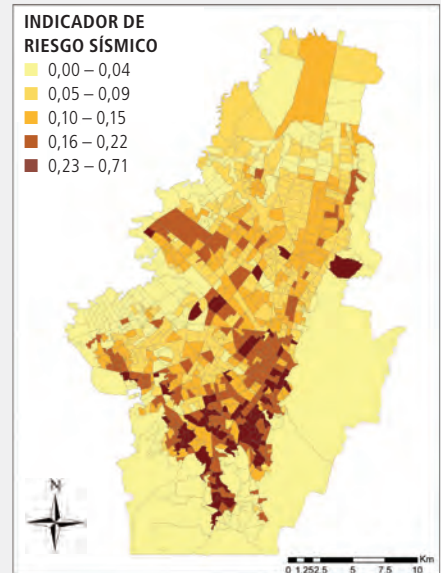
Mapas 1.2.1 Pérdida económica esperada como decimales del valor de reposición para un escenario crítico y para varias unidades geográficas de análisis



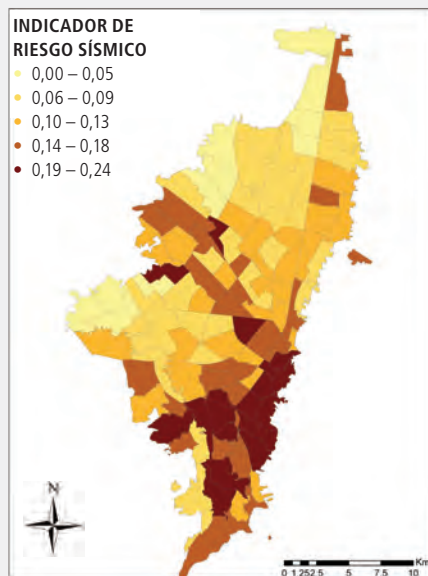
Predio



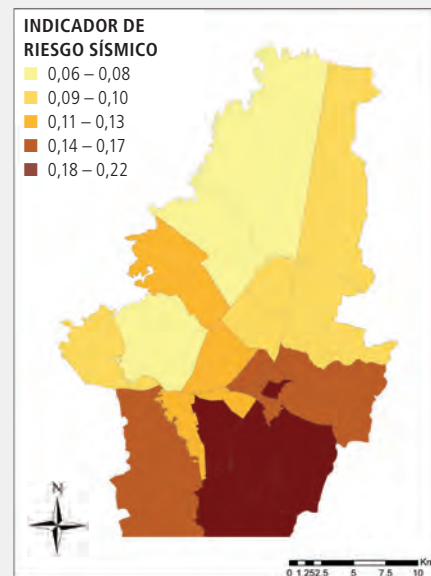
Manzana



Barrio



UPZ



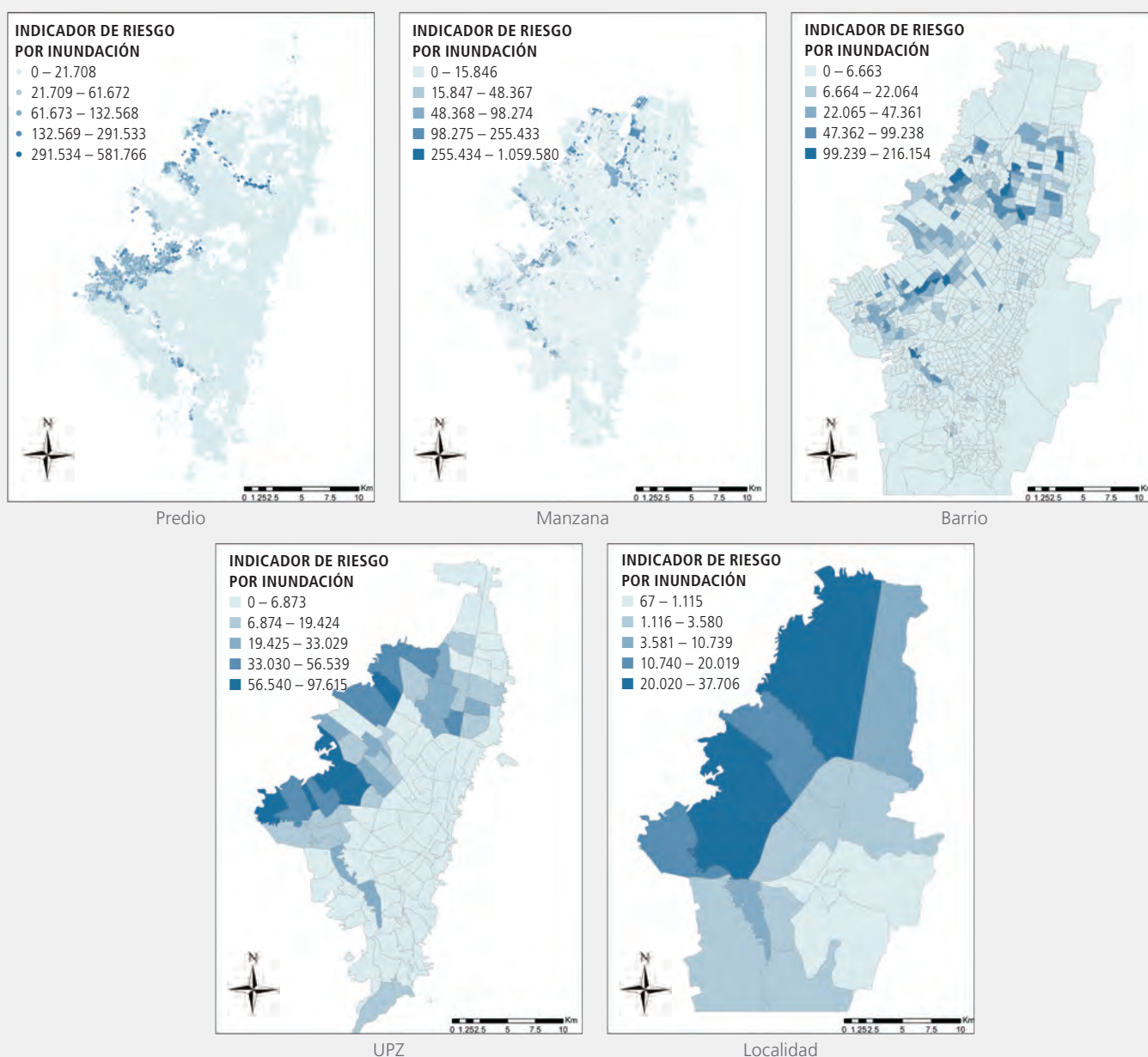
Localidad

RECUADRO 1.3 Bogotá: riesgo de inundación representado mediante indicadores (información indicativa)

Ante las dificultades que implica llevar a cabo una evaluación detallada del riesgo debido a inundación, en algunas situaciones se recurre a utilizar indicadores de riesgo, los cuales capturan las variables principales involucradas en su evaluación (capítulo 5).

El riesgo de inundación para Bogotá se puede representar mediante un indicador que intenta valorar el nivel del riesgo relativo en diferentes zonas de la ciudad a través de la multiplicación del indicador de amenaza de inundación (capítulo 2) por el valor del metro cuadrado de construcción para cada edificación, de acuerdo con la base de datos de exposición en los predios (capítulo 3). En este caso, el grado de amenaza se ha asignado de acuerdo con el mapa de amenaza de inundación de Bogotá, asignando valores de 0 para la amenaza nula, 0,3 para la amenaza baja, 0,6 para la amenaza media y 1 para la amenaza alta. Este indicador expresa el nivel de pérdidas económicas esperadas para edificios particulares, de acuerdo con los mapas de amenaza de inundación en la ciudad. Los mapas 1.3.1 contienen la distribución geográfica de este indicador en la ciudad para varias unidades geográficas de análisis: el predio, la manzana, el barrio, las UPZ y las localidades.

Mapas 1.3.1 Distribución del indicador de riesgo por inundación para varias unidades geográficas de análisis

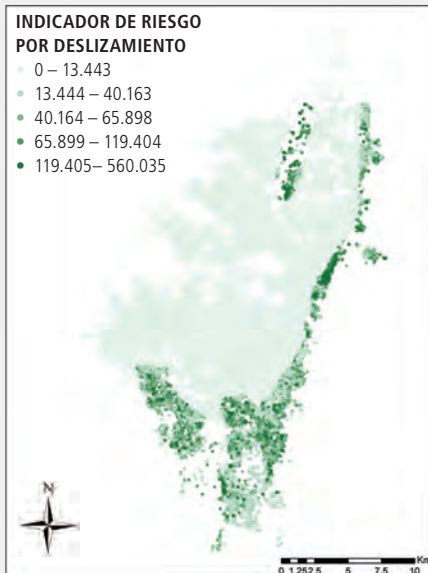


RECUADRO 1.4 Bogotá: riesgo de deslizamiento mediante indicadores (información indicativa)

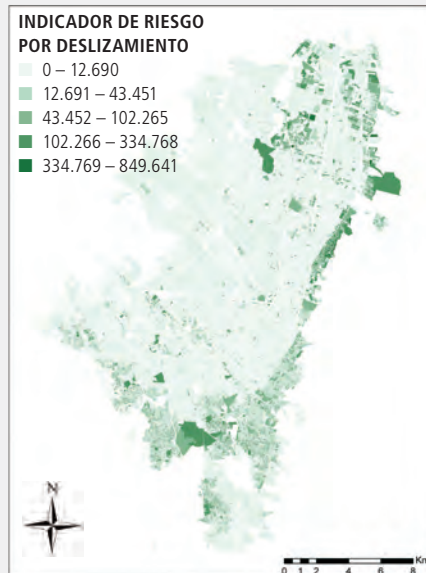
El riesgo de deslizamiento para Bogotá se representa en este caso por medio de un indicador que se calcula multiplicando el indicador de amenaza por deslizamiento (capítulo 2) por el valor del metro cuadrado de construcción para cada edificación. La amenaza se ha asignado de acuerdo con el mapa de amenaza de deslizamiento de Bogotá y se han asignado valores de 0 para la amenaza nula, 0,3 para la amenaza baja, 0,6 para la amenaza media y 1,0 para la amenaza alta. Este indicador intenta expresar el nivel de pérdidas económicas esperadas para las edificaciones particulares, de acuerdo con la amenaza de deslizamiento en la ciudad.

Los mapas 1.4.1 recogen la distribución geográfica de este indicador en la ciudad, para varias unidades geográficas de análisis: el predio, la manzana, el barrio, las UPZ y las localidades.

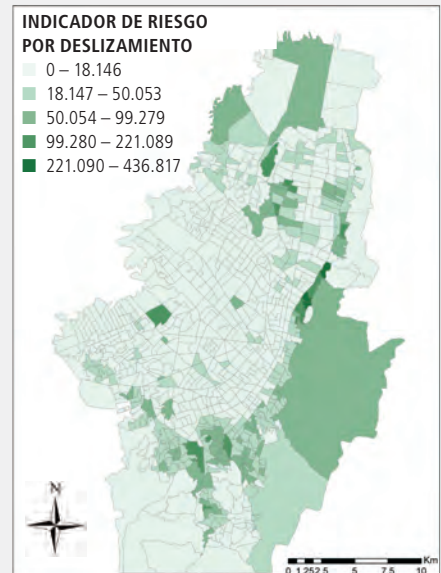
Mapas 1.4.1 Distribución del indicador de riesgo por deslizamiento para varias unidades geográficas



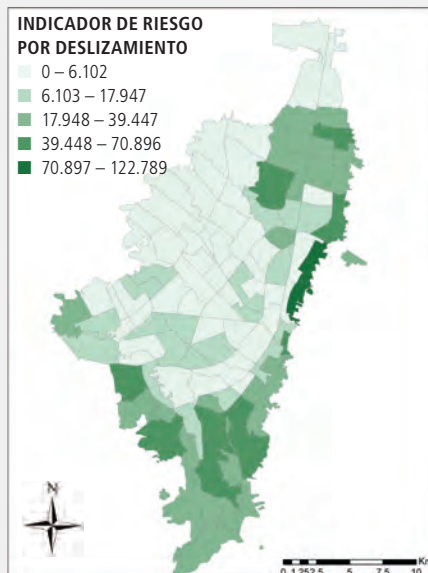
Predio



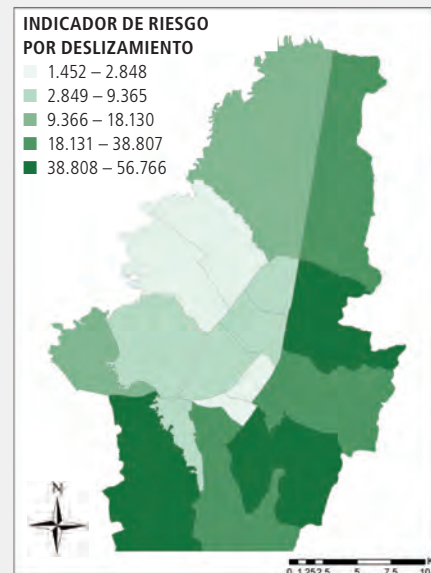
Manzana



Barrio



UPZ

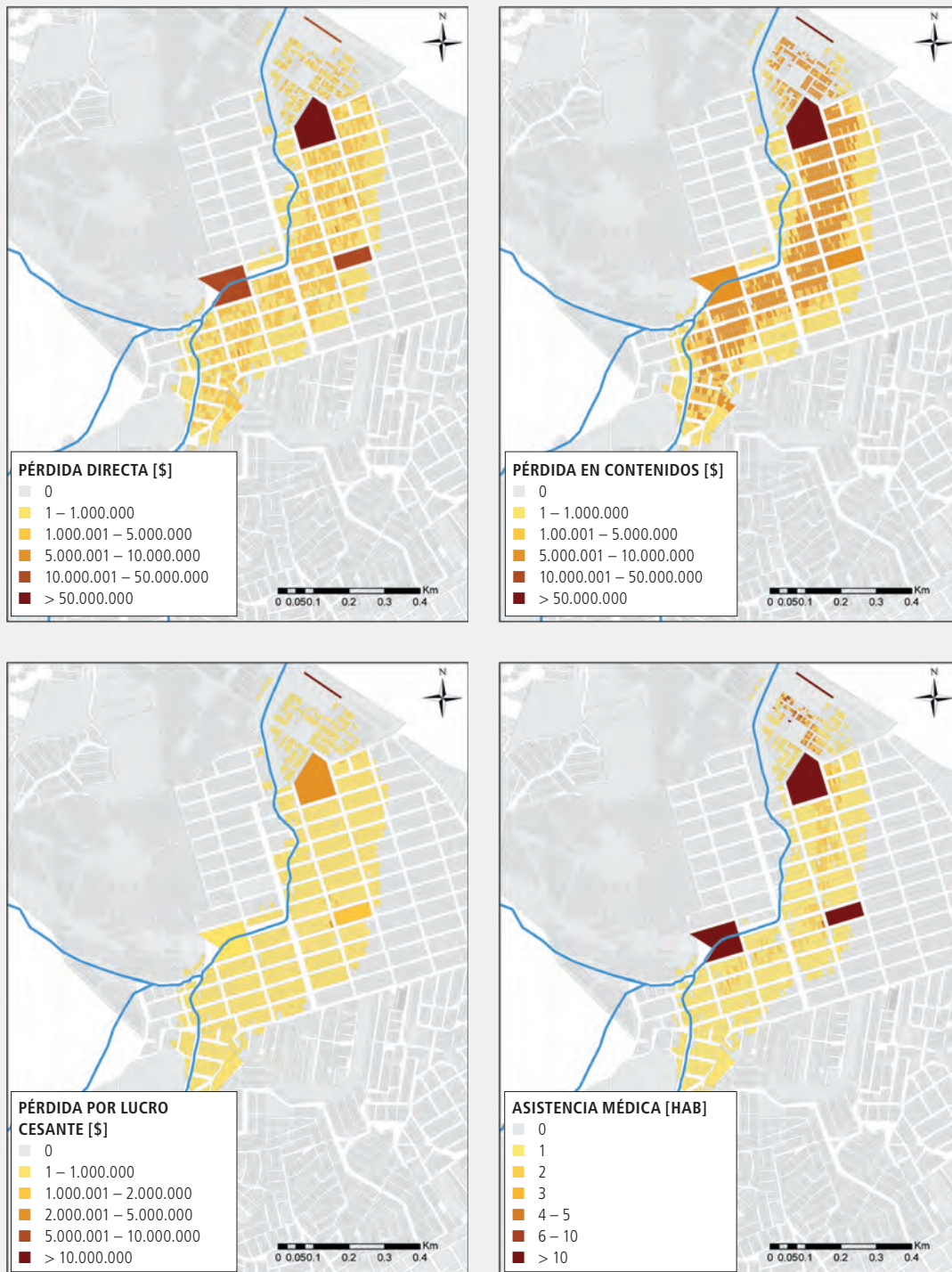


Localidad

RECUADRO 1.5 Bogotá: riesgo por inundación en la zona de la quebrada Limas, mapas de pérdidas

Los mapas 1.5.1 exponen los resultados de los modelos detallados del riesgo de inundación en el caso de la quebrada Limas en Bogotá, para un evento cuyo periodo de recurrencia es de cien años. Se presentan los resultados en términos de pérdidas económicas directas, en las edificaciones y en los contenidos, e indirectas, asociadas a pérdida de funcionalidad y número de personas que requieren asistencia médica.

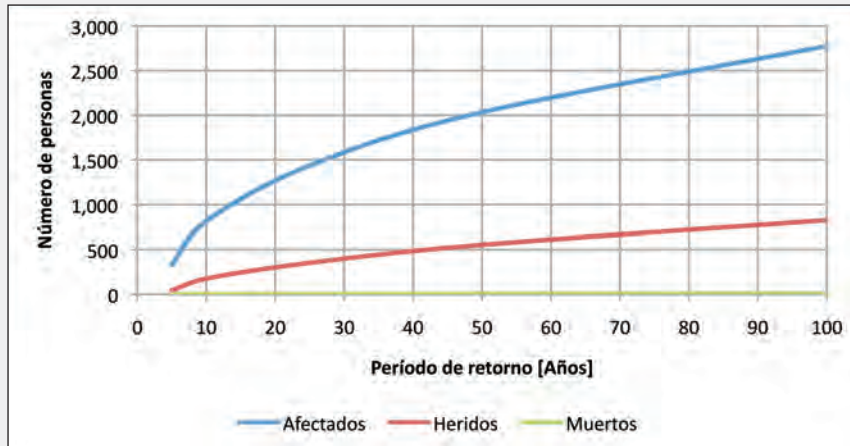
Mapas 1.5.1 Bogotá: resultados de modelaciones del riesgo por inundación en el caso de la quebrada Limas



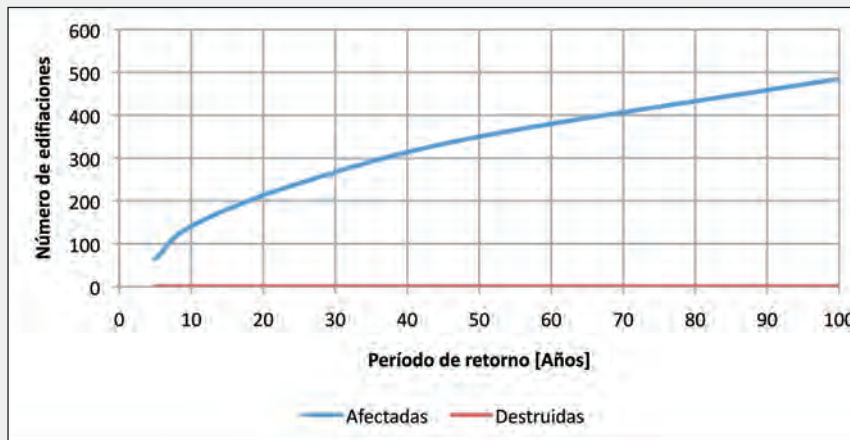
RECUADRO 1.6 Bogotá: riesgo por inundación en la zona de la quebrada Limas, curvas de pérdidas

El gráfico 1.6.1 presenta curvas de pérdidas máximas para diferentes periodos de retorno en términos del número de personas afectadas, el número de edificaciones afectadas y las pérdidas económicas directas para la zona de análisis.

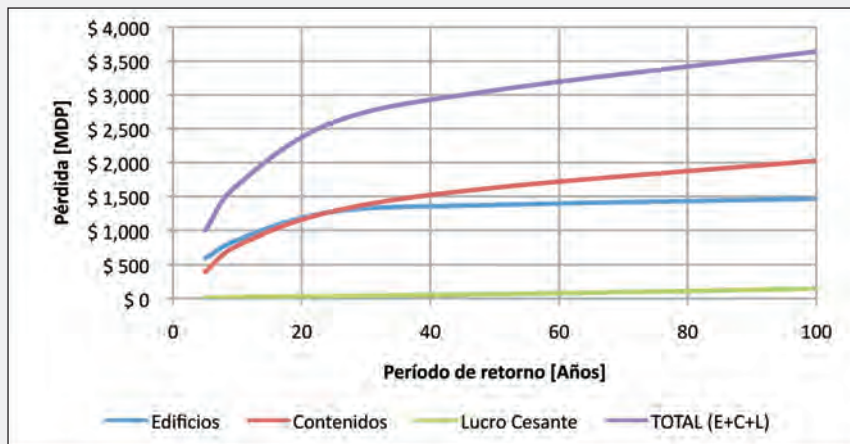
Gráfico 1.6.1 Bogotá: resultados de modelaciones típicas del riesgo por inundación en el caso de la quebrada Limas



Número de personas afectadas



Número de edificaciones afectadas



Pérdidas económicas directas para la zona de análisis

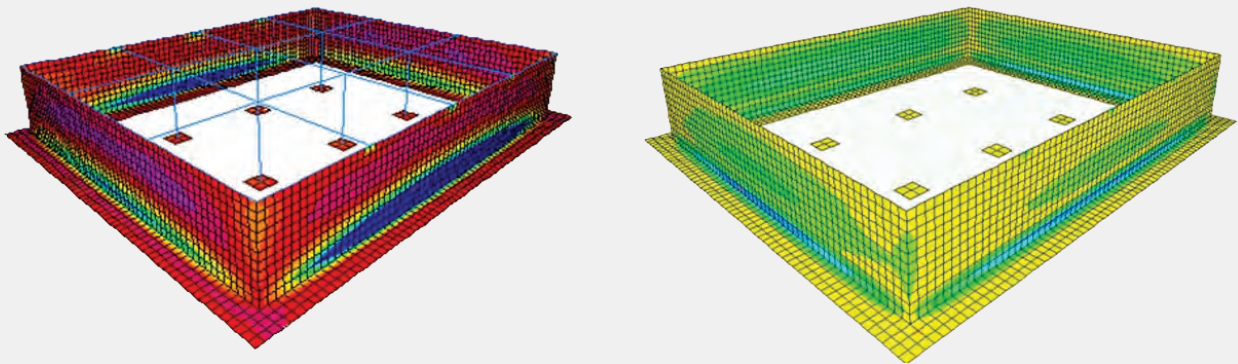
Fuente: MAVDT y Universidad de los Andes, 2006.

RECUADRO 1.7 Evaluación del riesgo en componentes de infraestructura

Entre las aplicaciones de la evaluación del riesgo se han desarrollado en Bogotá estudios puntuales sobre componentes de infraestructura tales como puentes (viales y peatonales) y redes de acueducto y gas natural, así como diseños de intervenciones puntuales de reforzamiento en tanques de almacenamiento de agua y plantas de tratamiento de agua potable.

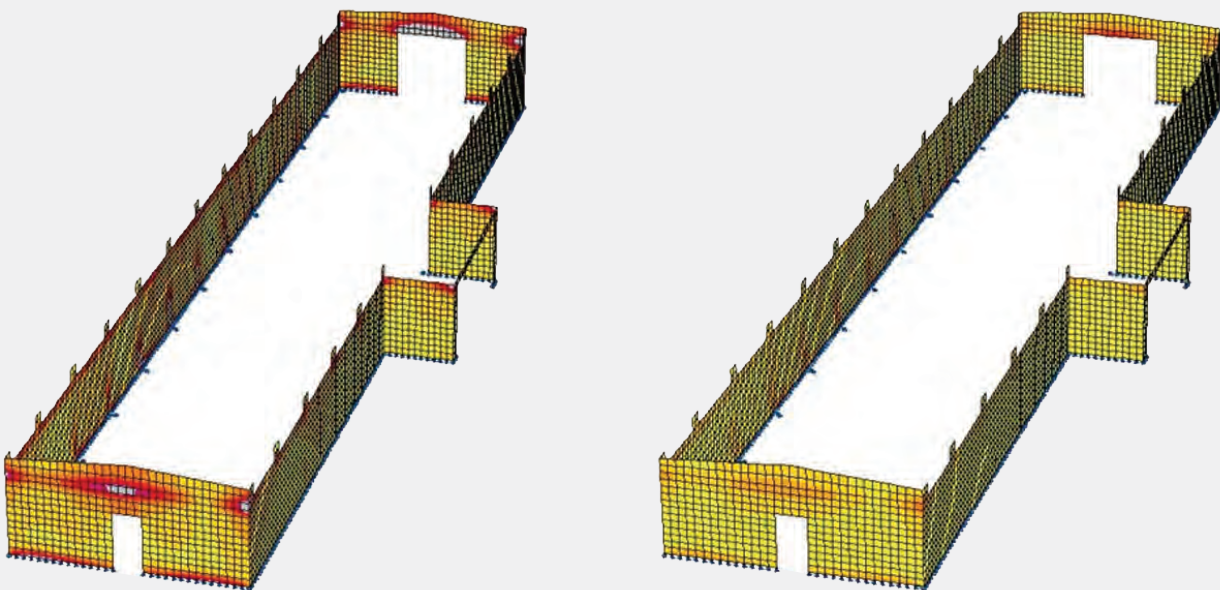
El gráfico 1.7.1 ilustra los resultados comparativos de los esfuerzos esperados ante la acción sísmica en tanques de almacenamiento de agua antes y después de un reforzamiento consistente en la colocación de una cubierta maciza anclada a los muros para conformar un diafragma.

Gráfico 1.7.1 Esfuerzos esperados en las paredes de tanques de almacenamiento de agua potable antes y después del reforzamiento



El gráfico 1.7.2 contiene los resultados comparativos de los esfuerzos esperados en los muros en una de las edificaciones de una planta de tratamiento de agua potable antes y después de un reforzamiento consistente en la colocación de platinas metálicas que confinan los muros de mampostería.

Gráfico 1.7.2 Esfuerzos esperados en los muros de mampostería de una de las edificaciones de una planta de tratamiento de agua potable antes y después del reforzamiento



Fuente: MAVDT y Universidad de los Andes, 2006.

Incertidumbre y precauciones en la estimación del riesgo

Las evaluaciones del riesgo deben considerar el elevado grado de incertidumbre asociado a los parámetros de amenaza y vulnerabilidad. En particular, la estimación de los diferentes efectos se basa en estadísticas y datos disponibles acerca de los eventos pasados. La interpretación de los resultados debe hacerse, por tanto, teniendo en cuenta los márgenes de incertidumbre que resultan del proceso de calibración de los modelos analíticos.

Como consecuencia, la pérdida que se puede presentar en los elementos expuestos, para un escenario determinado, es incierta y por ello debe ser tratada como una variable aleatoria; de este modo, el análisis probabilista considera las incertidumbres mencionadas.

Por otro lado, en la modelación probabilista y en general en cualquier metodología de estimación del riesgo deben tenerse en cuenta una serie de precauciones como las siguientes:

- ▶ Los modelos de análisis están basados por lo general en información histórica que no siempre es completa y, dadas las ventanas de observación, es probable que la mayoría de eventos con potencial destructivo no se hayan registrado aún.
- ▶ Los modelos para la estimación del riesgo son herramientas que ayudan al analista a realizar un proceso riguroso de consideración de las principales variables que definen el nivel del riesgo. Sin embargo, y por tratarse de modelos, los resultados de estos análisis dependen en su totalidad de la confiabilidad de los datos de entrada y, por tanto, el análisis de riesgo debe ser realizado únicamente por personas con el conocimiento técnico suficiente para comprender la complejidad de los modelos, los datos de entrada y los resultados arrojados.
- ▶ Cualquier análisis de amenaza o riesgo debe considerarse en primer lugar la escala geográfica a la cual se desea realizar el análisis, la cual depende de la información disponible y de la aplicación final que se le quiera dar a los resultados.
- ▶ La modelación del riesgo debe ser llevada a cabo

por personas con experiencia y con trayectoria suficiente para poder interpretar los resultados y analizar su consistencia y relevancia, dado el problema real que se analiza.

Referencias bibliográficas

Consortio Evaluación de Riesgos Naturales-América Latina (ERN-AL). 2008. *Central America Probabilistic Risk Assessment (CAPRA)*. Washington D. C.: Banco Mundial y Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Consortio Evaluación de Riesgos Naturales-América Latina (ERN-AL). 2010. Metodología de análisis probabilista de riesgos. En: *Central America Probabilistic Risk Assessment (CAPRA)*. Washington D. C.: Banco Mundial y Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Dirección de Prevención y Atención de Emergencias (DPAE). 2005. *Bogotá sus localidades y amenazas*. [Disponible en: <http://www.fopae.gov.co>].

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). 2006. *Estudio para proponer la metodología para la evaluación, zonificación y reducción de riesgos por inundaciones y avenidas torrenciales y su articulación con los POT*. Bogotá: MAVDT, Universidad de los Andes.

Peduzzi, P.; Chatenoux, B.; Dao, H.; De Bono, A.; Deichmann, U.; Giuliani, G.; Herold, C.; Kalsnes, B.; Kluser, S.; Lovhøyt, F.; Lyon, B.; Maskrey, A.; Mouton, F.; Nadim, F.; Smebye, H. 2010. *The Global Risk Analysis for the 2009 GAR*. Conference Proceedings. Davos: International Disaster and Risk Conference (IDRC).

Yamin, L.; Cardona, O. D. 1997. Seismic Microzonification and Estimation of Earthquake Loss Scenarios: Integrated Risk Mitigation Project of Bogotá, Colombia. *Earthquake Spectra*, 28 (3): 795-814.

Yamin, L. 2007. Modelación del riesgo desde la perspectiva de los desastres. En: Clarke, C. y Pineda, C. (eds.), *Riesgos y desastres*. Su gestión municipal en Centroamérica. Washington D. C.: Banco Interamericano de Desarrollo (BID).



Capítulo 2

Evaluación de las amenazas

Coautor
Gabriel Bernal
*Asistente de investigación, Cimne
Universidad Politécnica de Cataluña*



Marco conceptual

La caracterización de las amenazas debidas a eventos de la naturaleza constituye una de las actividades relevantes para la evaluación del riesgo. La amenaza se caracteriza mediante un conjunto amplio de escenarios, cada uno de ellos con una frecuencia anual media de ocurrencia, llamados eventos estocásticos. Cada evento se representa a su vez mediante la distribución geográfica de parámetros de intensidad que permitan establecer una relación con el daño potencial sobre los elementos expuestos.

Los parámetros de intensidad de la amenaza que se utilizan normalmente para la modelación probabilista del riesgo son aquellos que resultan adecuados para establecer correlaciones con el potencial de daños de los elementos expuestos. Así, la amenaza sísmica se evalúa a través de los parámetros de movimiento del terreno producido por el paso de las ondas, como por ejemplo la aceleración, la velocidad o el desplazamiento máximo de las partículas del terreno en cada ubicación específica.

La amenaza de inundación se evalúa normalmente a través de la profundidad, velocidad y duración de la inundación. La amenaza por fenómenos hidrometeorológicos (por ejemplo, depresiones, tormentas o vendavales) puede evaluarse por parámetros directos, como la velocidad del viento, o por parámetros asociados a sus eventos secundarios derivados, por ejemplo la profundidad, duración o velocidad del flujo asociado en las zonas inundables por efectos de la tormenta.

Finalmente, la amenaza por deslizamiento se caracteriza usualmente mediante un factor de susceptibilidad (por ejemplo, el factor de inestabilidad o inseguridad de las laderas o de susceptibilidad al deslizamiento). En forma alternativa puede caracterizarse mediante la velocidad de materialización de la ruptura de la ladera, el desplazamiento del movimiento de las masas en la ladera o, más simple, la extensión del área que será afectada por el movimiento.

La intensidad de la amenaza se representa en general mediante un parámetro que mide el efecto físico del evento en cada punto geográfico del análisis. Este efecto, por supuesto, varía según la magnitud del evento y su distancia al punto de análisis. Por ejemplo, el efecto de un sismo profundo se atenúa significativamente con la distancia desde el hipocentro. A la inversa, una lluvia corta, pero intensa, puede generar un alud torrencial de lodo, de acuerdo con ciertas características de una cuenca.

Seleccionado el parámetro de intensidad de la amenaza, es necesario determinar la relación entre diferentes niveles de intensidad y sus frecuencias respectivas. Esta relación también puede describirse en términos de la tasa de excedencia de diferentes valores de dicho parámetro. Así, la tasa de excedencia corresponde a la frecuencia anual de ocurrencia de los eventos amenazantes con intensidades iguales o superiores a un nivel específico. Su inverso, el periodo de retorno, corresponde al número promedio de años entre eventos de una determinada intensidad.

Análisis de la amenaza sísmica

El análisis de la amenaza sísmica involucra las etapas descritas a continuación:

Definición del área de influencia

El área de influencia, para el análisis de la amenaza sísmica, corresponde al área geográfica en que se ubican los sismos que podrían llegar a afectar los componentes expuestos. Esta debe incluir todas las fuentes sismogénicas que pueden generar sismos de intensidades considerables, teniendo en cuenta las funciones de atenuación correspondientes. Esta área es por lo general bastante extensa y puede alcanzar radios de influencia del orden de 200 km o más. En algunos casos se deben incluir eventos sísmicos potenciales de gran magnitud, con origen por fuera del área de influencia. De hecho, a pesar de que usualmente los mayores daños corresponden a eventos sísmicos de fuente cercana (en relación con los elementos expuestos), un evento sísmico de elevada magnitud que ocurra a distancias superiores a los 200 km puede generar fenómenos de resonancia y amplificación con los depósitos de suelo y por tanto causar daño bajo ciertas condiciones de vulnerabilidad.

Análisis de los eventos históricos

El análisis de la amenaza involucra, por lo general, la evaluación detallada de los eventos pasados. Los catálogos de eventos históricos pueden ser generados por medios instrumentales, así como por fuentes de información documental. La investigación de eventos pasados debe indagar sobre los efectos locales asociados con cada intensidad del evento y establecer su patrón de recurrencia, esto es, las fechas en las cuales ocurrieron eventos similares en el pasado. Aunque la información histórica es con frecuencia insuficiente (la más reciente es la más confiable), desempeña un papel importante en el

análisis de la amenaza y contribuye a determinar las bases para los análisis posteriores.

El cuadro 2.1, adaptado de MAVDT (2006), contiene una guía práctica para la clasificación de la recurrencia de los eventos en una zona de análisis determinada.

Selección del parámetro de la intensidad sísmica para el análisis

Con el fin de definir la correlación entre la magnitud de un evento y su impacto sobre los elementos expuestos, el analista de riesgo debe primero seleccionar los parámetros de intensidad sísmica específicos que mejor permitan establecer dicha relación.

Cuadro 2.1 Guía práctica para estimar frecuencias e intensidades de los eventos peligrosos

Descripción ocurrencia	Descripción de la intensidad	Número de eventos reportados (en un período de cien años)	Probabilidad anual de ocurrencia	Periodo de recurrencia aproximado
Frecuente	Baja intensidad, pocos efectos	> 10	> 0,10	2 a 5 años
Probable	Intensidad media-baja, algunos efectos y daños	~ 10	~ 0,10	~ 10 años
Ocasional	Intensidad media, daños y efectos considerables	~ 5	~ 0,05	~ 20 años
Remota	Intensidad alta, daños y efectos graves	~ 1	~ 0,01	~ 100 años
Improbable	Intensidad muy alta, evento con características catastróficas	< 1	< 0,01	200 a 500 años

Fuente: adaptación de MAVDT y Universidad de los Andes, 2006.

Nota: ~ significa aproximado.

La tabla 2.1 presenta los parámetros de intensidad sísmica comúnmente utilizados, con el fin de esta-

blecer la correlación con el daño para diferentes tipos estructurales o componentes.

Tabla 2.1 Parámetros de intensidad de la amenaza y los componentes a los que afecta

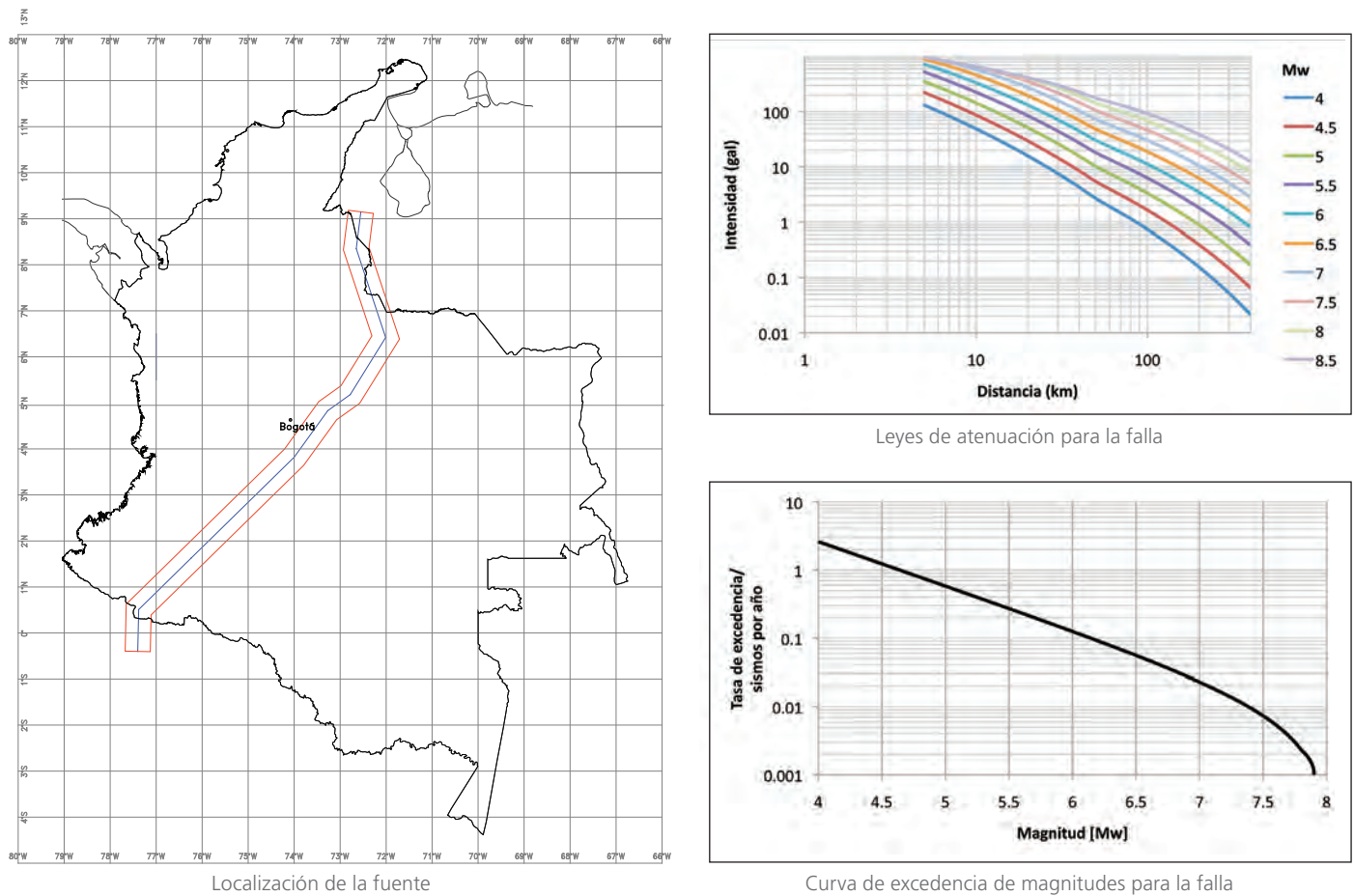
Parámetro de intensidad de la amenaza	Tipo de componente de mejor correlación para estimar el daño
Aceleración máxima del terreno	Estructuras de tierra, estructuras rígidas de baja altura (por ejemplo, tanques, casas de un piso, construcciones en mampostería).
Aceleración espectral	Edificaciones de altura baja o intermedia, sensibles a las aceleraciones, en general rígidas (por ejemplo, edificios de mampostería de altura intermedia, edificios de pórticos o muros de concreto de baja altura).
Desplazamiento máximo del terreno	Estructuras superficiales lineales cuyos apoyos se encuentren a distancias considerables unos de otros (por ejemplo, puentes y viaductos).
Desplazamiento espectral	Edificaciones de diferentes alturas, relativamente flexibles, sensibles a los desplazamientos (por ejemplo, pórticos resistentes a momentos o sistemas combinados de altura intermedia).
Velocidad máxima	Estructuras lineales semienterradas (por ejemplo, tuberías, túneles, alcantarillados).

Caracterización de las fuentes sismogénicas

Para el análisis de la amenaza sísmica se debe identificar y caracterizar cada una de las fuentes sismogénicas en el área de influencia. Debe determinarse su ubicación geográfica, la geometría (buzamiento y profundidad), la tasa de ocurrencia de los eventos

de cada rango de magnitud, la magnitud máxima que cada fuente puede llegar a generar y su función de atenuación de intensidades (o ecuación predictiva del movimiento del suelo). El gráfico 2.1 ilustra la caracterización de la Fuente Frontal de la Cordillera Oriental, que es la fuente sísmica que controla la amenaza de Bogotá (AIS y Salgado et ál., 2010).

Gráfico 2.1 Colombia: caracterización de la Fuente Frontal de la Cordillera Oriental para efectos de evaluación de la amenaza sísmica



Parámetros principales	
Longitud	> 200 km
Profundidad media de eventos	30 km
Magnitud máxima	7,7

Fuente: AIS y Salgado et ál., 2010.

Representación estocástica de la amenaza

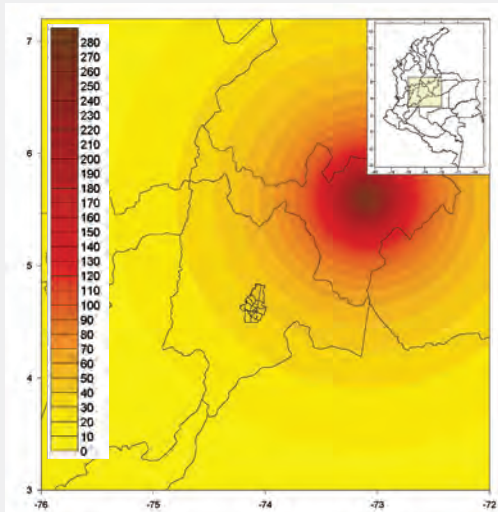
La amenaza sísmica en el área de análisis puede representarse mediante un conjunto de eventos estocásticos correspondientes a todas las magnitudes y localizaciones posibles de sismos en cada una de las fuentes sismogénicas. Cada uno de estos eventos tendrá

asignada una frecuencia de ocurrencia y generará una distribución particular de las intensidades sísmicas. El recuadro 2.1 recoge la información generada para evaluar la amenaza sísmica en Bogotá, representada mediante diferentes mapas de aceleración máxima en basamento rocoso y para diferentes eventos estocásticos probables (DPAE y Universidad de los Andes, 2006).

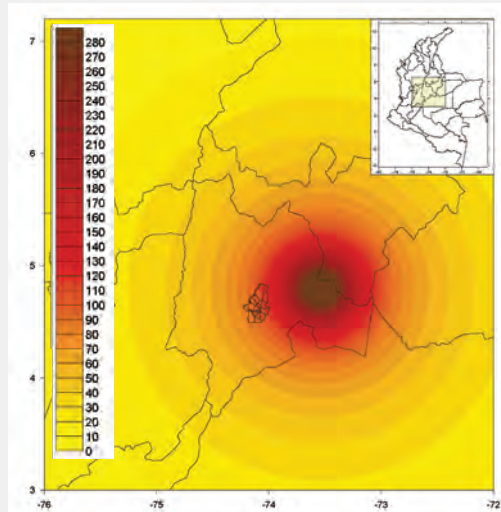
RECUADRO 2.1 Bogotá: eventos estocásticos representativos de la amenaza sísmica

La amenaza sísmica en Bogotá puede representarse mediante un conjunto de eventos estocásticos que configuran todos los posibles sismos con efectos importantes en el área de influencia de la ciudad. Los mapas 2.1.1 ilustran algunos de los eventos representativos de la amenaza sísmica de la ciudad, en términos de la aceleración máxima del terreno (en suelo firme) y su respectiva frecuencia de ocurrencia.

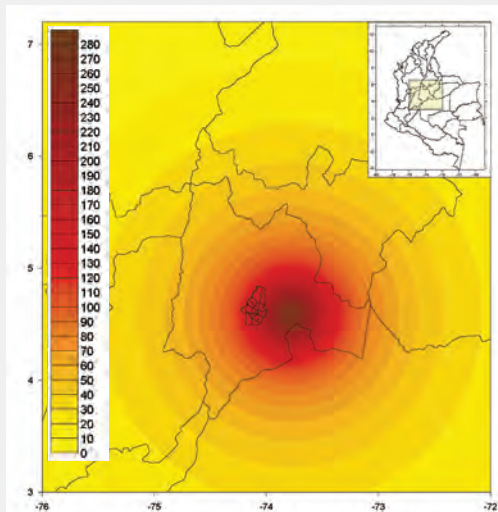
Mapas 2.1.1 Bogotá: eventos estocásticos representativos de la amenaza sísmica
Aceleración máxima en basamento rocoso (en gales)



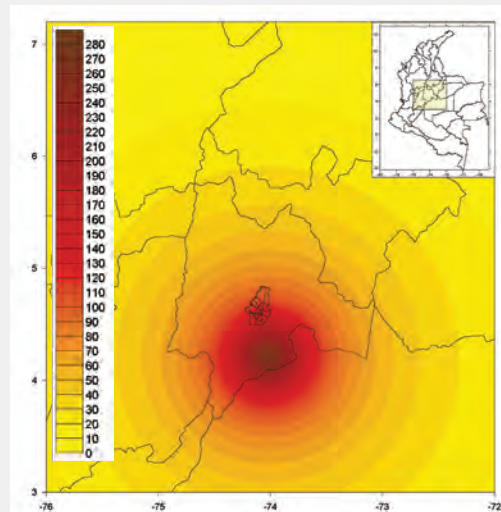
Sismo de magnitud 7.8 a 120 km al noreste de Bogotá
Frecuencia = 8.2×10^{-4} año



Sismo de magnitud 7.8 a 57 km al este de Bogotá
Frecuencia = 8.2×10^{-4} año



Sismo de magnitud 7.3 a 40 km al este de Bogotá
Frecuencia = 2.2×10^{-4} año



Sismo de magnitud 6.7 a 52 km al sur de Bogotá
Frecuencia = 8.2×10^{-4} año

Fuente: DPAE y Universidad de los Andes, 2006.

Representación de la amenaza en términos probabilistas

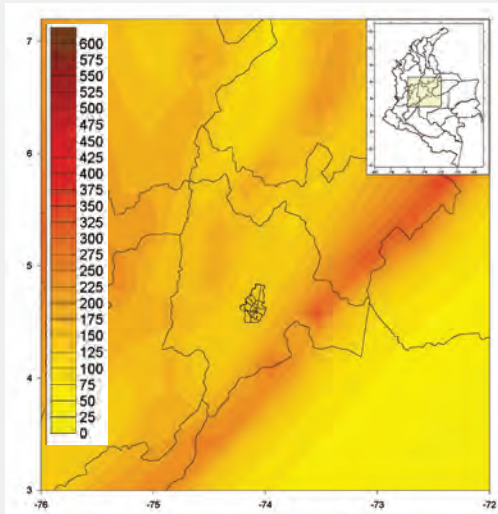
La amenaza sísmica, en términos probabilistas, se evalúa mediante la integración ponderada de las intensidades sísmicas de cada uno de los eventos estocásticos que representan los escenarios de la amenaza. Dicha amenaza se expresa, a menudo, en términos de los parámetros de intensidad, como la

aceleración, la velocidad o el desplazamiento máximo del terreno o cualquiera de las medidas espectrales. En ERN-AL (2010) se describe la metodología detallada para la evaluación de la amenaza sísmica en términos probabilistas. El recuadro 2.2 presenta algunos mapas representativos de la amenaza sísmica calculada de manera probabilista para el basamento rocoso de Bogotá.

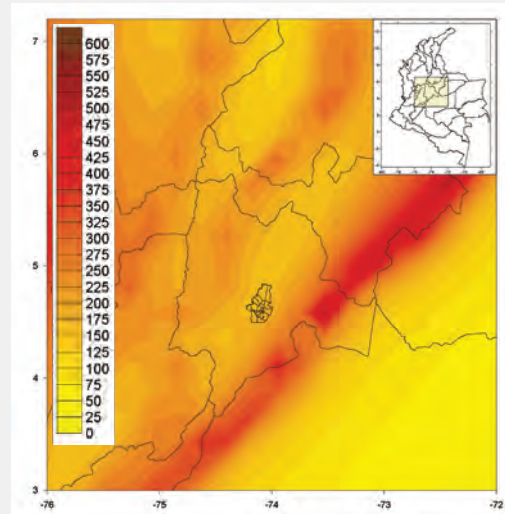
RECUADRO 2.2 Amenaza sísmica en términos probabilistas

Los mapas 2.2.1 condensan amenazas sísmicas en el basamento rocoso de la zona del Distrito Capital y sus alrededores. La amenaza se presenta en términos de aceleración máxima en el basamento rocoso (sin tener en cuenta la respuesta local del subsuelo), para diferentes periodos de retorno, $T_{ret} = 250, 500, 1.000$ y 2.500 años.

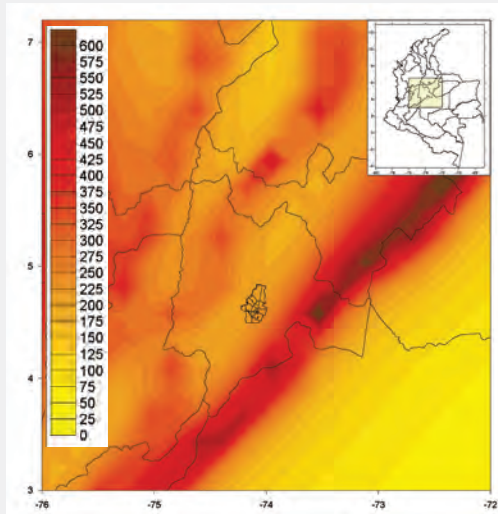
Mapas 2.2.1 Aceleración máxima del basamento rocoso (en gales) para diferentes periodos de retorno en el área de influencia alrededor de Bogotá



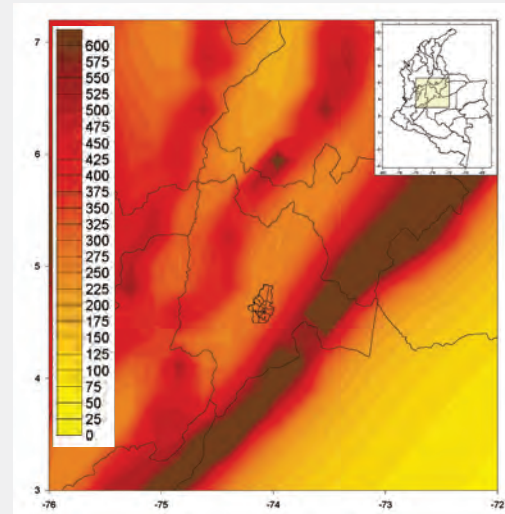
Periodo de retorno 250 años



Periodo de retorno 500 años



Periodo de retorno 1.000 años



Periodo de retorno 2.500 años

Fuente: DPAE y Universidad de los Andes, 2006.

Microzonificación sísmica

La señal sísmica incidente en los estratos rocosos profundos se modifica de manera sustancial como resultado de la respuesta sísmica de los depósitos de suelo blandos más superficiales. Las propiedades geotécnicas de los depósitos de suelo sobre los cuales están cimentados los diferentes tipos de construcciones definen las características finales del movimiento sísmico que puede afectar a la construcción misma. La evaluación y caracterización de la respuesta sísmica de estos suelos superficiales, en diferentes puntos de una ciudad, se conoce comúnmente como “estudio de microzonificación sísmica”.

En el gráfico 2.2 se muestran los registros del sismo de Quetame (Colombia) de 2008, tomados por los instrumentos instalados por la Red Sismológica Nacional de Colombia (Ingeominas, 2008) en la estación “Ingeominas” en Bogotá. El registro inferior corresponde a la historia de aceleraciones en la roca base, mientras que la señal superior corresponde a la historia de aceleraciones registrada en la superficie del terreno. La figura permite visualizar con claridad la modificación de la señal incidente en el nivel de la roca base en profundidad, con respecto a la señal en superficie, demostrando con ello la relevancia de la respuesta local de los suelos en la amenaza sísmica de una ciudad o región.

En la literatura se han descrito (Alcaldía de Manizales y Universidad de los Andes, 2002; CVC, 2005; DPAE y Universidad de los Andes, 2006; DPAE, s. f.; Ingeominas, s. f.; Universidad de los Andes e Ingeominas, 1997; Ordaz et ál., 1994; Yamin et ál., 2004) diferentes métodos para realizar estudios de microzonificación sísmica en ciudades. Los más utilizados son los siguientes:

- ▶ Mediante la instrumentación de la zona de estudio: consiste en colocar instrumentos en un número suficiente de puntos dentro del área de estudio para registrar la respuesta dinámica de los suelos, teniendo en cuenta el grado de heterogeneidad del subsuelo. Entre más heterogéneo sea el suelo, más equipos se requieren. Este método solo resulta práctico en ciudades afectadas por eventos sísmicos en forma frecuente.
- ▶ Mediante la investigación geotécnica y la estimación analítica de la respuesta sísmica-dinámica: consiste en estudiar, mediante métodos directos e indirectos, las propiedades estáticas y dinámicas de los depósitos de suelos superficiales y evaluar analíticamente la respuesta dinámica de dichos depósitos. Los métodos analíticos se calibran a

través de mediciones de campo o con la interpretación de registros de instrumentos o acelerógrafos instalados.

- ▶ Métodos empíricos: basados en la observación de la respuesta durante eventos reales. Estos métodos son en general muy simplificados y tienen solo carácter indicativo.

La ciudad de Bogotá ha empleado una combinación de las metodologías anteriores en los estudios de microzonificación que viene realizando desde 1990 (Universidad de los Andes e Ingeominas, 1997; DPAE y Universidad de los Andes, 2006).

Amenaza sísmica para el diseño de estructuras

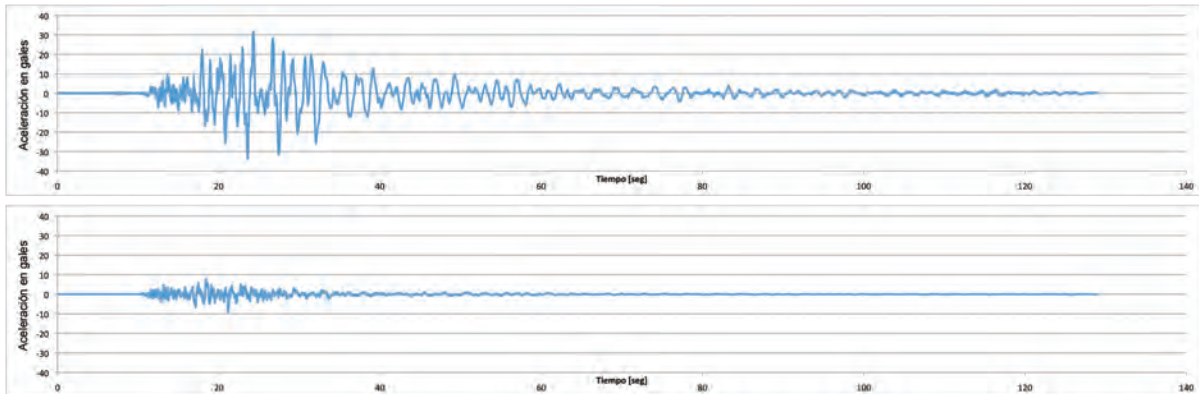
La respuesta sísmica de una edificación depende de una serie de parámetros, de los cuales los principales son el peso, la rigidez, el amortiguamiento y el periodo de vibración natural (T_e), que corresponde al tiempo requerido para una oscilación libre de la edificación.

Así, para una señal sísmica cualquiera que actúa en el nivel de la cimentación de la estructura, se pueden calcular los valores de la respuesta máxima del edificio en términos de aceleración, velocidad o desplazamiento. Al repetir el cálculo para edificaciones con diferentes periodos de vibración, se puede construir una curva que represente la respuesta sísmica máxima para edificios con diferentes periodos estructurales. Este gráfico se conoce como “espectro de respuesta” y puede calcularse en términos de aceleración, velocidad o desplazamiento máximo de la estructura. El gráfico 2.3 se refiere, por ejemplo, a los espectros de respuesta en términos de aceleración y desplazamiento en relación con las señales registradas del sismo de Quetame de 2008, para edificaciones con un amortiguamiento del 5%, un valor típico supuesto para edificaciones convencionales.

Los espectros de diseño se obtienen a partir de los espectros de respuesta para una familia de acelerogramas representativos de sismos esperados en la ciudad, según el periodo de retorno establecido para el diseño de estructuras. Estos espectros de diseño se incorporan en la normativa para el diseño sismo-resistente de edificaciones de la ciudad.

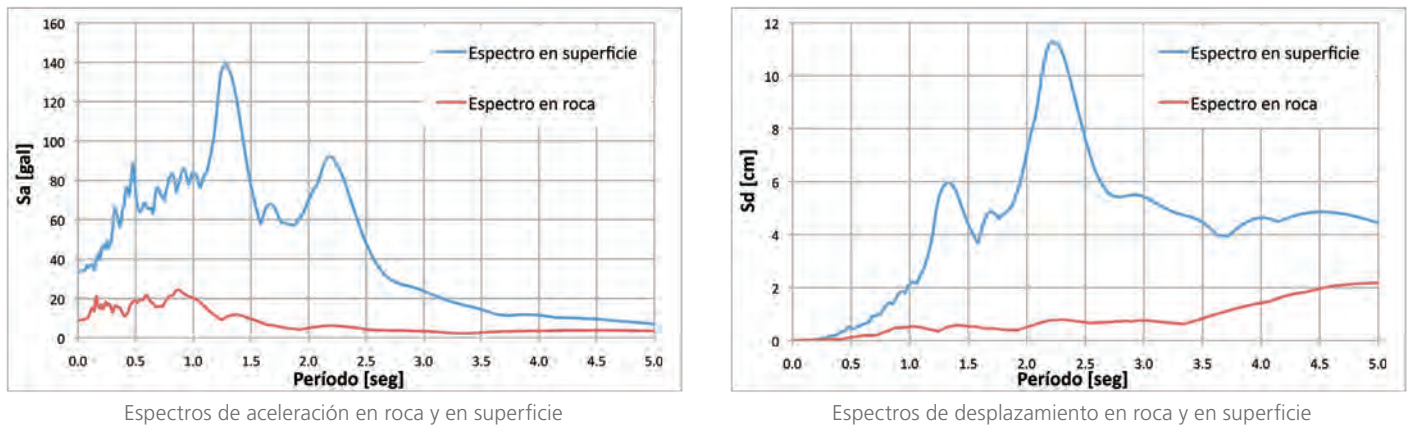
Los recuadros 2.3, 2.4 y 2.5 plantean diferentes maneras de visualizar la amenaza sísmica en la superficie del terreno, y en términos probabilistas y de acuerdo con estudios recientes realizados en la ciudad (DPAE y Universidad de los Andes, 2006).

Gráfico 2.2 Bogotá: registros de la aceleración del sismo de Quetame de 2008, en el basamento rocoso (gráfico inferior) y en la superficie del suelo (gráfico superior). Estación Ingeominas



Fuente: Ingeominas, 2008.

Gráfico 2.3 Ejemplo de espectro de respuesta en términos de aceleraciones y desplazamientos en relación con los registros del sismo de Quetame del gráfico 2.2 para estructuras con 5% de amortiguamiento con respecto al crítico



Análisis de la amenaza por inundación

Las inundaciones son eventos caracterizados por el tránsito o acumulación de agua por fuera de los cauces de los ríos (lechos mayores) y áreas de reserva hídrica de las redes de drenaje naturales o construidas. Típicamente, se generan por la combinación de lluvias intensas, cambios en las condiciones del flujo en los ríos; otras veces, por la fallas en los sistemas o estructuras construidos para la regulación hidráulica, por procesos de urbanización inadecuados –por ejemplo, cuando se construye por debajo de las cotas de los ríos en zonas potencialmente inundables– o simplemente por manejo inadecuado de basuras o

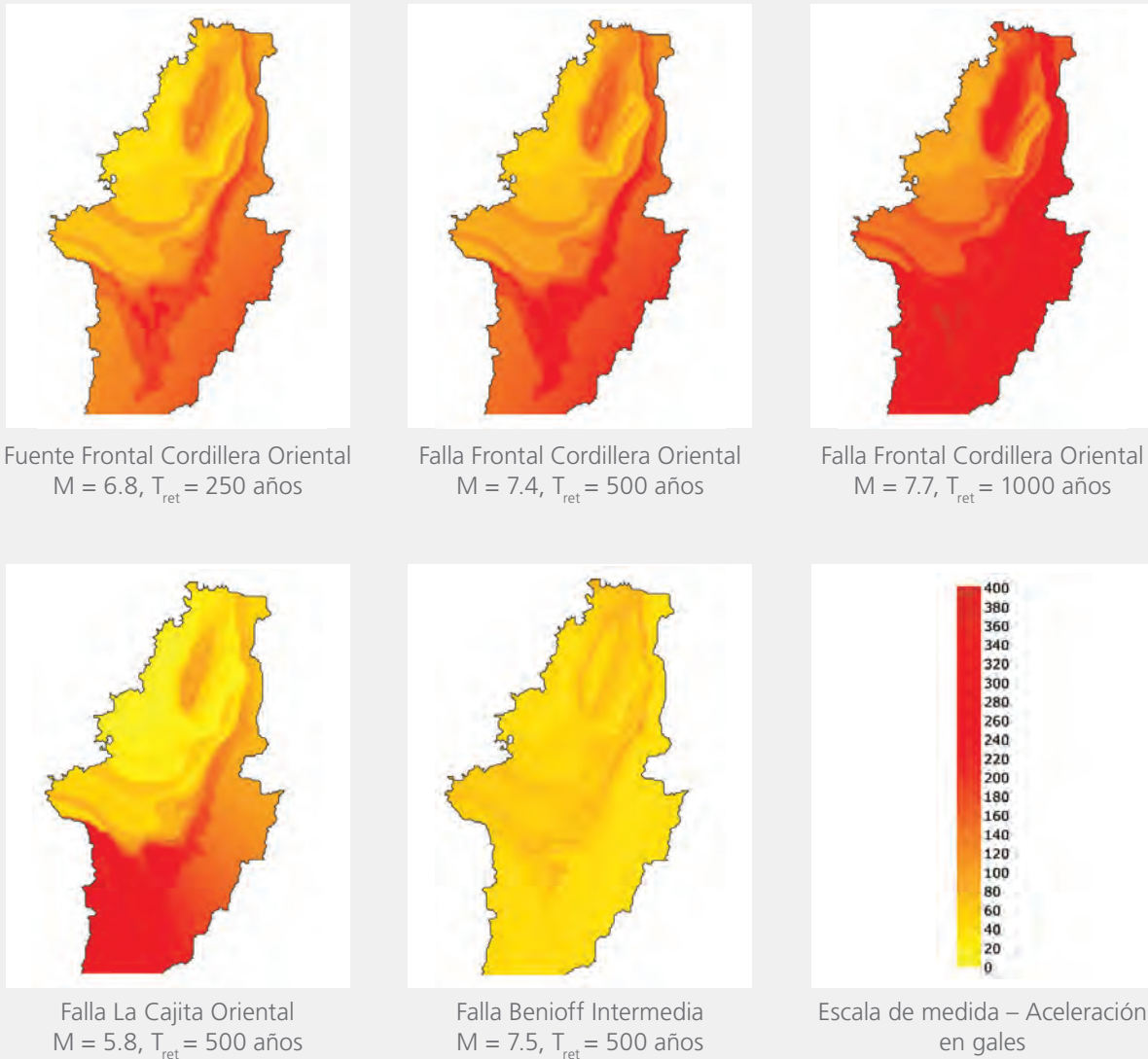
invasión de las rondas de los ríos. Las inundaciones son eventos recurrentes, propios de la dinámica natural de las cuencas hidrográficas.

El análisis de la amenaza de inundación involucra tres fases principales: (a) el análisis geomorfológico de la cuenca y el cauce del río, (b) los modelos hidrológicos y (c) los modelos hidráulicos. Con el primero se busca, esencialmente, investigar la dinámica histórica del río, con el segundo se intenta modelar la respuesta del sistema fluvial a los eventos climatológicos y con el tercero se busca establecer las características de una inundación potencial en un determinado tramo del cauce de un río o zona inundable (ERN-AL, 2010; MAVDT y Universidad de los Andes, 2006).

RECUADRO 2.3 Bogotá: escenarios de la amenaza sísmica de la superficie del terreno

A partir de la caracterización de la respuesta dinámica de los suelos de la ciudad es posible obtener la representación de la intensidad de la amenaza, en el nivel de la superficie del terreno, para diferentes escenarios estocásticos. Los mapas 2.3.1 ilustran algunos eventos significativos de la amenaza de la ciudad de Bogotá, en términos de la aceleración máxima en la superficie. Se indican la fuente generadora, la magnitud y el periodo de retorno (T_{ret}) asociados a dicho evento (capítulo 7).

Mapas 2.3.1 Bogotá: aceleración máxima en la superficie del terreno (en gales) para diferentes escenarios sísmicos



Fuente: DPAE y Universidad de los Andes, 2006.

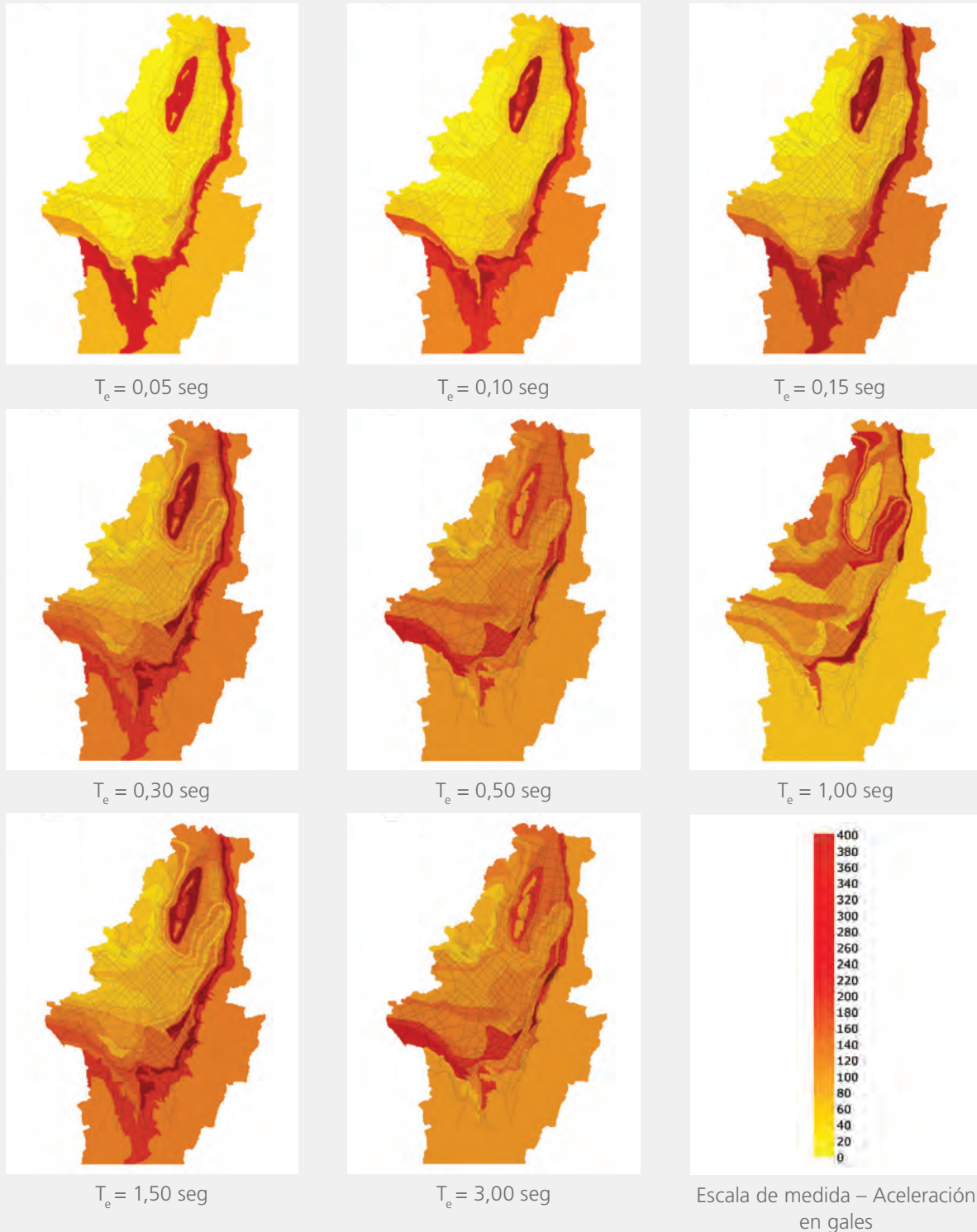
Una inundación puede caracterizarse a través de uno o varios parámetros, como por ejemplo el área inundada, la profundidad de inundación en cada punto, la velocidad del flujo, el tiempo de arribo (concentración) y el tiempo de inundación. Dado

que las lluvias y tormentas que disparan las inundaciones pueden representarse como un conjunto de eventos estocásticos con determinadas características de intensidad y frecuencia de ocurrencia, los modelos hidrográficos e hidráulicos permiten esta-

RECUADRO 2.4 Bogotá: mapas de aceleración espectral para un periodo de retorno $T_r = 475$ años

Los mapas 2.4.1 ilustran la aceleración espectral en la superficie del terreno para la ciudad de Bogotá, correspondiente con un periodo de retorno fijo de 475 años y para diferentes periodos de vibración estructural, T_e (0,05 s, 0,10 s, 0,15 s, 0,30 s, 0,5 s, 1,0 s, 1,5 s, y 3,0 s).

Mapas 2.4.1 Bogotá: mapas de aceleración espectral (en gales) para $T_{ret} = 475$ años para diferentes periodos estructurales

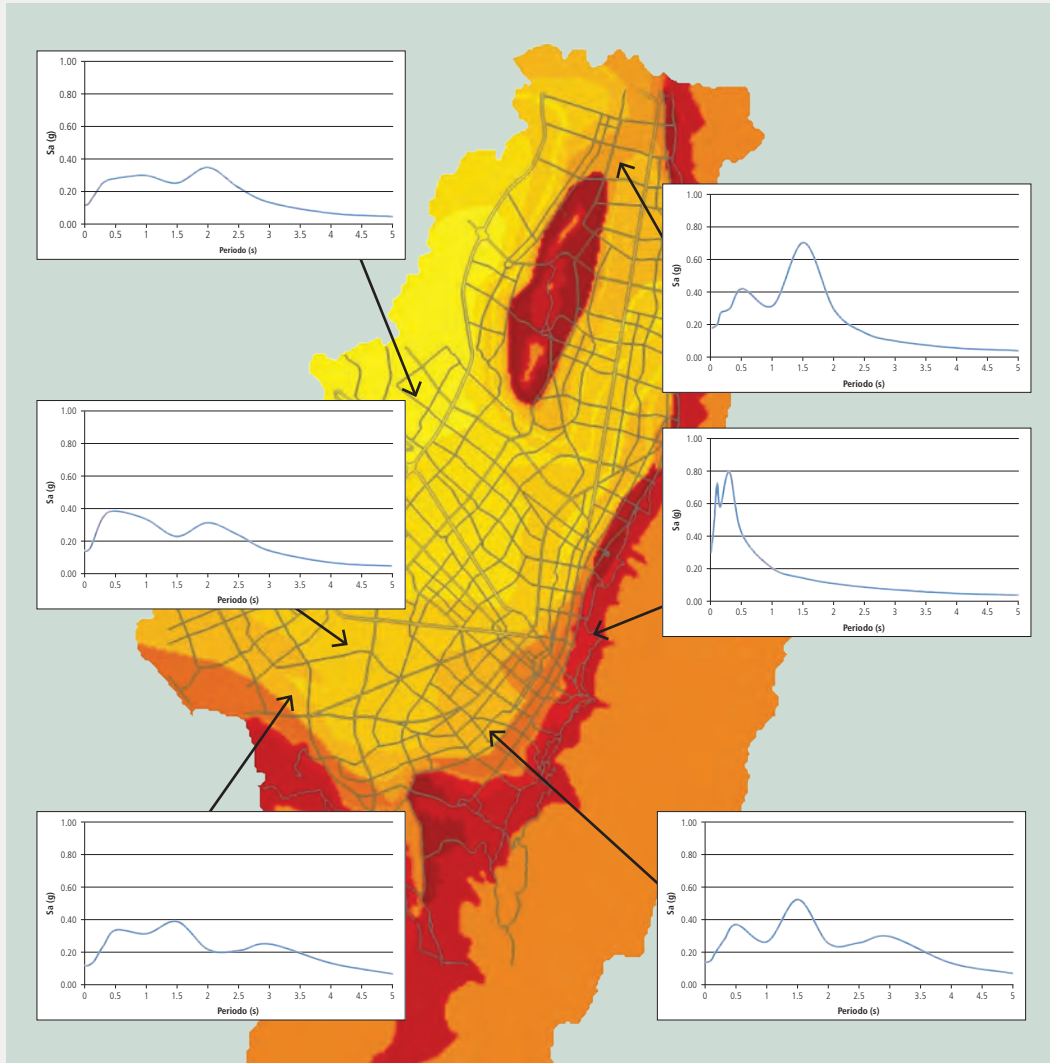


Fuente: DPAE y Universidad de los Andes, 2006.

RECUADRO 2.5 Bogotá: espectros de amenaza sísmica uniforme

A partir de la información contenida en los mapas anteriores es posible obtener los espectros de amenaza uniforme para cada ubicación geográfica dentro de la ciudad. Los espectros de amenaza uniforme se utilizan para construir espectros de diseño que se incorporan en las normativas sobre el diseño sismorresistente de edificaciones en la ciudad. El mapa 2.5.1 recoge la microzonificación sísmica de Bogotá, junto con algunos espectros de amenaza uniforme en puntos seleccionados dentro del área urbana. Se debe observar la diferencia en las intensidades de diseño para los distintos tipos estructurales y su ubicación relativa en la ciudad.

Mapa 2.5.1 Bogotá: espectros de amenaza uniforme y de diseño en puntos seleccionados de Bogotá. $T_r = 475$ años



Fuente: DPAE y Universidad de los Andes, 2006.

blecer la relación entre el periodo de retorno de una determinada tormenta y los parámetros de intensidad de la inundación.

La evaluación de la amenaza por inundación, en un territorio determinado, involucra las actividades que se indican a continuación (ERN-AL, 2010).

Definición del área de influencia

El área de influencia, en un análisis de amenaza de inundación, corresponde tanto a la cuenca hidrográfica en la que está localizada el río en estudio como al área potencialmente inundable (planicie de inundación, lecho mayor). El área de influencia

puede cambiar según el nivel de resolución de los estudios y sus objetivos.

Análisis geomorfológico

Comprende el análisis de la dinámica fluvial del área de estudio a partir del análisis multitemporal y las evidencias en el terreno. Se busca obtener evidencias o datos históricos de las inundaciones pasadas (profundidad y extensión), caracterizar el sistema fluvial (terrazas, paleocauces, diques, etcétera), caracterizar la dinámica de los taludes del cauce y de la cuenca (deslizamientos, erosión, etcétera) y estimar los periodos de retorno de los posibles eventos extremos en el futuro.

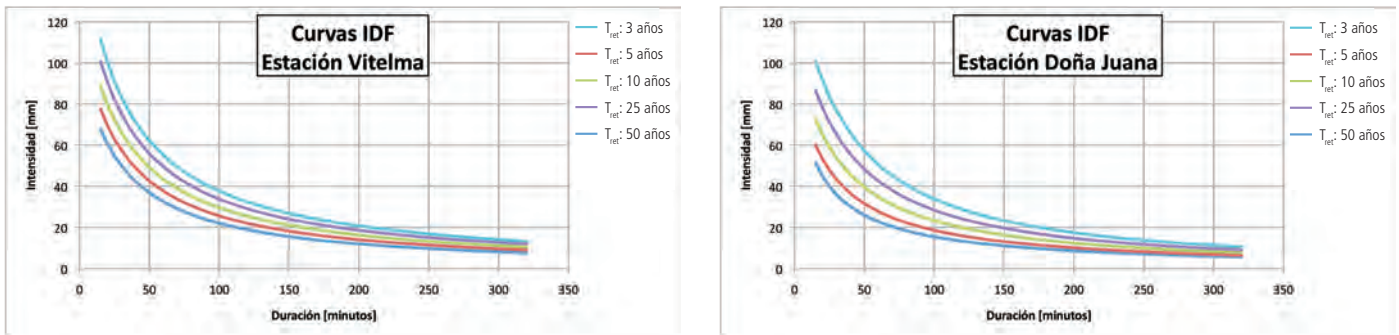
Caracterización hidrológica de la cuenca

Involucra el análisis de los registros de la lluvia diaria o bien horaria de varios años, para diferentes

estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca de estudio o sus alrededores. Las series de lluvias se modelan utilizando funciones de probabilidad que permiten determinar las siguientes curvas características, típicas para cada cuenca:

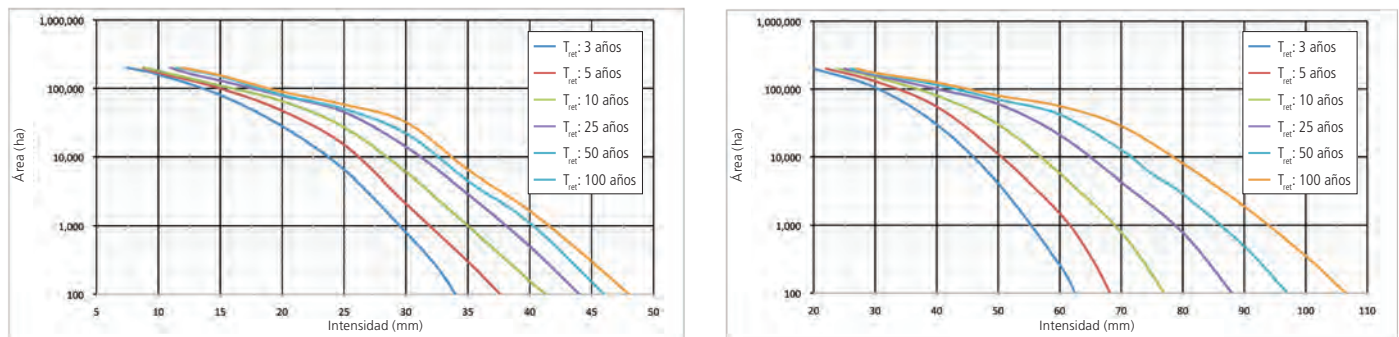
- ▶ *Curva intensidad-duración-frecuencia (IDF)*: representa la relación entre la intensidad de la lluvia (normalmente medida en mm de agua) y su duración, para diferentes frecuencias de ocurrencia. El gráfico 2.4 expone curvas típicas IDF para una de las cuencas al sur de la ciudad de Bogotá (DPAE, 2005).
- ▶ *Curva intensidad-área-duración-frecuencia (IADF)*: representa la relación entre la intensidad o profundidad de agua, el área asociada a cada intensidad de precipitación y la duración y frecuencia de ocurrencia de las tormentas en la cuenca analizada. El gráfico 2.5 condensa varias curvas típicas IADF para Bogotá, para el caso de eventos con duración de una hora y doce horas, respectivamente (DPAE, 2005).

Gráfico 2.4 Curvas típicas de intensidad-duración-frecuencia (IDF)



Fuente: DPAE, 2005.

Gráfico 2.5 Bogotá: curvas típicas intensidad-área-duración-frecuencia para eventos con diferentes duraciones (IADF)



Duración = 1 hora

Duración = 12 horas

Fuente: DPAE, 2005.

Tormentas estocásticas

Las curvas IADF se utilizan para generar un conjunto de tormentas estocásticas que representan integralmente la amenaza de las lluvias intensas en la región. Cada una de ellas tiene asociada una frecuencia de ocurrencia determinada. El mapa 2.1 detalla algunas tormentas obtenidas estocásticamente que pueden considerarse como características para Bogotá.

Modelos hidrológicos

Con base en los resultados del análisis geomorfológico, las características morfométricas de las corrientes y la caracterización estocástica hidrológica de la cuenca a través de los eventos posibles, se realiza un análisis hidrológico. Este tiene como objetivo determinar los caudales máximos en el tiempo (hidrogramas) que genera cada una de las tormentas estocásticas en varios puntos de interés específico, como por ejemplo los puntos de entrada a la planicie de inundación.

Modelos hidráulicos

A partir de los caudales estimados en el modelo hidrológico, se construye un modelo de la condición de flujo para cada creciente, en los tramos del río bajo análisis. Para ello se requiere información detallada de la topografía del área de influencia, la batimetría de los tramos de cauce y otras características, como por ejemplo la rugosidad, las cargas de sedimentos y las condiciones de borde. De esta forma, es posi-

ble obtener el conjunto estocástico de escenarios de inundación para diferentes periodos de retorno y sus características físicas principales (descritas en términos de su intensidad). El recuadro 2.6 se refiere a algunos ejemplos de los resultados de la aplicación de los modelos hidráulicos en la quebrada Limas en Bogotá (MAVDT y Universidad de los Andes, 2006).

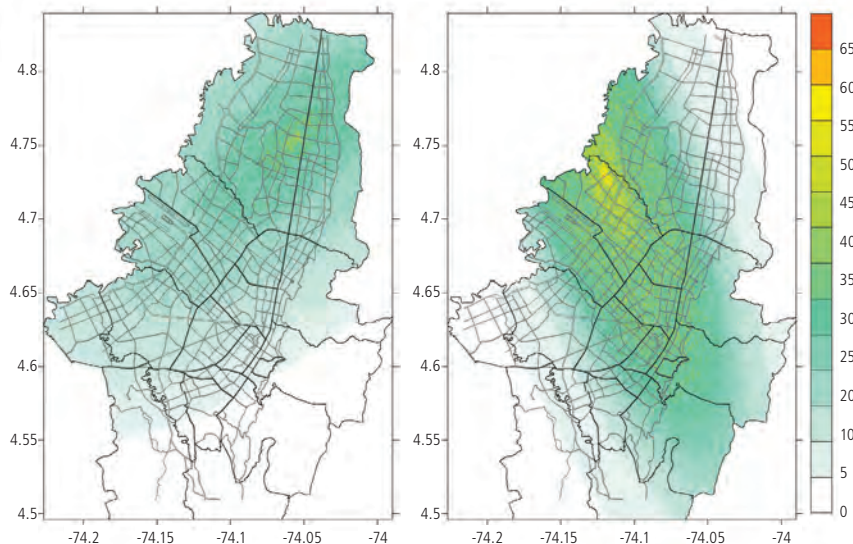
Representación de la amenaza

La amenaza de inundación en un área determinada puede representarse, en términos probabilistas, como un conjunto de eventos estocásticos, cada uno de los cuales genera una distribución particular de intensidades (frecuentemente definida por la profundidad de inundación) en el área de análisis. Este conjunto de eventos abarca todas las intensidades y distribuciones de eventos de inundación que pudiesen ocurrir y afectar la zona de análisis. También se puede representar mediante mapas de amenaza probabilistas cada uno de aquellos, asociado a un periodo de retorno determinado. El recuadro 2.7 resume los resultados obtenidos en Bogotá en el estudio de amenaza de inundación en la quebrada Limas (MAVDT y Universidad de los Andes, 2006).

Mapas de amenaza de inundación

Para producir una sola representación de la amenaza por inundación, se deben seleccionar diferentes periodos de retorno, con el fin de establecer distintos niveles de la amenaza.

Mapa 2.1 Bogotá: tormentas estocásticas características para tormentas de una hora de duración y periodos de retorno de 3 años (izquierda) y 100 años (derecha) [mm]



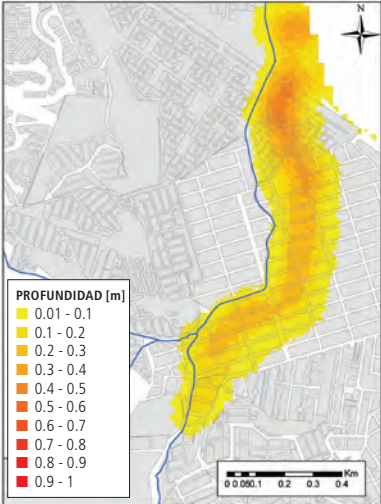
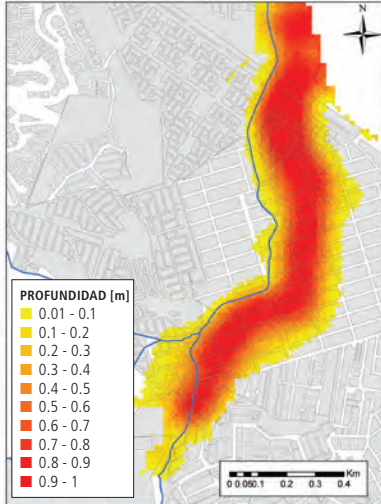
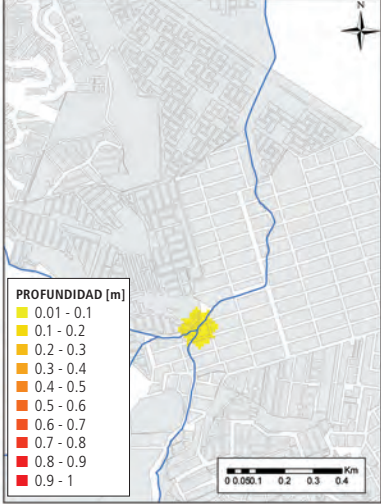
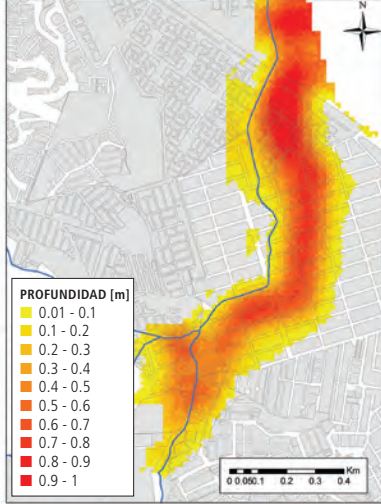
RECUADRO 2.6 Modelos y mapas de inundación

Los modelos de inundación se utilizan para evaluar el impacto posible de las obras de mitigación. En estos casos, el análisis se realiza para el escenario original (actual) y para el escenario que incluye las obras de mitigación, y se estudian ambos casos para diferentes periodos de retorno.

De este modo, las obras de mitigación se diseñan para un evento con un periodo de retorno definido. Los mapas 2.6.1 presentan la inundación para los casos actual y de realización de una serie de obras de mitigación en la quebrada Limas en Bogotá.

Como se ilustra, las obras de mitigación propuestas funcionan bien para un evento con periodo de retorno de cien años pero no tienen mucha utilidad para eventos extraordinarios como el que aquí se ilustra. El costo de las obras diseñadas para el evento extraordinario descrito sería mucho más alto que el de las diseñadas para el evento de los 100 años de periodo de retorno.

Mapas 2.6.1 Mapas de amenaza por inundaciones sin y con obras de mitigación para la quebrada Limas

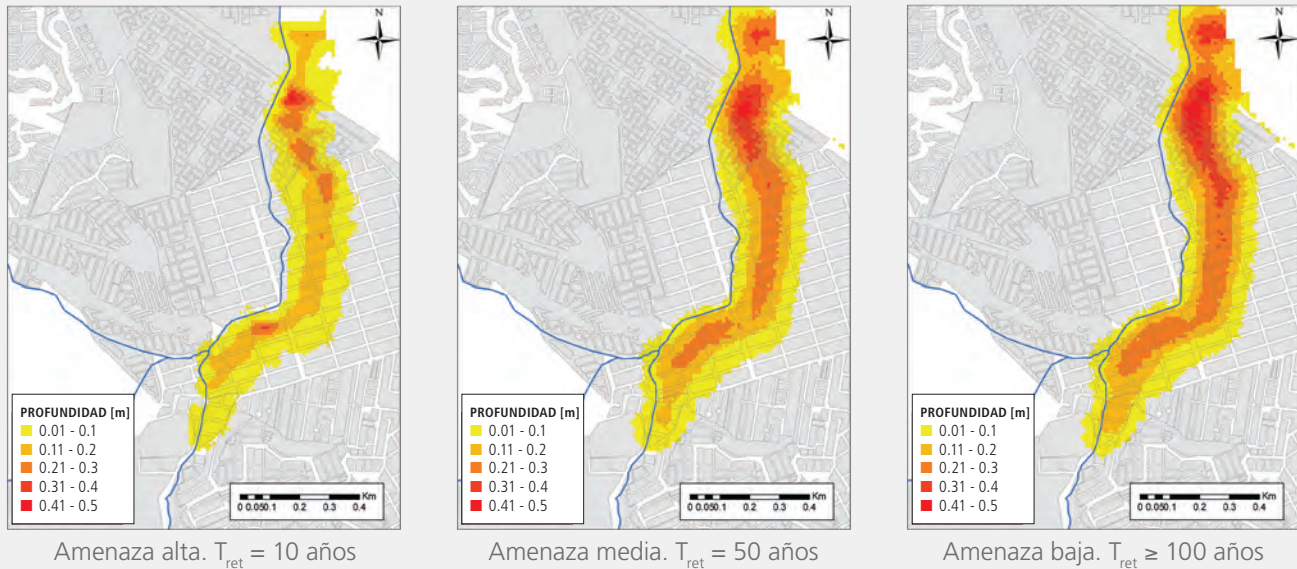
Mapa de amenaza T = 100 años	Mapa de amenaza. Evento extraordinario	Situación de análisis
		Situación original
		Situación hipotética con obras de mitigación

Fuente: MAVDT y Universidad de los Andes, 2006.

RECUADRO 2.7 Bogotá: zonas de amenaza en la quebrada Limas

El mapa 2.7.1 presenta las condiciones globales de amenaza actual (sin obras de mitigación), para escenarios con periodos de retorno de diez, cincuenta y cien años.

Mapa 2.7.1 Bogotá: Mapas de amenaza por inundaciones de la quebrada Limas para escenarios con diferentes periodos de retorno



Fuente: MAVDT y Universidad de los Andes, 2006.

Los mapas de amenaza de inundación para diferentes periodos de retorno tienen dos propósitos generales:

- ▶ Determinar la extensión de las zonas inundables y la intensidad de los posibles eventos.
- ▶ Definir el tipo de obras de mitigación que se requieren para evitar las inundaciones, en función del periodo de retorno del diseño. A mayor periodo de retorno seleccionado, mayor será la intensidad del evento y, por tanto, mayor el costo de las obras requeridas para su mitigación.

Al utilizar los mapas de inundación para diferentes periodos de retorno, se pueden plantear zonas de susceptibilidad baja, media y alta de la inundación. El criterio expuesto en el cuadro 2.2 (adaptado de MAVDT, 2006) se utiliza comúnmente para definir zonas de amenaza por inundación. En este se incluyen tanto el periodo de retorno como la gravedad de los efectos para calificar el nivel de amenaza.

El recuadro 2.8 recoge una propuesta de mapa de amenaza de inundación en las zonas aledañas a la quebrada Limas, para la situación actual en términos de las condiciones físicas del cauce.

Cuadro 2.2 Parámetros para la determinación de las zonas de amenaza de inundación

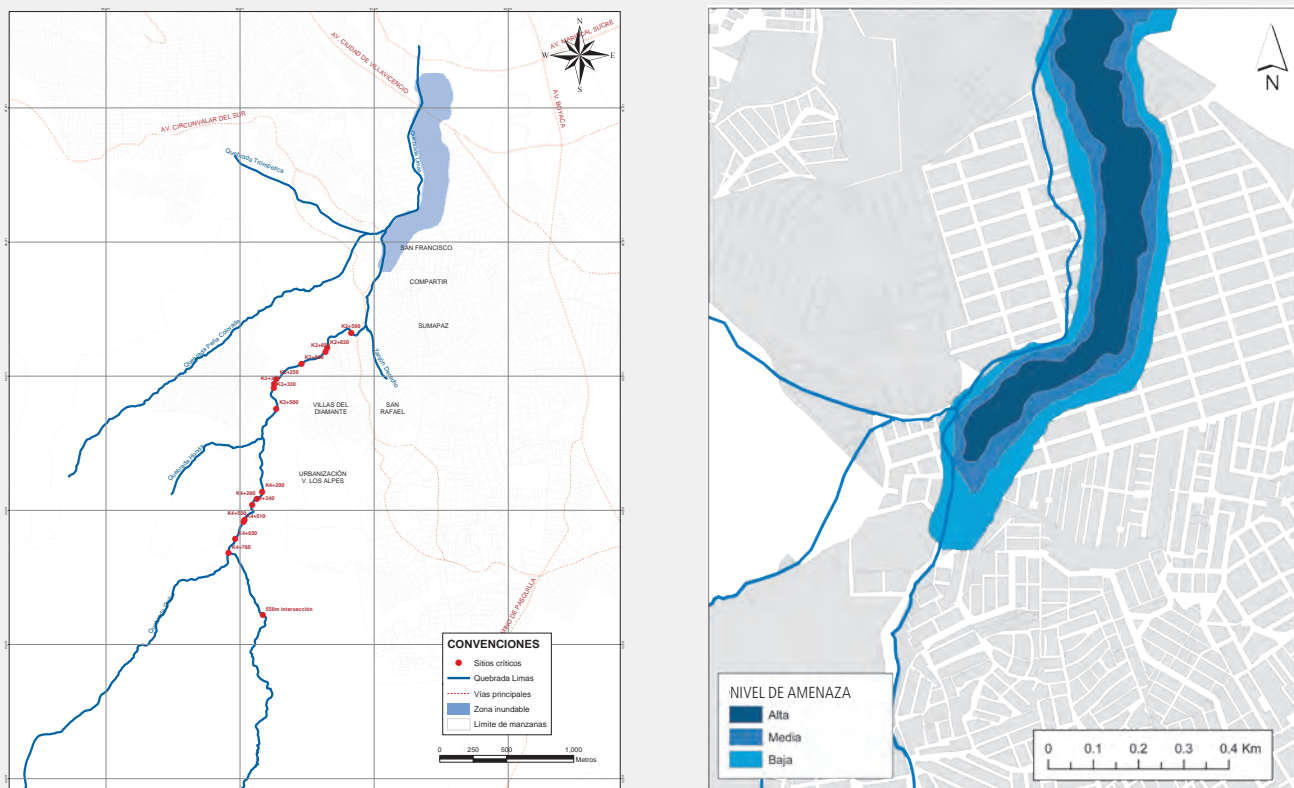
Nivel de amenaza	Periodo de retorno desborde de cauce	Efectos	Probabilidad anual de ocurrencia
Alta	≤ 10 años	Graves	≥ 0,10
Media	10-100 años	Moderados	0,01-0,10
Baja	≥ 100 años	Leves	≤ 0,01

Fuente: Adaptación de MAVDT y Universidad de los Andes, 2006.

RECUADRO 2.8 Bogotá: mapa de amenaza de inundación en la quebrada Limas

En el mapa 2.8.1 (izquierda) se presenta el área de influencia, por inundación, en los alrededores de la quebrada Limas, ubicada al sur de Bogotá. Cabe destacar que esta cuenca tiene características que permiten la ubicación fácil del cauce, pero en la medida en que se desciende se observa una intervención antrópica intensa, como resultado de los desarrollos urbanos y las explotaciones de canteras. Lo anterior tiene como consecuencia un alto grado de afectación en el cauce normal, lo que genera una alta susceptibilidad a los deslizamientos y un aporte considerable de sedimentos y contaminación al flujo. Todo lo anterior, en casos de lluvias de intensidad importante, puede llegar a obstruir el flujo normal del agua. Para la elaboración de los mapas se definieron zonas de amenaza alta, media y baja según los parámetros del cuadro 2.2. El mapa 2.8.1 (derecha) muestra la amenaza por inundación de la quebrada Limas, de acuerdo con los criterios ya mencionados.

Mapa 2.8.1 Bogotá: área de influencia de las zonas inundables de la quebrada Limas y mapa de amenaza antes de las obras de mitigación



Fuente: MAVDT y Universidad de los Andes, 2006.

Análisis de la amenaza por deslizamientos

Las zonas susceptibles a deslizamientos o inestabilidad del terreno corresponden con las zonas de pendientes medias o altas en las que por alguna condición detonante externa, como condiciones especiales de humedad, avance de procesos como socavación o erosión u ocurrencia de un evento sísmico, se generan condiciones de inestabilidad con el consecuente movimiento de volúmenes importantes de masas de tierra.

Para el caso de la inestabilidad de las laderas, la zona de influencia está limitada normalmente al lugar donde se presenta el mecanismo de falla o colapso, más la zona afectada por la masa deslizante, es decir, el lugar donde se termina depositando la masa de material inestable, ya que en algunos casos los daños y pérdidas pueden estar concentrados en estas zonas.

En general, los eventos detonantes son las precipitaciones intensas, los elevados contenidos de humedad del suelo, la acción de aguas subterráneas, la ocurrencia de sismos o explosiones, los procesos de socava-

ción o erosión, la realización de excavaciones u obras (construcciones, sobrepeso, movimientos de tierras, construcción de vías), eventuales daños en las redes de servicios públicos y, en general, cualquier acción natural o antrópica que genere una alteración significativa de las condiciones originales de la ladera.

El análisis de la amenaza de deslizamientos, en el marco de la evaluación del riesgo probabilista, se realiza mediante una evaluación de segundo nivel, es decir, atendiendo a los factores detonantes, como los sismos o las lluvias intensas.

Los análisis de la amenaza de deslizamientos se realizan con base en modelos de estabilidad de taludes desde el punto de vista geotécnico. En ellos se establecen los factores de inestabilidad (que corresponden al inverso del factor de seguridad calculado) para diferentes condiciones hidrometeorológicas y de resistencia mecánica del suelo. Para este tipo de análisis se requiere de información topográfica, geomorfológica, geológica, hidrogeológica, geotécnica, sismológica e hidrológica. En el análisis se plantean, en general, diferentes hipótesis sobre los eventos detonantes:

niveles freáticos variables acordes con el régimen de lluvias de la zona y ocurrencia de eventos sísmicos de diferentes magnitudes y epicentros. En ERN-AL (2010) se describen detalladamente algunas de las metodologías más utilizadas para la evaluación de la amenaza de deslizamientos.

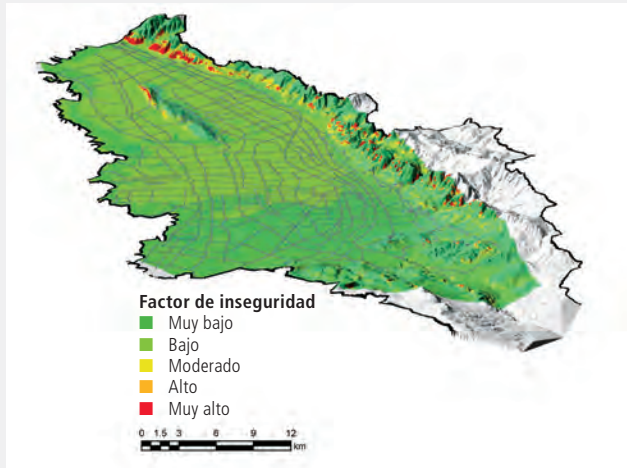
En particular, el análisis de estabilidad involucra la suposición de un nivel freático de referencia que corresponde con diferentes periodos dentro del régimen de lluvias a lo largo del año. Existen diferentes modelos que permiten estimar una distribución aproximada del nivel freático en función de la lluvia. Un análisis consistente involucraría la estimación del nivel freático en la zona de influencia para cada uno de los eventos estocásticos que representan la intensidad de las lluvias en la zona.

En el recuadro 2.9 se presentan los resultados de un análisis simplificado de susceptibilidad a los deslizamientos (con carácter indicativo únicamente) para la zona montañosa de Bogotá. Los resultados del análisis se presentan para varias condiciones de humedad y actividad sísmica.

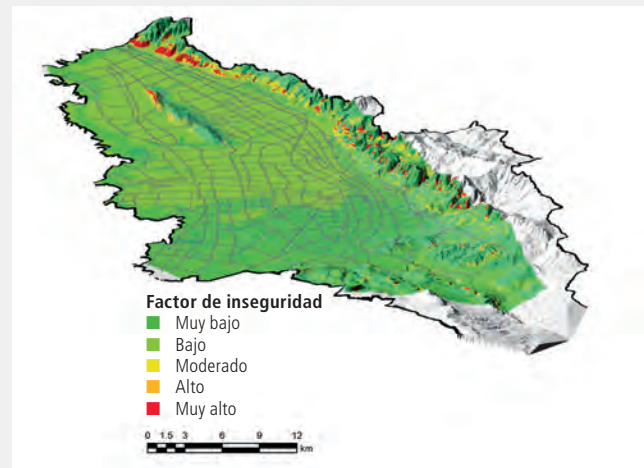
RECUADRO 2.9 Modelos y mapas de amenaza de deslizamiento (carácter indicativo)

Los mapas de amenaza por deslizamiento se utilizan para delimitar las zonas de riesgo no mitigable y las zonas en las que se deben desarrollar planes de reubicación de la población. En los mapas 2.9.1 se exponen la susceptibilidad por deslizamiento para diferentes condiciones de análisis en términos de condiciones de humedad de los suelos y acción de un evento sísmico. Estos mapas, a la escala que se han calculado y con el tipo de información utilizada, solo tienen el carácter de indicativos.

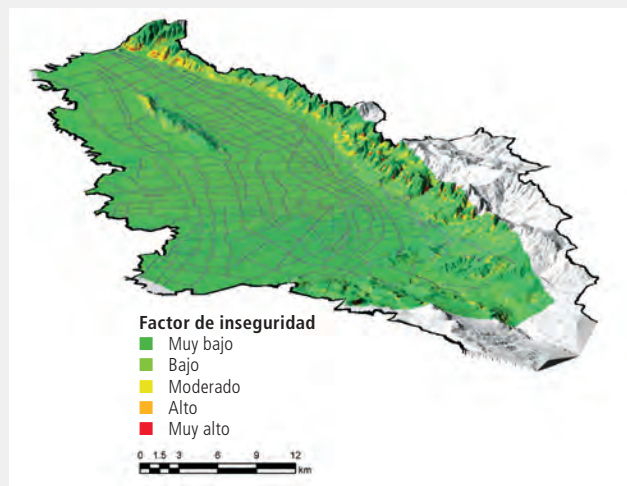
Mapas 2.9.1 Bogotá. Amenaza por deslizamiento para diferentes condiciones de análisis (carácter indicativo)



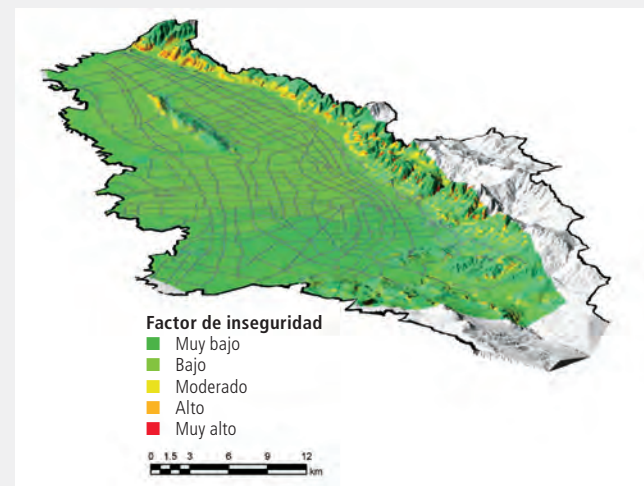
Amenaza por deslizamiento
suelo saturado sin sismo



Amenaza por deslizamiento
suelo saturado con sismo



Amenaza por deslizamiento
suelo seco sin sismo



Amenaza por deslizamiento
suelo seco con sismo

Fuente: elaboración propia.

Referencias bibliográficas

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). 2010. *Estudio general de amenaza sísmica de Colombia 2010*. Bogotá: Comité AIS-300.
- Alcaldía de Manizales. 2002. *Microzonificación sísmica de la ciudad de Manizales*. Manizales: Alcaldía de Manizales, Universidad de los Andes.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). 2005. *Microzonificación sísmica y estudios generales de riesgo sísmico para las ciudades de Palmira, Tuluá y Buga*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Dirección de Prevención y Atención de Emergencias. (DPAE). 2005. *Estudio y revisión de las curvas IDF/PADF para la sabana de Bogotá*. Bogotá: DPAE.
- Dirección de Prevención y Atención de Emergencias. (DPAE). 2006. *Actualización de la microzonificación sísmica de Bogotá*. Bogotá: DPAE, Universidad de los Andes.
- Dirección de Prevención y Atención de Emergencias. (DPAE). s. f. *Red de acelerógrafos de Bogotá D. C. RAB*. [Disponible en: <http://www.sire.gov.co>].
- Consortio Evaluación de Riesgos Naturales-América Latina (ERN-AL). 2010. Metodología de análisis probabilista de riesgos. En: *Central America Probabilistic Risk Assessment (CAPRA)*. Washington D. C.: Banco Mundial y Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas). 2008. *Boletín de sismos, enero-junio de 2008*. Bogotá: Red Sismológica Nacional de Colombia. [Disponible en: <http://seisan.ingeo-minas.gov.co>].
- Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas). s. f. *Red nacional de acelerógrafos de Colombia*. Bogotá: Publicaciones RNAC. [Disponible en: www.ingeo-minas.gov.co].
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). 2006. *Estudio para proponer la metodología para la evaluación, zonificación y reducción de riesgos por inundaciones y avenidas torrenciales y su articulación con los POT*. Bogotá: Mavdt, Universidad de los Andes.
- Ordaz, M.; Meli, R.; Montoya, C.; Sánchez, L.; Pérez-Rocha, L. 1994. Bases de datos para la estimación del riesgo sísmico en la Ciudad de México. *Cuadernos de Investigación*. México D. E.: Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred).
- Salgado, M.; Bernal, G.; Yamin, L.; Cardona, O. D. 2010. *Evaluación probabilista y espectral de la amenaza sísmica de Colombia: estudio general con fines de diseño sismo resistente*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Universidad de los Andes e Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas). 1997. *Microzonificación sísmica de Santa Fe de Bogotá*. Bogotá: Universidad de los Andes. Ingeominas.
- Yamin, L.; Cardona, O. D.; Gallego, M.; Phillips, C.; Arámbula, S. 2004. *Recent Advances in Seismic Microzonation Studies in Colombia: The Manizales City Case* (vol. 2840). Presented at the 13th World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver.



Capítulo 3

Evaluación de la exposición y vulnerabilidad de componentes

Coautores

Miguel Mora

*Asistente de investigación, Cimne
Universidad Politécnica de Cataluña*

César Velásquez

*Asistente de investigación, Cimne
Universidad Politécnica de Cataluña*



Aspectos conceptuales

En el contexto del impacto de las amenazas naturales presentado en el capítulo 1, el análisis se centra en la evaluación de los riesgos directos en la infraestructura física, lo que implica pérdidas económicas, y en los riesgos sociales directos relacionados con pérdida y afectación de vidas humanas como consecuencia del daño físico en las construcciones. De manera adicional, en los análisis pueden tenerse en cuenta las pérdidas económicas indirectas relacionadas con el impacto en la infraestructura y el capital humano. De acuerdo con esto, el modelo de exposición y la evaluación de la vulnerabilidad, para efectos del análisis del riesgo, se orientan a estos aspectos fundamentales.

Para evaluar el riesgo y los impactos socioeconómicos directos de una amenaza específica en un área determinada, un modelo de riesgo probabilista requiere, además de la caracterización de la amenaza presentada en el capítulo 2, la siguiente información: (a) una identificación clara de los elementos expuestos en el área de estudio (por ejemplo, población, infraestructura, edificaciones, entre otros), (b) una caracterización adecuada de cada uno de los elementos que permita determinar su vulnerabilidad física frente a dicha amenaza, y (c) una caracterización funcional del componente y su interacción socioeconómica con el sistema al cual pertenece, para efectos de evaluar su vulnerabilidad social, ambiental y económica.

La información sobre la exposición constituye, por tanto, una parte fundamental de los modelos del riesgo. Además de la localización geográfica y de las características de cada elemento expuesto, también es necesario disponer de información relacionada con su valoración económica, su eventual ocupación humana y sus características de interacción socioeconómica, al considerarlo como un componente dentro de un sistema. Teniendo en cuenta que con frecuencia esta información no existe o no es asequible, los analistas del riesgo desarrollan aproximaciones para simular la realidad a partir de datos conocidos. En estos casos se desarrollan modelos de exposición con niveles medios o bajos de resolución, lo cual define al final el alcance, la aplicabilidad y la confiabilidad de los análisis del riesgo.

En términos de los modelos del riesgo, la vulnerabilidad física puede ser entendida como la susceptibilidad de un elemento a sufrir daños frente a una amenaza específica. Esto se mide en términos de su fragilidad, o sea, del nivel de daño asociado a diferentes niveles de intensidad de la amenaza corres-

pondiente, y se expresa para el análisis mediante las llamadas “funciones de vulnerabilidad”. Esta puede expresarse también en términos de las pérdidas físicas, humanas o ambientales esperadas, o en función de las pérdidas económicas directas o indirectas esperadas.

En forma simultánea con los valores esperados de pérdidas para diferentes niveles de intensidad de la amenaza, y para efectos de considerar la incertidumbre asociada a la descripción de vulnerabilidad, a cada función de vulnerabilidad debe asignársele un coeficiente de variación o desviación estándar, el cual usualmente está relacionado con la intensidad, siendo en general menor para las intensidades extremas (las muy bajas y las muy altas).

Exposición física urbana

En las ciudades, la mayoría de los elementos expuestos pueden clasificarse dentro de un grupo amplio de edificaciones e infraestructura urbana y en subgrupos, según sus diferentes usos.

Con respecto a las construcciones, que conforman por lo general la mayor parte del valor económico expuesto en las ciudades, sus características –como por ejemplo la geometría, el tipo de materiales, el sistema estructural y los detalles constructivos– pueden obtenerse a partir de diferentes fuentes, como las bases de información catastral o los censos de población y vivienda. Con base en esta información básica se caracteriza, en general, el tipo representativo de cada construcción y se asigna de esta manera la función de vulnerabilidad física de cada elemento o componente de un sistema.

En el recuadro 3.1 se presenta un ejemplo de los subgrupos usados normalmente en los modelos de exposición de las edificaciones en una ciudad y los componentes típicos de la base de datos de edificaciones.

Para complementar la base de datos de exposición se pueden utilizar varias estrategias. Las ciudades disponen cada vez de mejor información en sus bases de datos de impuestos, registros de propiedad y censos de vivienda y población.

En adición, se puede obtener información complementaria a través de la interpretación de imágenes producidas por sensores remotos, como por ejemplo las fotografías aéreas o las imágenes de satélite. Otras fuentes incluyen las bases de datos de las empresas de servicios públicos y las compañías aseguradoras. Por lo general es necesario complementar y validar esta información con investigaciones de campo.

RECUADRO 3.1 Elementos básicos para modelar la exposición de edificaciones en las ciudades

La tabla 3.1.1 expone los grupos representativos usados normalmente para clasificar las diferentes construcciones de una ciudad. Por otro lado, la tabla 3.1.2 presenta los componentes típicos de la base de datos de edificaciones.

Tabla 3.1.1 Grupos de uso representativos para las edificaciones de una ciudad

ID	Código	Descripción
1	ResBaja	Residencial de capacidad económica baja
2	ResMedia	Residencial de capacidad económica media
3	ResAlta	Residencial de capacidad económica alta
4	Com	Comercial
5	Ind	Industrial
6	Sal	Salud (pública o privada)
7	Edu	Educación (pública o privada)
8	Gob	Institucional o gubernamentales

Tabla 3.1.2 Componentes típicos de la base de datos de las edificaciones en una ciudad (con carácter ilustrativo)

Información para edificaciones	Localización geográfica	<ul style="list-style-type: none"> ■ Identificador ■ Entidades geográficas o administrativas ■ Dirección ■ Longitud (coordenada X) ■ Latitud (coordenada Y)
	Características físicas	<ul style="list-style-type: none"> ■ Número de pisos ■ Área construida ■ Tipo de estructura ■ Tipo de entepiso ■ Tipo de cubierta ■ Material de muros ■ Tipo de fachada ■ Fecha de construcción ■ Norma o código de diseño ■ Estado actual ■ Reparaciones o refuerzos
	Características de los contenidos	<ul style="list-style-type: none"> ■ Descripción de los contenidos ■ Valor de reposición de los contenidos ■ Fragilidad de los contenidos
	Características socioeconómicas	<ul style="list-style-type: none"> ■ Uso ■ Destino económico ■ Nivel socioeconómico ■ Valor de reposición del bien ■ Número de ocupantes promedio en diferentes escenarios
	Características de funcionamiento	<ul style="list-style-type: none"> ■ Tipo de servicio ■ Valor económico por unidad de tiempo ■ Valores consecuenciales dependientes

El recuadro 3.2 resume los parámetros relevantes utilizados en la modelación de la exposición para la ciudad de Bogotá, en relación con las edificaciones

urbanas individuales y las opciones para visualizar dicha información.

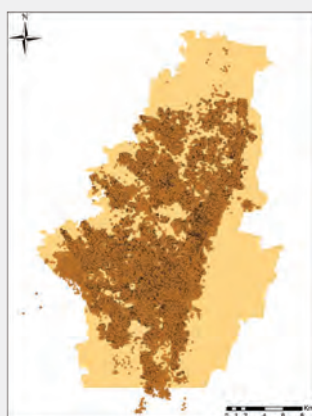
RECUADRO 3.2 Bogotá: parámetros relevantes de la base de datos de edificaciones

La base de datos de Bogotá contiene 866.915 edificaciones, con información específica sobre las características ya mencionadas. Para la caracterización geográfica y visualización de los parámetros disponibles se usan diferentes unidades geográficas. Para el caso de Bogotá, las unidades geográficas de análisis son los predios, las manzanas, las UPZ (unidades de planeamiento zonal) y las localidades, según se explica en la tabla 3.2.1 y los mapas 3.2.1.

Tabla 3.2.1 Bogotá: unidades geográficas de visualización

Unidad geográfica	Descripción
Pedio	Unidad mínima de análisis. Corresponde a la forma geográfica y las coordenadas de cada predio legalmente constituido.
Manzana	Agrupación de predios normalmente delimitada por vías.
Barrio	Agrupación de manzanas con una cierta homogeneidad de uso y de nivel socioeconómico.
UPZ	Unidades de planeamiento zonal. Corresponde a una agrupación de barrios trazada con objetivos de planeación administrativa.
Localidad	Agrupación de las unidades de planeación zonal (UPZ) trazada con objetivos políticos y de administración.

Mapas 3.2.1 Bogotá: unidades geográficas de visualización



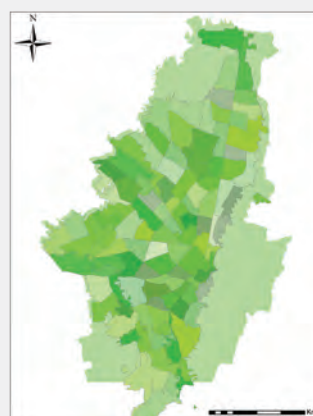
Información predio a predio



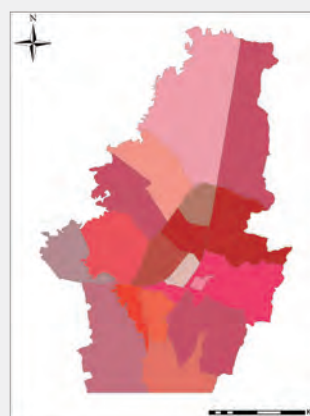
Información por manzanas



Información por barrio



Información por UPZ



Información por localidades

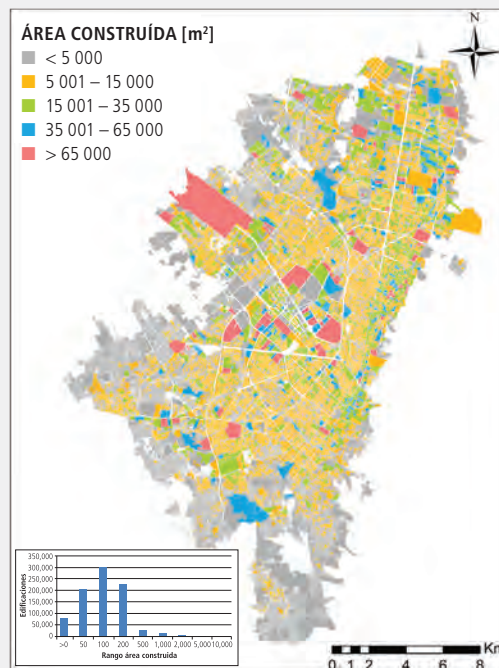
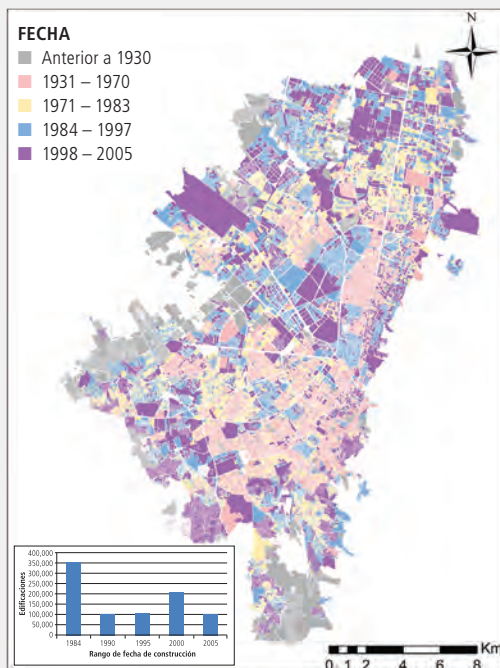
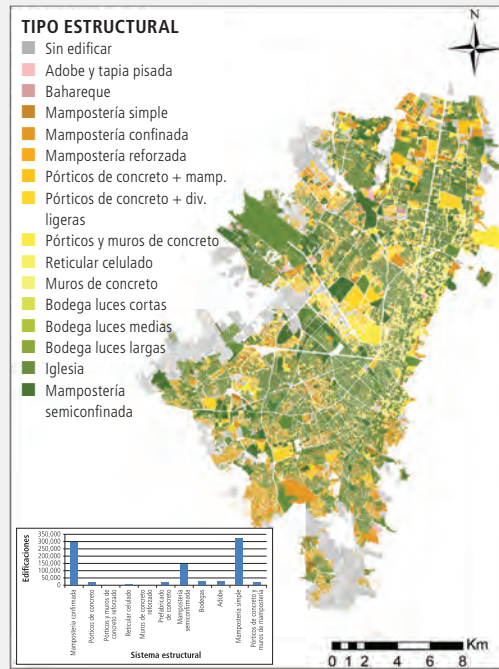
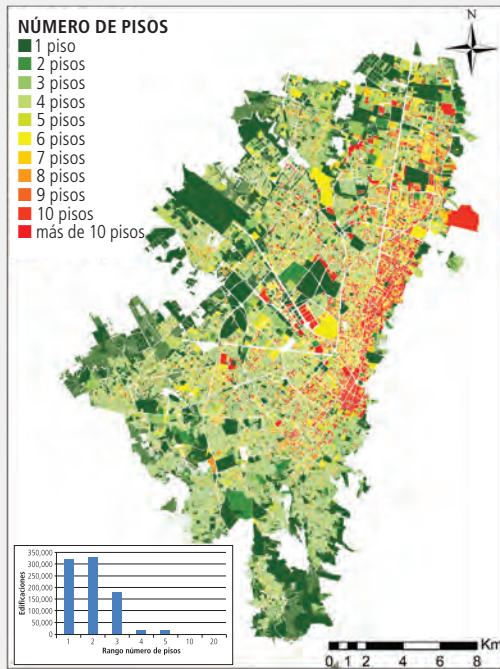
Fuente: DPAE y Universidad de los Andes, 2005; SDH, 2006.

continúa

RECUADRO 3.2 Bogotá: parámetros relevantes de la base de datos de edificaciones (continuación)

Los mapas 3.2.2 presentan algunas de las características incluidas en la base de datos de edificaciones de la ciudad. En estos, se ha seleccionado la manzana como unidad geográfica de visualización.

Mapas 3.2.2 Bogotá: algunas características incluidas en la base de datos de edificaciones

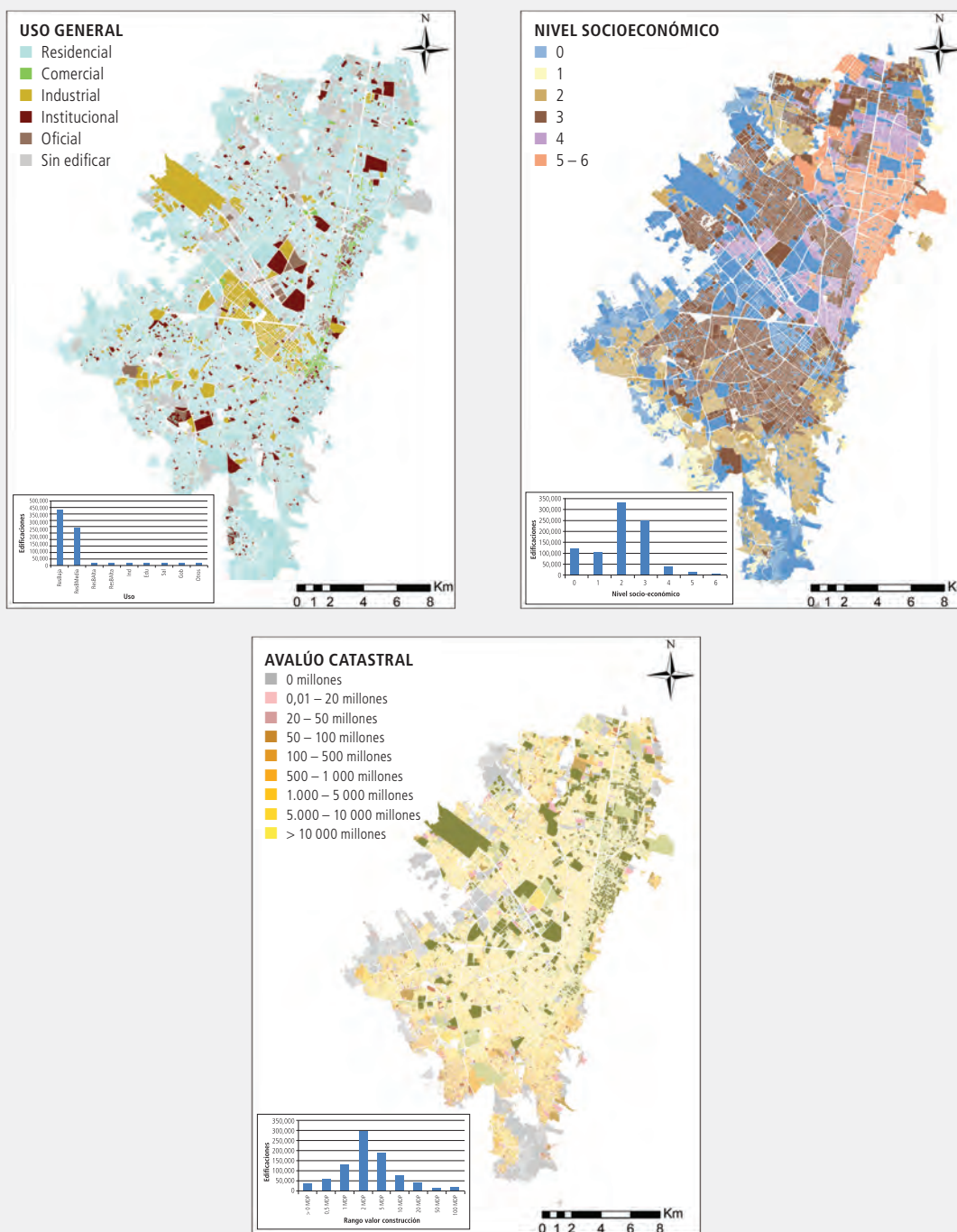


Fuente: DPAAE y Universidad de los Andes, 2005.

continúa

RECUADRO 3.2 Bogotá: parámetros relevantes de la base de datos de edificaciones (continuación)

Mapas 3.2.2 Bogotá: Igunas características incluidas en la base de datos de edificaciones



Fuente: DPAE y Universidad de los Andes, 2005; SDH, 2006.

Compilar la información de detalle puede ser una tarea de proporciones enormes. En algunos casos, el análisis no requiere de un nivel de resolución edificación por edificación y se pueden utilizar metodologías de valoración aproximada. Así como se evalúa la vulnerabilidad para un edificio específico, se puede estimar la vulnerabilidad promedio de

unidades de análisis de menor resolución, como por ejemplo un grupo de edificaciones, un vecindario, una manzana o incluso una zona particular de una ciudad.

El recuadro 3.3 recoge el perfil de exposición resultante para Bogotá, luego de un análisis de edificaciones individuales.

RECUADRO 3.3 Bogotá: perfil de exposición de las edificaciones urbanas

El perfil de exposición de la ciudad ante un evento desastroso se estableció mediante la caracterización de los elementos expuestos, denominados también "activos en riesgo". Los valores de exposición de los activos en riesgo se obtienen de fuentes secundarias de información (bases de datos existentes) o como resultado de la aplicación de metodologías simplificadas, basadas en información general sobre aspectos macroeconómicos y sociales.

Se recogen modelos detallados para realizar estimaciones de algunos de los parámetros anteriores, cuando la información indicada en el párrafo anterior no esté disponible. El resumen de la información consolidada sobre la exposición para Bogotá, de acuerdo con información actualizada al 2008, se encuentra en los cuadros 3.3.1 y 3.3.2.

Cuadro 3.3.1 Resumen de edificaciones y áreas construidas

Área urbana en terreno (miles de m ²)	249 725
Área urbana construida (miles de m ²)	213 755
Número de manzanas	44 481
Número de predios	901 145
Número de predios promedio por manzana	20

Cuadro 3.3.2 Información de exposición para evaluación de riesgos

Uso	No. de edificaciones	Área construida (miles de m ²)	Valor de reposición (en billones de COP de 2008)
Residencial de capacidad económica baja	432 131	55 896	13,9
Residencial de capacidad económica media	291 562	76 797	40,7
Residencial de capacidad económica alta	22 431	18 108	23,9
Comercial	22 229	13 942	6,7
Institucional	19 617	13 674	3,3
Salud (pública o privada)	3 427	716	1,2
Educación (pública o privada)	190	4 505	7,5
Gubernamentales	10 629	10 196	24,1
Otros	64 699	19 921	16,7
Totales	866 915	213 755	138,1

Fuente: DPAE y Universidad de los Andes, 2005.

Caracterización de la infraestructura

Así como para las edificaciones, evaluar el impacto de un evento adverso sobre el resto de la infraestructura

urbana y nacional requiere información detallada sobre su localización, identificación, características y vulnerabilidad. La tabla 3.1 resume los sistemas y los componentes principales para clasificar la infraestructura urbana y nacional.

Tabla 3.1 Componentes típicos de los sistemas de infraestructura (con carácter ilustrativo)

Sector	Sistema	Componentes principales
Componentes típicos de los sistemas de infraestructura	Transporte	<ul style="list-style-type: none"> ■ Vías primarias ■ Vías secundarias ■ Puentes vehiculares ■ Puentes peatonales ■ Puertos ■ Aeropuertos
	Energía eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> ■ Presas ■ Casas de máquinas para generación ■ Equipos eléctricos ■ Subestaciones eléctricas ■ Líneas de transmisión ■ Cuartos de control ■ Túneles de conducción
	Agua potable y saneamiento	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sistemas de tuberías ■ Tanques de almacenamiento ■ Plantas de tratamiento ■ Estaciones de bombeo ■ Estaciones de regulación de presión ■ Equipos de manejo hidráulico ■ Edificaciones administrativas ■ Canales y túneles
	Comunicaciones	<ul style="list-style-type: none"> ■ Torres y antenas ■ Centros de control ■ Líneas de comunicación ■ Equipos de comunicación
	Petróleo y derivados	<ul style="list-style-type: none"> ■ Pozos de explotación ■ Poliductos ■ Instalaciones industriales, refinerías, entre otros ■ Estaciones de regulación y distribución ■ Redes de distribución urbana ■ Centros de almacenamiento.

Fuente: elaboración propia

Dada la variedad y complejidad de los sistemas de infraestructura, la clasificación, caracterización y evaluación de estos componentes puede ser en extremo difícil. En algunos casos se requiere modelar en detalle cada componente particular, para entender así su comportamiento ante un evento adverso. Esto puede hacerse a través de herramientas y modelos específicos, como por ejemplo los programas de computador que simulan el comportamiento estructural del componente ante diferentes situaciones de cargas externas o internas. Sin embargo, con

frecuencia es necesario hacer estimaciones aproximadas acerca de las características de cada componente, basadas en información disponible, observación directa y correlaciones con información sobre la población e índices socioeconómicos, con el fin de valorar su exposición y vulnerabilidad.

El recuadro 3.4 condensa un esquema para la caracterización de los componentes de la infraestructura urbana, incluyendo edificaciones, con base en indicadores usualmente disponibles cuando no existe información más detallada al respecto.

RECUADRO 3.4 Caracterización de los componentes de la infraestructura urbana, con base en indicadores disponibles

La información sobre la exposición de edificaciones e infraestructura urbana, en términos de costos y de población, representa un componente fundamental en el análisis del riesgo derivado de las amenazas en centros urbanos. En este análisis es relevante la caracterización de los componentes de la infraestructura dentro de una ciudad. Para ello, se podría conformar un modelo de exposición general en el ámbito regional. El modelo y el tipo de información usualmente utilizados para valorar y caracterizar cada componente de la infraestructura –o para el grupo de edificaciones, cuando no existe información detallada al respecto– se explica en la tabla 3.4.1.

Tabla 3.4.1 Ejemplos de indicadores usados para asignación de información en componentes de infraestructura urbana

Sector	Componente	Indicadores utilizados
Edificaciones	Residenciales	Población total, población laboral
	Comerciales	Indicadores de actividad comercial, Producto Interno Bruto por sectores, información cámara de comercio
	Industriales	Indicadores de actividad industrial, número de empleados del sector
	Educación	Número de estudiantes en diferentes sectores, empleados públicos sector educación
	Salud	Número y distribución de hospitales y clínicas, número de camas, número de usuarios de salud
	Gubernamentales	Número de empleados públicos de entidades públicas principales
Infraestructura urbana	Red vial	Información vial general, estadísticas de transporte y comercio interno
	Puentes urbanos vehiculares y peatonales	Información de planeación o desarrollo, nivel de complejidad de la ciudad
	Sistema de acueducto	Cubrimiento del servicio, número de usuarios, densidad poblacional, información de la empresa
	Sistema de alcantarillado	Cubrimiento del servicio, número de usuarios, densidad poblacional, información de la empresa
	Sistema eléctrico	Cubrimiento del servicio, número de usuarios, densidad poblacional, información de la empresa
	Sistemas de comunicación	Cubrimiento del servicio, número de usuarios, densidad poblacional, información de la empresa
	Puertos y aeropuertos	Información específica en entidades del gobierno, autoridades aeronáuticas, portuarias, Ministerio de Transporte.

Fuente: elaboración propia

Exposición humana

En el contexto de esta publicación, la exposición humana hace referencia a la población que se encuentra en riesgo por efecto del daño físico que se puede presentar en las construcciones, al verse sometidas estas a un evento natural. De acuerdo con esto, la exposición humana se asocia a la ocupación máxima posible de las construcciones que hacen parte

de la base de exposición, estimándose esta a través de factores como el uso y la clasificación socioeconómica de cada una de las construcciones. Cuando esta información no está disponible directamente, se puede inferir de fuentes como censos, información sectorial (salud, educación, por ejemplo), densidad poblacional, índices de ocupación por tipo de construcción y horas del día y encuestas de campo.

La ocupación varía con la hora del día y el día de la semana, y por tanto, también el impacto del evento adverso sobre la población. Dado un cierto análisis por escenario, la ocupación puede estimarse para el día o la noche, o incluso para algún día específico de la semana, como un porcentaje con respecto a la ocupación máxima estimada anteriormente. Por ejemplo, para un análisis en términos de pérdidas humanas directas como consecuencia de un terre-

moto en una zona de una ciudad en que se combinen diferentes tipos de edificaciones (residenciales y comerciales por ejemplo), el impacto del evento variará en forma significativa dependiendo de la hora del día en que este ocurra.

El recuadro 3.5 detalla un modelo de ocupación de edificaciones propuesto para Bogotá, según la información oficial disponible.

RECUADRO 3.5 Bogotá: modelo de ocupación de edificaciones

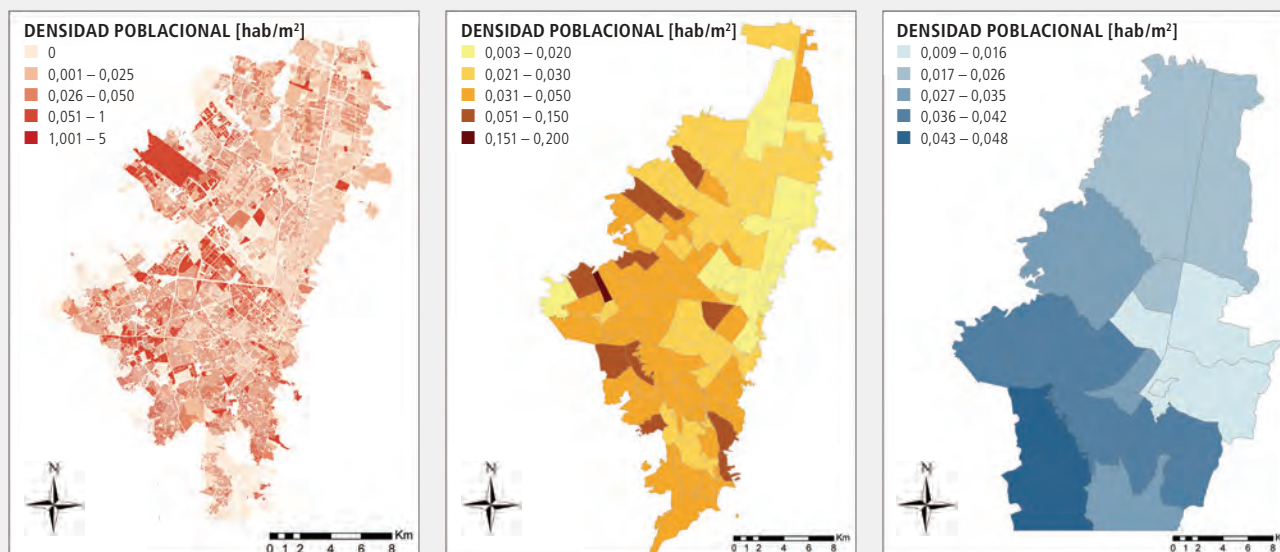
Los índices de ocupación son un elemento de importancia especial dentro de las caracterizaciones demográficas. La densidad de la ocupación máxima de construcción corresponde al número máximo de personas que pueden ocupar la edificación, con respecto al área total construida y en un determinado momento. Por su parte, la densidad de ocupación máxima de la tierra se establece como el número máximo de personas que pueden ocupar la edificación en algún momento, con respecto al área total del terreno que ocupa dicha construcción. El cuadro 3.5.1 y los mapas 3.5.1 resumen el modelo de ocupación propuesto para Bogotá, para efectos del análisis de riesgo en un escenario de ocurrencia del evento diurno y uno nocturno.

Cuadro 3.5.1 Bogotá: resumen de ocupación por uso para edificaciones

Uso	Ocupación día (hab)	Ocupación noche (hab)
Residencial de capacidad económica baja	565 068	2 511 482
Residencial de capacidad económica media	511 061	2 271 535
Residencial de capacidad económica alta	67 242	298 803
Comercial	1 081 652	0
Industrial	1 641 518	1 255 621
Salud (pública o privada)	62 640	62 640
Gubernamentales	901 451	0
Otros	937 838	0

Fuente: DPAE y Universidad de los Andes, 2005.

Mapas 3.5.1 Densidad de ocupación de construcción para varias unidades geográficas de información de la ciudad



Densidad de ocupación por manzana

Densidad de ocupación por UPZ

Densidad de ocupación por localidad

Fuente: DPAE y Universidad de los Andes, 2005.

Vulnerabilidad física y humana

De acuerdo con las diferentes dimensiones en que puede representarse el riesgo (capítulo 1), así mismo puede expresarse la vulnerabilidad. Según esto, es usual evaluar la vulnerabilidad física, la humana o aún la ambiental de cualquiera de los componentes expuestos. En términos más generales, se evalúa directamente la vulnerabilidad económica relacionada con aspectos físicos al considerar de manera individual o combinada las pérdidas económicas directas o indirectas.

La vulnerabilidad física de las construcciones o de los componentes de la infraestructura expuestos, por su parte, puede ser entendida como su susceptibilidad a sufrir daños frente a una amenaza específica. Esta se representa comúnmente mediante una función de vulnerabilidad física, la cual establece la relación entre alguno de los parámetros de intensidad de amenaza y, por ejemplo, el daño potencial del componente.

Las funciones de vulnerabilidad física, tanto para las edificaciones como para la infraestructura, pueden determinarse mediante uno o varios métodos:

- ▶ Ensayos en laboratorio y modelos estructurales.
- ▶ Modelos analíticos o numéricos.
- ▶ Evaluación del comportamiento de componentes similares durante eventos reales de diferente intensidad.
- ▶ Opinión consolidada de expertos.

En general, la vulnerabilidad física de las construcciones, los componentes de la infraestructura y los

contenidos debe ser evaluada por especialistas en ingeniería estructural. Una función de vulnerabilidad puede, algunas veces, estar determinada por la integración de la vulnerabilidad física de diferentes componentes, como por ejemplo la estructura principal, las fachadas, las cubiertas, los muros, las divisiones internas y los contenidos de las edificaciones. Para efectos de unificar la representación de la vulnerabilidad, también es común representar el daño como el valor económico que implica su reparación como porcentaje del valor total de reposición del componente.

Por otro lado, las funciones de vulnerabilidad humana, es decir, las pérdidas humanas que ocurren como consecuencia de los daños físicos en los componentes, se evalúan mediante la aplicación de factores de colapso y fatalidad a las funciones de vulnerabilidad física, dependiente del tipo constructivo correspondiente. La vulnerabilidad humana puede representarse mediante el número de víctimas, personas heridas, personas atrapadas o afectados, definiendo un criterio para dicha evaluación. En ERNAL (2008) se presentan metodologías detalladas para la evaluación de este tipo de funciones de vulnerabilidad desde el punto de vista de la ingeniería.

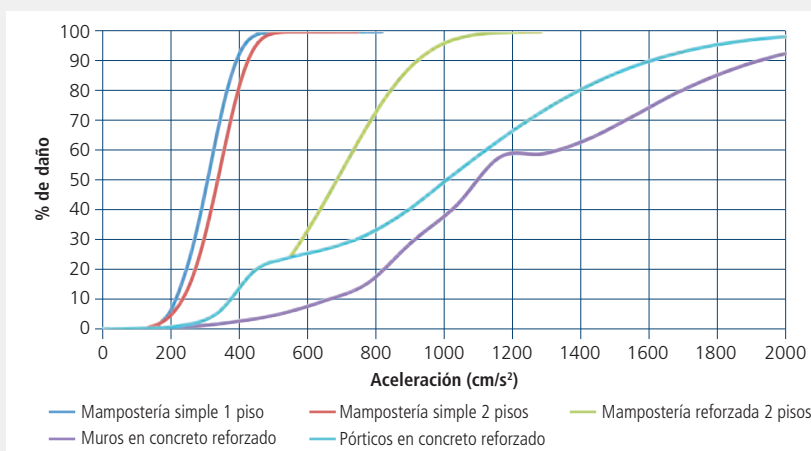
Los recuadros 3.6 y 3.7 recopilan ejemplos de funciones típicas de vulnerabilidad física para algunos tipos de edificaciones en Bogotá, relacionadas con las amenazas sísmicas y de inundación, respectivamente. El recuadro 3.8 señala algunas funciones de vulnerabilidad humana utilizadas con frecuencia para el análisis del riesgo en edificaciones típicas en Bogotá.

RECUADRO 3.6 Bogotá. Funciones de vulnerabilidad para edificaciones. Amenaza sísmica

Con base en la información sobre las edificaciones, la infraestructura y sus tipos estructurales, se han construido funciones de vulnerabilidad para las construcciones típicas de Bogotá, mediante métodos analíticos o experimentales (García y Yamin, 1994; Miranda, 1999; Miranda, 2002; Yamin y García, 1994a y b).

El gráfico 3.6.1 presenta funciones de vulnerabilidad típicas para diferentes componentes de la infraestructura ante las sollicitaciones sísmicas. En estas funciones se utiliza, como medida de intensidad de la amenaza, la aceleración máxima del terreno en gales (cm/s^2) y como parámetro de vulnerabilidad el valor económico esperado del daño como porcentaje del valor de reposición total de cada componente. La aplicabilidad de dichas funciones en otros contextos diferentes a los indicados debe ser evaluada por un ingeniero estructural especialista en la materia.

Gráfico 3.6.1 Ejemplos de funciones de vulnerabilidad para diferentes tipos constructivos típicos

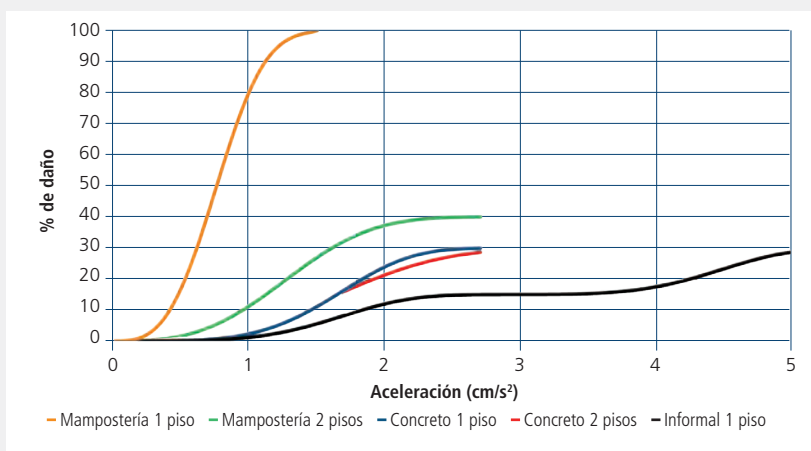


Fuente: ERN-AL, 2008.

RECUADRO 3.7 Bogotá. Funciones de vulnerabilidad para edificaciones. Amenaza de inundación

El gráfico 3.7.1 muestra algunas funciones de vulnerabilidad representativas para edificaciones susceptibles a las inundaciones en áreas urbanas. La aplicabilidad de dichas funciones en otros contextos diferentes a los indicados debe ser evaluada por un ingeniero estructural especialista en la materia.

Gráfico 3.7.1 Ejemplos de funciones de vulnerabilidad para edificaciones expuestas a inundaciones

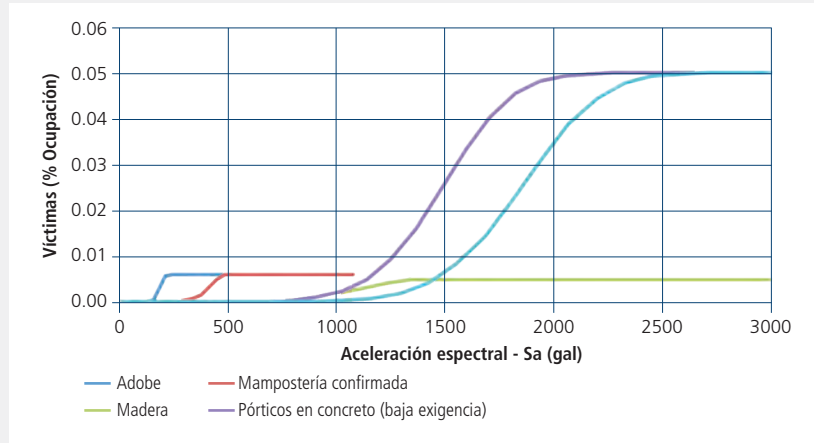


Fuente: ERN-AL, 2008.

RECUADRO 3.8 Funciones de vulnerabilidad humana por sismos asociadas a daños físicos en construcciones

El gráfico 3.8.1 recoge ejemplos de funciones de vulnerabilidad humana asociadas a daños físicos en diferentes tipos estructurales por cuenta de amenaza sísmica.

Gráfico 3.8.1 Ejemplos de funciones de vulnerabilidad humana para edificaciones expuestas a sismos



Fuente: ERN-AL, 2008.

Referencias bibliográficas

Consortio Evaluación de Riesgos Naturales-América Latina (ERN-AL). 2008. *Central America Probabilistic Risk Assessment (CAPRA)*. Washington D. C.: Banco Mundial y Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Dirección de Prevención y Atención de Emergencias (DPAE). 2005. *Escenarios de riesgo y pérdida por terremoto para Bogotá D. C.* Bogotá: DPAE y Universidad de los Andes.

García, L.; Yamin, L. 1994. A Review of Masonry Construction in Colombia. American Concrete Institute (ACI). En: Abrams, D. P. (ed.), *Masonry in the Americas*. Detroit, MI: American Concrete Institute.

Miranda, E. 1999. Approximate Seismic Lateral Deformation Demands on Multistory Buildings. *Journal of Structural Engineering*, 125 (4): 417-425.

Miranda, E.; Reyes, C. 2002. Approximate Lateral Drift Demands on Multistory Buildings with Non-uniform Stiffness. *Journal of Structural Engineering*, 128 (7): 840-849.

Secretaría Distrital de Hacienda (SDH). 2006. *Estimación de pérdidas económicas para diferentes escenarios de riesgo en edificaciones públicas y privadas en Bogotá y análisis económico del riesgo residual en el Distrito Capital de Bogotá*. Bogotá: SDH, Fonade, MAVDT, Banco Mundial y Consorcio ODC-Ingeniar-ITEC.

Universidad de los Andes. 2005. *Estrategia de transferencia, retención y mitigación del riesgo sísmico en edificaciones indispensables y de atención a la comunidad del Distrito Capital de Bogotá*. Consultoría. Bogotá: DNP, ACCI, Banco Mundial y Universidad de los Andes.

Yamin, L.; García, L. 1994a. Masonry Materials. American Concrete Institute (ACI). En: Abrams, D. P. (ed.), *Masonry in the Americas*. Detroit, MI: American Concrete Institute.

Yamin, L.; García, L. 1994b. *Comportamiento sísmico de muros de mampostería confinada*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), Boletín Técnico Bogotá: AIS.



Capítulo 4

Incorporación de los análisis de amenaza y riesgo en la planificación territorial

Coautor
Fernando Ramírez
*Especialista sénior,
Gestión del riesgo de desastres,
Oficina regional de América Latina
y el Caribe, Banco Mundial*



La planificación territorial y el riesgo

Existe un amplio consenso de que una de las estrategias más efectivas para la reducción del riesgo es la planificación urbana, en la medida en que intenta ubicar a la población, la infraestructura física y las actividades económicas en zonas aptas para cada tipo de actividad, de acuerdo con las capacidades y características del territorio.

Infortunadamente, los avances en este sentido en América Latina han sido limitados, con excepción de algunos casos. En el caso de Colombia, por ejemplo, desde finales de los años noventa se impulsó que los municipios desarrollaran un Plan de Ordenamiento Territorial (POT), cuyo objetivo es orientar y regular el uso y la ocupación del suelo, con el fin de alcanzar un escenario deseado de desarrollo económico y social en el entorno geográfico.

Uno de los elementos principales de los POT es la incorporación de las amenazas y del riesgo como determinante de la planificación física, y la consecuente inclusión del componente de reducción del riesgo; tarea nada fácil de lograr debido a los retos relacionados con la falta de información básica, análisis y modelos de riesgo, y de una apropiada interpretación de mapas de amenaza y de la problemática económica, social, política y jurídica relacionada con el ordenamiento del territorio.

Los elementos principales del proceso de integración de los análisis de amenaza y riesgo en la planificación de usos del suelo incluyen: el marco general de las políticas e instrumentos de planificación territorial, las posibilidades de incorporar criterios para la intervención correctiva y prospectiva del riesgo y la identificación de las amenazas relevantes para la toma de decisiones en la planificación y gestión territorial con fines prescriptivos y restrictivos.

El recuadro 4.1 ilustra algunos aspectos generales del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá relacionados con la amenaza y el riesgo.

Políticas e instrumentos de planificación territorial y posibilidades de incorporar los criterios de la reducción del riesgo

Un Plan de Ordenamiento Territorial (POT), como se señaló previamente, es un instrumento que orienta y regula el uso del suelo y la ocupación del territorio, con el fin de definir la vocación del suelo hasta alcanzar una imagen-objetivo de desarrollo

económico y social. Un POT es un instrumento que facilita la aplicación de una política estratégica relacionada con la planificación territorial a través de la regulación del uso y ocupación del suelo (componente regulatorio), la definición de programas y proyectos (componente programático) y, finalmente, la adopción de los instrumentos de gestión para la implantación del plan (Por ejemplo, planes, licencias y permisos, códigos y normas técnicas).

Uno de los elementos principales en la definición de los contenidos específicos de las políticas, regulaciones, programas, proyectos e instrumentos debe ser la adecuada incorporación de las amenazas y del riesgo como determinantes espaciales, y de criterios para la reducción del riesgo. En este contexto, los resultados de los análisis de amenaza y riesgo se convierten en elementos indispensables para lograr dicho objetivo. En conjunto, todas las medidas relacionadas deben contribuir a la reducción del riesgo existente en las áreas ocupadas y, principalmente, orientar los procesos para evitar la generación de nuevos riesgos derivados de la localización inadecuada de la población o la infraestructura.

El alcance de estas medidas varía ampliamente, según la noción de seguridad o riesgo aceptable que cada comunidad, población o país establezca. El concepto de seguridad no se refiere a una condición absoluta de ausencia de riesgo; más bien se trata de una noción relativa, dentro de márgenes socialmente aceptables en función de la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos.

En otras palabras, la seguridad y el “riesgo aceptable” hacen referencia a una valoración social que surge de la combinación compleja de factores económicos, políticos, sociales y culturales, los cuales generan escenarios de riesgos muy difíciles y complejos de mitigar, a menos que las comunidades (conocedoras de estos) decidan aceptarlos y hacerlos parte de su modo de vida. Por ello, es necesario señalar que no existe un estándar general de riesgo aceptable o tolerable, aplicable indistintamente en diferentes sociedades, territorios y contextos socioeconómicos.

En algunas ciudades, las políticas y objetivos de la planificación física han sido definidos alrededor de los conceptos de localización segura, construcción segura y actividades seguras (recuadro 4.2).

La regulación se refiere a las restricciones, o sea, a las limitaciones o los condicionamientos; es decir, al conjunto de condiciones que se deben cumplir (*ex ante* o *ex post*) para el uso del territorio, su ocupación o la realización de actividades específicas en

RECUADRO 4.1 Bogotá: aspectos generales sobre las amenazas y el riesgo del POT

En 2005 la población de Bogotá se estimaba en 6.776.009 de habitantes y su tasa de crecimiento anual era de 2,4% (DANE, 2005). Teniendo en cuenta a los municipios vecinos, al menos un millón de personas más tendrían que contabilizarse como habitantes de la más importante zona urbana de Colombia

El crecimiento de la ciudad, determinante para el Plan de Ordenamiento Territorial, se presenta especialmente en el sur y en el norte, generando una marcada segregación socioeconómica, debido a la concentración de la población de bajos ingresos en el sur y de altos ingresos en el norte. Además, la localización de la población ha estado determinada por una tendencia característica: un crecimiento importante en la periferia de la ciudad y una reducción de la población en la zona central: entre 1985 y 1993 hubo un aumento de más de 900.000 personas en las áreas periféricas y una reducción de más de 100.000 en la zona central.

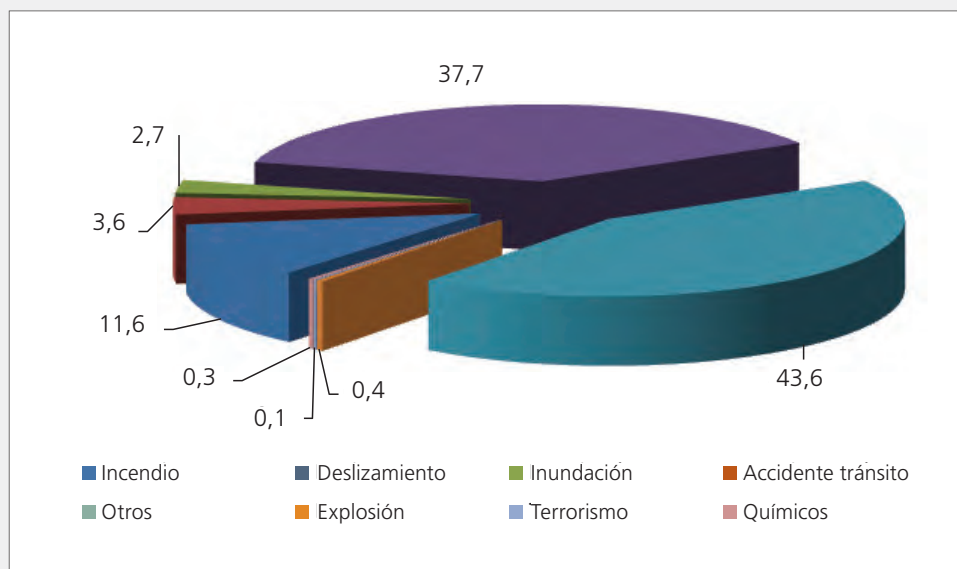
Otros elementos en la caracterización de la ocupación del territorio urbano de la ciudad, principalmente en las áreas periféricas, son los procesos de ocupación ilegal, la falta de servicios públicos, la dificultad de acceso y conexión, la ausencia de equipamiento comunitario, la baja calidad de las viviendas y la falta de titularidad predial.

El crecimiento rápido y desordenado de la ciudad ha generado una expansión del límite del perímetro urbano con actividades urbanísticas, sin control técnico ni planificación, en áreas susceptibles, como por ejemplo antiguas canteras de materiales, vertientes de agua, zonas de alta pendiente, rellenos antrópicos y botaderos.

Por circunstancias sociales, políticas o económicas asociadas a la dinámica propia de una ciudad en constante crecimiento, muchas de estas zonas, originalmente ilegales, pasaron a la legalidad, resolviéndose con esto el problema de tenencia de la tierra, pero quedando latente su condición de riesgo. Esto explica en parte las situaciones de alto riesgo relacionadas con la presencia, aún en barrios legalizados, de población en zonas susceptibles de inundación o deslizamiento.

Esta situación del riesgo y amenazas en Bogotá, se ve reflejada en las estadísticas de las emergencias y eventos ocurridos en la ciudad desde 2001 hasta el presente (DPAE, 2011), como puede verse en el gráfico 4.1.1.

Gráfico 4.1.1 Bogotá. Estadísticas de emergencias desde 2001 hasta el presente (en porcentajes)



Es de anotarse que ante este panorama, desde 1987 se ha venido presentando un cambio radical en los objetivos de la política pública y los planes de desarrollo del Distrito Capital en relación con el tema del riesgo, al pasar de la respuesta a las emergencias, a trabajar, en la actualidad, en el tema de la gestión integral del riesgo (Pardo, 2011).

Fuente: DPAE, 2011.

RECUADRO 4.2 Bogotá: ejemplos de políticas de reducción del riesgo de desastres en el POT

En el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Bogotá se incluyen varias políticas con el objetivo de reducir el riesgo frente a distintos tipos de amenazas. De manera general, se traza el mapa de zonas de protección actual por riesgo, en el cual se definen diferentes tipos de áreas en riesgo, como las *zonas de tratamiento especial para la mitigación del riesgo por remoción en masa, suelo de protección por riesgo de remoción en masa e inundación y zonas sujetas a amenazas y riesgos*.

El POT dicta medidas específicas acerca del tratamiento que se les debe dar a estas zonas, considerando el hecho de que están en riesgo. Las zonas de *suelo de protección por riesgo de remoción en masa e inundación* son declaradas como de alto riesgo no mitigable, y por tanto tienen restringida la posibilidad de urbanizarse. Sin embargo, se cuenta también con un programa de reasentamiento para familias que se encuentran previamente asentadas en estas zonas a pesar de la restricción.

Otra de las políticas hace referencia al monitoreo de las diferentes amenazas mediante acciones concretas como las siguientes: crear redes de monitoreo hidrometeorológico y geotécnico para implementar sistemas de alerta bajo la coordinación de la Dirección para la Atención de Emergencias y para la Prevención –hoy Fopae (Fondo para la Prevención y Atención de Emergencias)–, monitorear la red de acelerógrafos para mejorar el conocimiento de la amenaza sísmica y diseñar e implementar un sistema de información sobre riesgos que permita la actualización de estudios y tratamientos.

En cuanto al riesgo sísmico, en el POT se incluye la consideración de los espectros de diseño sismorresistente utilizando como insumo base los resultados del “Estudio general de amenaza sísmica de Colombia” (AIS, 2010) y las determinaciones contenidas en la microzonificación sísmica de Santa Fe de Bogotá (Universidad de los Andes e Ingeominas, 1997) en lo relacionado con la respuesta sísmica local de los depósitos de suelo, actualizada en 2010 (Fopae).

Para el riesgo de inundación, el POT contempla medidas estructurales y no estructurales de mitigación. Entre las medidas estructurales se encuentran los planes de manejo de cuencas, incluyendo adecuación hidráulica de cauces, protección de los márgenes y construcción de obras de drenaje.

Por otro lado, entre las medidas no estructurales se encuentran programas de mantenimiento y limpieza de cauces, planes de monitoreo y sistemas de alerta, planes de emergencia y contingencia, y programas educativos y de divulgación comunitaria.

En cuanto al río Bogotá, en el corto plazo se incluyen obras de drenaje por parte de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), para zonas dentro del área de amenaza, prioritariamente en la zona de El Tintal. En el mediano y largo plazos se tienen planeadas obras de adecuación del río, como dragado, ampliación del cauce y construcción de jarillones en la margen izquierda, que deben llevarse a cabo por parte de la EAAB. Para el río Tunjuelo, se deben llevar a cabo la reconfiguración de sus jarillones y el dragado de algunos sectores, así como, en el corto plazo, la construcción del embalse Cantarrana para efectos de regulación de caudales.

De manera adicional, se dicta como obligatoria la realización del análisis del riesgo por parte de todas las entidades públicas y privadas que ejecuten obras de gran magnitud o que desarrollen actividades de cualquier naturaleza que generen amenazas. Estos análisis deben incluir planes de emergencia y contingencia ante diferentes eventos (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2004).

Fuente: DPAAE, 2011.

él. Pueden ser temporales o permanentes (por ejemplo, el desarrollo de proyectos de vivienda en un área propensa a deslizamientos queda condicionado a los resultados de estudios geotécnicos detallados). Las restricciones o condicionamientos tienen efectos económicos, tanto para los actores involucrados (por ejemplo, cambio de precio del suelo, costo de los estudios, etcétera) como para el gobierno (por ejemplo, presupuesto para acciones correctivas o de control).

En la práctica, la regulación se establece a partir del análisis y la toma de decisiones frente a aspectos rela-

tivos al carácter urbano o rural del territorio, la ocupación actual y sus usos futuros, el tipo de construcciones existentes y futuras (por ejemplo, viviendas, infraestructura) y la condición actual de amenaza o riesgo. Es en este contexto donde precisamente se hace necesaria la realización de estudios de amenazas para los distintos tipos de eventos que puedan tener impactos relevantes en la zona, y evaluaciones del riesgo con características específicas (por ejemplo, resolución, cobertura, alcance, etcétera), para facilitar la toma de decisiones acerca de los usos y la vocación del suelo.

Elementos relevantes de la amenaza o del riesgo para la toma de decisiones en planificación y gestión territorial

Las evaluaciones de las amenazas y del riesgo para el ordenamiento territorial deben proveer información acerca de: (a) el origen de las diferentes amenazas y los factores antrópicos que intervienen en la cadena de generación del riesgo; (b) la probabilidad de ocurrencia, intensidad y su distribución geográfica; (c) las características del impacto posible sobre las personas y los elementos expuestos, (d) la estimación de los posibles impactos económicos directos e indirectos y (e) las posibilidades de mitigación mediante medidas estructurales y no estructurales.

El diagnóstico y la identificación de los procesos antrópicos vinculados con la generación del riesgo ayudan a entender cómo la planificación territorial puede contribuir a resolver el problema.

Los modelos de amenazas y riesgo son usualmente los puntos más delicados del proceso. El alcance y resolución de los estudios, la incertidumbre de los modelos y el papel de los expertos en la toma de decisiones son algunos de los principales aspectos que se deben enfrentar. Los análisis de amenaza y riesgo no son en este caso un fin, sino más bien un medio para tomar decisiones. En consecuencia, su alcance se debe determinar a partir de las necesidades específicas de información que demanda cada proceso particular de planificación territorial.

En general, el conocimiento de las amenazas naturales y socionaturales puede y debe hacerse de manera progresiva. Para cada tipo de amenaza es recomendable diseñar un plan de estudios que permita avanzar en forma gradual según los recursos disponibles. El punto importante es entender que en cualquier fase de este proceso es posible definir recomendaciones y tomar decisiones sobre la planificación territorial. En la práctica, es un proceso dinámico que incorpora y ajusta las decisiones en la medida en que se profundiza en el conocimiento de la amenaza y del riesgo. Esta ha sido una de las principales enseñanzas que durante los últimos años han dejado las experiencias de aquellos lugares en los que se ha mantenido una política permanente de profundización en el conocimiento, por medio de estudios y evaluaciones de alta calidad técnica y el fortalecimiento de los sistemas de monitoreo e información.

Otro punto crucial en estos análisis es la determinación de las posibilidades de mitigación,

según cada tipo de amenaza. Es muy frecuente, en la planificación territorial, enfrentar situaciones de riesgo que demandan decisiones en términos de su factibilidad de mitigación como condición para la consolidación de los asentamientos humanos o de las actividades económicas existentes. En la dimensión física del problema, es posible llevar a cabo intervenciones para controlar la amenaza (por ejemplo, construcción o realce de diques de contención en cauces o construcción de muros de estabilización para el control de deslizamientos) o para reducir la vulnerabilidad (por ejemplo, refuerzo estructural sismorresistente de las edificaciones vulnerables).

En otros casos, no es técnicamente factible ni lo uno ni lo otro. Pero más allá de la dimensión física, la factibilidad de mitigación depende fuertemente de las capacidades económicas, sociales y políticas para implantar dichas medidas. Por ello, la valoración del riesgo es, a la vez, un asunto técnico y político. En el centro de la discusión sobre el riesgo aceptable, la mitigación y la regulación deben participar los gobiernos y los actores sociales involucrados, con el apoyo de los especialistas en la evaluación de las amenazas naturales y del riesgo.

La regulación del uso y la ocupación del suelo, según las amenazas o el riesgo, se apoya en mapas y escenarios de zonificación, a través de los cuales se delimitan las áreas propensas. En América Latina es común utilizar categorías (alta, media, baja) para definir estas zonas. Con frecuencia se asume que estas categorías resultan directamente de los análisis y modelos de la amenaza y del riesgo y que, por tanto, son responsabilidad de los especialistas. La realidad es que la “categorización” de la amenaza o del riesgo tiene implícita una valoración económica, social y política de las consecuencias que se deriven de su adopción. De ahí que en el caso de la factibilidad de la mitigación se trate de una decisión que involucra principalmente a los tomadores de decisiones de los gobiernos responsables de la gestión territorial.

Aplicación del análisis probabilista de las amenazas y del riesgo en Bogotá

La Ley de Desarrollo Territorial de Colombia (Alcaldía Mayor de Bogotá, 1997) determinó que los municipios, como responsables de la preparación de los POT, debían identificar las zonas de amenaza y riesgo, y definir una estrategia para su reducción y control.

Las consideraciones sobre esta materia fueron clasificadas como determinantes de carácter superior; es decir, que prevalecen por encima de otras para efectos de determinación del uso y ocupación del suelo.

En este contexto, Bogotá inició a finales de la década de 1990 la preparación de los estudios y la información cartográfica correspondiente. El primer paquete de medidas, en razón de las condiciones de amenaza o riesgo, fue establecido en 2001. De igual modo, fueron incluidos en el POT de Bogotá algunos programas y proyectos de reducción del riesgo

derivado de los sismos, las inundaciones y los deslizamientos.

Amenaza sísmica

El mapa de microzonificación sísmica de la ciudad, desarrollado a partir de las metodologías explicadas en el capítulo 2, se incorpora al POT de Bogotá, asignándole el carácter legal necesario para que sea vinculante tanto para el sector público como para el privado (recuadro 4.3).

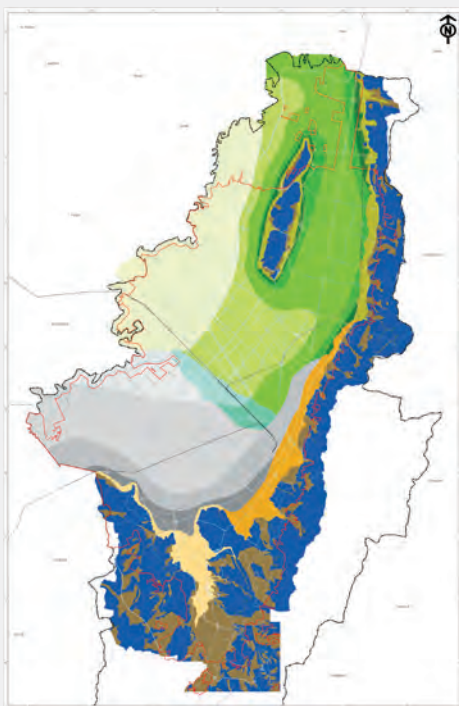
RECUADRO 4.3 Bogotá: la amenaza y el riesgo sísmico en el POT

A pesar de que el país cuenta con una normativa nacional obligatoria para el diseño sismorresistente de las construcciones, la norma NSR-10 (AIS, 2010), las condiciones de los suelos de la ciudad modifican sensiblemente la amenaza sísmica, como se explicó en el capítulo 2. Por esta razón la ciudad realizó el “Estudio de microzonificación sísmica de Santa Fe de Bogotá” (Universidad de los Andes e Ingeominas, 1997), modificado y actualizado en 2010 (Fopae, 2010; DPAE y Universidad de los Andes, 2006), en el cual se establecen los requisitos de diseño sismorresistente que se deben exigir a los diferentes tipos de edificaciones en los diferentes sectores de la ciudad.

El mapa 4.3.1 presenta el mapa oficial de microzonificación sísmica de la ciudad y el gráfico 4.3.1, los espectros representativos para el diseño sismorresistente de edificaciones en la ciudad (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2010).

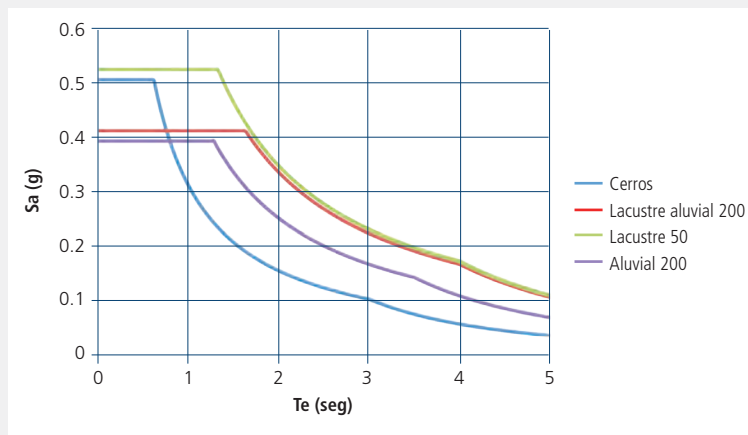
Como parte del Plan de Ordenamiento Territorial (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2000), la ciudad adopta los estudios de microzonificación sísmica como parte de la normativa de cumplimiento obligatorio para el diseño de construcciones nuevas dentro del perímetro urbano de la ciudad (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2006).

Mapa 4.3.1 Bogotá: mapa de microzonificación sísmica



Fuente: Fopae, 2010.

Gráfico 4.3.1 Bogotá: espectros elásticos de diseño para diferentes zonas



Las medidas de reducción de la vulnerabilidad sísmica, que se definieron para asegurar la localización y construcción segura de nuevas edificaciones e infraestructura, están principalmente relacionadas con:

- ▶ Definir los parámetros de ingeniería para diseño sismorresistente de estructuras, con base en el estudio de microzonificación sísmica de la ciudad.
- ▶ Restringir la ubicación de nuevas edificaciones o infraestructura en áreas de antiguos rellenos antrópicos de baja calidad técnica (por ejemplo, basureros o rellenos artesanales).
- ▶ Restringir la localización de nuevas edificaciones o infraestructura en zonas propensas a licuación de suelos. Se establecen condiciones mínimas para los estudios y el diseño de las fundaciones e instalaciones.
- ▶ Establecer disposiciones específicas para el refuerzo estructural de edificaciones e infraestructura esencial existente (por ejemplo, hospitales, estaciones de bomberos, edificios de gobierno, escuelas, entre otras).
- ▶ Definir las disposiciones y los incentivos para promover el refuerzo de las edificaciones privadas.

Amenaza por inundación

Los mapas incorporados al POT definieron las áreas de amenaza (alta, media y baja) de inundación de los dos ríos principales de la ciudad (río Bogotá y río Tunjuelo). Como se describió en el capítulo 2, dichas categorías de amenaza resultan de la combinación de dos variables: el periodo de retorno y la profundidad de inundación.

La regulación asociada a estos mapas establece que:

- ▶ En zonas de amenaza alta de inundación, no se autoriza la localización de urbanizaciones nuevas.
- ▶ En zonas de amenaza alta de inundación, no se autoriza la consolidación de las urbanizaciones existentes, hasta tanto no se construyan, si es factible, las obras de mitigación necesarias. Ello tuvo como consecuencia que un gran número de barrios de origen informal, ubicados en estas zonas no pudieran ser beneficiarios de obras de infraestructura urbana nueva (por ejemplo, redes de acueductos y alcantarillado).
- ▶ A diferencia de los deslizamientos, en los cuales la condición de amenaza o riesgo se evalúa para cada predio individualmente, en este caso la condición de amenaza o riesgo es asignada para franjas completas a lo largo del río. Asimismo, los

análisis de factibilidad, diseño y construcción de las obras de mitigación hidráulica quedan bajo la responsabilidad de las instituciones y no de los dueños de los predios afectados.

- ▶ En aquellas áreas en donde el riesgo es “no mitigable”, las familias ingresan al programa de reasentamiento. Las áreas recuperadas luego del reasentamiento son incorporadas al POT como zonas de protección (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2003).

El recuadro 4.4 resume la amenaza y el riesgo por inundación en el POT de Bogotá.

Amenaza por deslizamiento

Los mapas incorporados al POT delimitaron las áreas de amenaza (alta, media, baja), las áreas de riesgo alto, las áreas de riesgo alto no mitigable y las áreas de tratamiento especial (recuadro 4.5). La regulación de uso del suelo para el área urbana se refiere a:

- ▶ Condicionar la localización de nuevas edificaciones o infraestructura en zonas de amenaza alta a la realización de estudios geológicos y geotécnicos detallados, en los cuales se especifique la necesidad y el tipo de obras de mitigación. Para ello se establecieron las especificaciones técnicas que deben cumplir este tipo de estudios y las instancias para su revisión y control.
- ▶ En aquellos casos en que los análisis de detalle confirman la factibilidad técnica para las nuevas edificaciones, los diseños de arquitectura e ingeniería deben incluir el diseño y la construcción de las obras de mitigación recomendadas en los estudios.
- ▶ Los dueños de los proyectos construidos en zonas de amenaza alta deben, además de cumplir con las anteriores disposiciones, tomar una póliza de garantía de estabilidad a favor del gobierno de la ciudad por un plazo no inferior a diez años.
- ▶ En las áreas de riesgo alto no se autoriza la construcción de nuevos proyectos urbanísticos. No obstante, la permanencia de las edificaciones y la infraestructura existentes queda sujeta a un análisis detallado de riesgo (incluyendo factibilidad técnica y financiera), que permita definir si es una condición de riesgo mitigable o no.
- ▶ En las áreas declaradas como “de riesgo no mitigable”, las comunidades ingresan al programa de reasentamiento y la infraestructura existente es relocalizada. Estas áreas se usarán en el futuro como suelos de protección, conservación y recreación pasiva.

RECUADRO 4.4 Bogotá: la amenaza y el riesgo de inundación en el POT

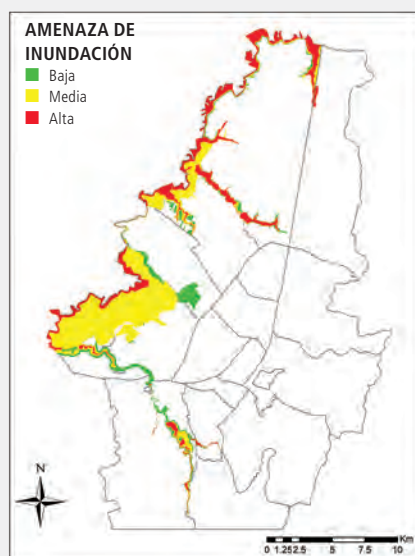
La ciudad está atravesada de oriente a occidente por diversos ríos: Juan Amarillo o Salitre, Fucha o San Cristóbal y Tunjuelo. En las cuencas de estos ríos son comunes las situaciones de inestabilidad de laderas próximas al cauce, el vertimiento e inadecuado manejo de aguas residuales y la obstrucción de los drenajes naturales en la parte alta.

Por otra parte, la zona de confluencia intertropical afecta a Bogotá al menos dos veces al año. Esta situación produce periodos de lluvias intensas en marzo-mayo y en septiembre-noviembre. Además, las montañas circundantes de la ciudad sirven como la barrera natural que restringe el flujo de humedad, lo cual influye también en el régimen de lluvias.

Con base en estas características y en los modelos detallados de las amenazas se han determinado las zonas de la ciudad propensas a las inundaciones. El mapa 4.4.1 muestra la zonificación de la amenaza de inundación en Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2000), adoptada por el Plan de Ordenamiento Territorial.

El mapa define las zonas de amenaza de inundación alta, media, baja las cuales se han calculado con base en los criterios explicados en el capítulo 2.

Mapa 4.4.1 Bogotá: zonificación de la amenaza de inundación



Fuente: Alcaldía Mayor de Bogotá, 2000.

- ▶ El POT sienta las bases legales e institucionales para implementar el programa de reasentamiento de familias en Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2003). Este programa busca avanzar en la relocalización gradual de dichas familias de acuerdo con las prioridades establecidas en los estudios detallados de riesgo. Las áreas recuperadas luego del reasentamiento son incorporadas al POT como zonas de protección.
- ▶ Las áreas de tratamiento especial son áreas de riesgo alto prioritarias para la realización de estudios detallados del riesgo.
- ▶ La actividad de extracción minera en zonas de ladera fue suspendida y está actualmente prohibida dentro del perímetro urbano de la ciudad.

Las antiguas canteras deben diseñar e implementar planes de recuperación geomorfológica que incluyan obras de mitigación y readecuación.

Es importante mencionar que, más allá de los estudios de amenaza y riesgo de deslizamiento, desarrollados inicialmente para el POT, fue durante los años siguientes que se generó el mayor número de estudios de diferente resolución y aproximación (probabilista o determinista) en desarrollo de la regulación mencionada.

El recuadro 4.5 resume el contenido de la amenaza y el riesgo por deslizamiento en el POT de Bogotá, y el recuadro 4.6 presenta un ejemplo de reubicación fuera de una zona de alto riesgo no mitigable.

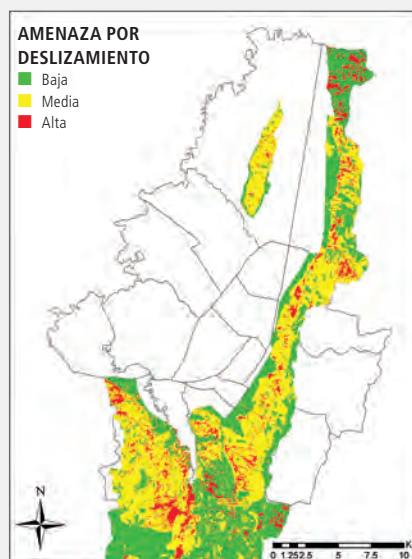
RECUADRO 4.5 Bogotá: la amenaza y el riesgo por deslizamiento en el POT

La ciudad cuenta con mapas de amenaza por deslizamiento (DPAE, 1998) para todas las localidades cuyo territorio se encuentre en la zona montañosa. Este estudio de zonificación se realizó mediante la aplicación de metodologías actualizadas al año 1997 y está en proceso continuo de calibración y verificación de campo por parte del Fopae (www.fopae.gov.co).

Los estudios permiten identificar las zonas de ladera susceptibles a problemas de deslizamientos de tipo puntual, debido a condiciones naturales o antrópicas. Los resultados de los estudios se han integrado al Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad.

Así, Bogotá se divide en tres zonas según el grado de amenaza por deslizamiento: alta, media y baja, como lo indica el mapa 4.5.1 (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2000). Las tres zonas se caracterizan por presentar diferentes probabilidades de ocurrencia de la remoción en masa o deslizamiento, con factor de seguridad específico, en un periodo de diez años, ya sea por causas naturales o por intervención antrópica no intencional; con evidencia de procesos activos en el caso de amenaza alta, y sin evidencia, en el nivel de amenaza media como se referencia en el cuadro 4.5.1 (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2000).

Mapa 4.5.1 Zonificación de la amenaza por deslizamiento



Cuadro 4.5.1 Parámetros para la determinación de las zonas de amenaza de deslizamiento

Nivel de amenaza	Probabilidad de ocurrencia (%)	Factor de seguridad
Alta	> 44	< 1.1
Media	12 - 44	1.1 – 1.9
Baja	< 12	> 1.9

Fuente: Alcaldía Mayor de Bogotá, 2000.

RECUADRO 4.6 Bogotá: ejemplo de reubicación de una zona de riesgo Alto no mitigable

El sector Altos de la Estancia, en la localidad de Ciudad Bolívar, ha sido afectado por fenómenos de remoción en masa causados por factores de origen geológico, explotación minera y consolidación de barrios ilegales desde 1997. La Secretaría Distrital de Planeación declaró este sector, con cerca de 110 hectáreas de extensión, como “suelo de protección por riesgo” (resoluciones 436 de 2004 y 2199 de 2010).

En consecuencia, el Fondo de Prevención y Atención de Emergencias (Fopae) y la Caja de Vivienda Popular (CVP) han reasentado desde 1999 hasta la fecha 3.200 familias, lo que corresponde a 20.000 personas, residentes de los quince barrios afectados por este fenómeno. Estas familias viven hoy en barrios legalizados en lugares libres del riesgo de remoción en masa o de inundación y cuentan con servicios públicos legales y la titularidad de las viviendas.

Las fotos 4.6.1 ilustran el estado antes y después de la realización del reasentamiento.



Barrios Santa Viviana y Santo Domingo – Altos de la Estancia (izquierda)

Barrio Torres del Progreso II – Bosa – Programa Reasentamiento (derecha)

Fuente: Fopae: Sf.

Referencias bibliográficas

Alcaldía Mayor de Bogotá. 1997. Ley 388. “Por la cual se modifica la Ley 9 de 1989 y la Ley 2 de 1991 y se dictan otras disposiciones”. Bogotá. [Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co>].

Alcaldía Mayor de Bogotá. 2000. Decreto 619. “Por el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial para Santafé de Bogotá”. Bogotá.

Alcaldía Mayor de Bogotá. 2003. Decreto 230. “Por el cual se asignan funciones para la ejecución del programa de reasentamiento de familias localizadas en zonas de alto riesgo no mitigable en Bogotá, Distrito Capital y se dictan otras disposiciones”. Bogotá.

Alcaldía Mayor de Bogotá. 2004. Decreto 190. “Por el cual se compilan las disposiciones contenidas en los decretos distritales 619 de 2000 y 469 de 2003”. Bogotá.

Alcaldía Mayor de Bogotá. 2006. Decreto 193. “Por el cual se complementa y modifica el Código de Construcción de Bogotá”. Bogotá.

Alcaldía Mayor de Bogotá. 2010. Decreto 523. “Por el cual se adopta la microzonificación sísmica de Bogotá”. Bogotá.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). 2010. *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente*, NSR-10, Bogotá: AIS.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). 2005. *Censo general 2005*. Bogotá: DANE.

Dirección de Prevención y Atención de Emergencias (DPAE). 1998. *Estudio de zonificación de riesgos por remoción en masa*. Bogotá: DPAE.

Dirección de Prevención y Atención de Emergencias (DPAE). 2006. *Actualización de la microzonificación sísmica de Bogotá*. Bogotá: DPAE y Universidad de los Andes.

Dirección de Prevención y Atención de Emergencias (DPAE). 2011. *Comparativo emergencias y eventos 2001-2011(31 de julio)*. Bogotá: DPAE.

Fondo de Prevención y Atención de Emergencias (Fopae). 2010. *Microzonificación sísmica de Bogotá*. Bogotá: DPAE.

Fondo de Prevención y Atención de Emergencias (Fopae). s. f. *Proyecto Altos de la Estancia, Experiencia Fopae*. Bogotá: Fopae.

Pardo, J. A. 2011. *Gestión integral del riesgo en Bogotá. Estudio de caso del barrio Nueva Esperanza en la localidad Rafael Uribe Uribe*. Bogotá: Uniandes, Centro Interdisciplinario de Estudios Sobre Desarrollo.

Universidad de los Andes e Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas). 1997. *Microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá*. Bogotá: Universidad de los Andes e Ingeominas.





Capítulo 5

Indicadores de amenaza, exposición y riesgo urbano

Coautores

Martha Liliana Carreño

*Investigadora, Cimne, profesora,
Universidad Politécnica de Cataluña*

Alex Barbat

*Investigador, Cimne, profesor catedrático,
Universidad Politécnica de Cataluña*

Mabel Cristina Marulanda

*Asistente de investigación, Cimne
Universidad Politécnica de Cataluña*



Aspectos conceptuales

La problemática de la gestión del riesgo de un área geográfica, no solo incluye la identificación y la evaluación del riesgo utilizando técnicas de valoración de los daños o pérdidas económicas potenciales debidos a la ocurrencia de eventos extremos, sino también otros aspectos relacionados con las condiciones socioeconómicas que inciden en la capacidad de recuperación y que pueden aumentar el impacto directo e indirecto de los eventos peligrosos. El desempeño de los servicios esenciales, la capacidad institucional, la efectividad de la gestión del riesgo y la capacidad de reacción en caso de desastre son factores que caracterizan el nivel de vulnerabilidad y resiliencia y, por tanto, del riesgo mismo.

Ante la dificultad de considerar todos estos aspectos en una metodología única de análisis de riesgo, restringida a la evaluación de daños y pérdidas, es necesario recurrir a técnicas complementarias o alternativas que permitan considerar otras dimensiones de la problemática para facilitar su comprensión y dimensionamiento.

Al utilizar cierto tipo de indicadores es posible realizar la valoración de aspectos básicos relacionados con la amenaza, el riesgo y su manejo. Algunos de ellos ofrecen características como las siguientes:

- ▶ Son una herramienta sencilla que facilita la comunicación del riesgo.
- ▶ Reflejan elementos o variables relevantes del riesgo desde una perspectiva integral.
- ▶ Permiten realizar análisis de sensibilidad y calibración.
- ▶ Pueden ser usados para monitorear la evolución de las variables en el tiempo y la eficiencia de las estrategias para la reducción del riesgo.

Ahora bien, también es necesario tener en cuenta algunas precauciones al utilizar cierto tipo de indicadores sencillos para reflejar el riesgo:

- ▶ La calificación de algunos de ellos puede llegar a ser muy subjetiva, por lo que los resultados pueden variar significativamente, dependiendo de los evaluadores.
- ▶ Algunos de los indicadores no están soportados en métodos analíticos rigurosos o robustos.
- ▶ Los análisis con indicadores son, en general, de tipo comparativo entre las unidades del análisis.
- ▶ Como su forma principal de utilización es la comparativa, se deben utilizar las mismas bases de calificación.

- ▶ Con base en sistemas de indicadores no es posible realizar cierto tipo de aplicaciones de cierta complejidad, como valoraciones para diseñar esquemas de retención o transferencia de pérdidas o evaluación de medidas de mitigación del riesgo.

El término “indicador” se refiere al resultado de una observación o rasgo que refleja y permite medir diferentes aspectos de una condición o componente del riesgo. Los indicadores son entonces valores de referencia de la amenaza, la exposición, la vulnerabilidad o el riesgo mismo, o cualquier otro aspecto de una zona o un sitio determinado, incluyendo tanto aspectos físicos como económicos, sociales y ambientales. Los indicadores en general permiten crear una “línea de base” sobre la cual pueden hacerse comparaciones relativas o mediciones de procesos o cambios en el tiempo de cada uno de ellos. La aplicación principal de un sistema de indicadores de riesgo se orienta a reflejar o valorar aspectos de la amenaza, la exposición, la vulnerabilidad y el riesgo en un área geográfica, que puede ser un país, una región subnacional o una ciudad.

Indicadores de exposición urbana

En el nivel urbano, por ejemplo, es posible desarrollar una serie de indicadores básicos relacionados principalmente con las características físicas y socioeconómicas de los diferentes sectores. Estos indicadores sirven para realizar análisis más detallados que tengan en cuenta también los aspectos sociales y económicos predominantes del área urbana considerada. A continuación, se presentan algunos de los indicadores básicos en el nivel de ciudades que son necesarios para realizar análisis más complejos, como por ejemplo la estimación holística del riesgo, metodología que se presenta más adelante.

Unidades geográficas de análisis

Para la caracterización de una zona determinada mediante indicadores es necesario establecer una unidad o subdivisión geográfica que represente en forma adecuada los sectores de la ciudad. Dicha subdivisión puede hacerse con los predios mismos como una unidad mínima de caracterización geográfica, o definiendo localidades o sectores de la ciudad que abarcan grandes áreas y que corresponden, en muchos casos, a subdivisiones de tipo administrativo o político. En los mapas 3.2.1 se explicaron, en forma detallada, las principales unidades geográficas de análisis para Bogotá, las mismas que se utilizan en este capítulo para presentar resultados típicos de indicadores.

Indicadores de exposición física

Los indicadores de exposición física se pueden obtener a partir de la información de bases de datos catastrales, de la información de los censos de población y vivienda, o mediante levantamiento directo de información en campo o con encuestas.

Algunos de los indicadores principales de exposición física para edificaciones se describen en la tabla 5.1. El recuadro 5.1 presenta algunos indicadores de exposición física para Bogotá y su distribución geográfica.

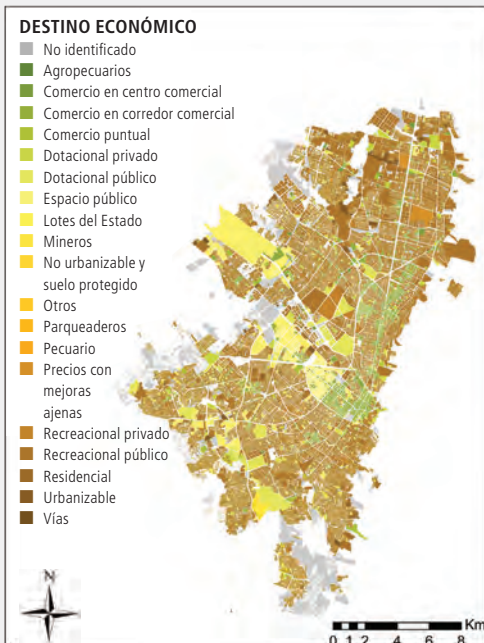
Tabla 5.1 Descriptores de exposición física para edificaciones

Parámetro	Descripción
IF-Fecha	Fecha aproximada de construcción
IF-Altura	Altura máxima de la edificación en número de pisos
IF-Uso	Uso predominante en la edificación
IF-Terreno	Tamaño del predio en m ²
IF-Construcción	Área total de la construcción en m ²
IF-Calidad	Calidad de la construcción

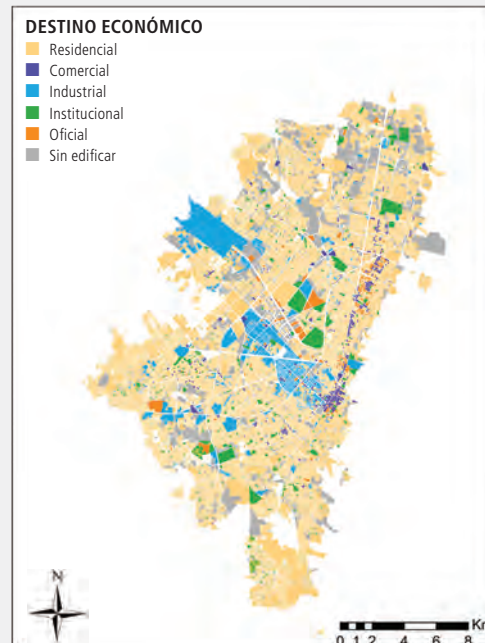
RECUADRO 5.1 Bogotá: indicadores de exposición física

Con base en la información disponible de Bogotá, es posible visualizar un conjunto de indicadores de exposición física. Los mapas del 5.1.1 al 5.1.4 ilustran algunos indicadores de este tipo en la ciudad.

Mapa 5.1.1 Distribución del destino económico de la edificación, por manzana



Mapa 5.1.2 Distribución del uso de la edificación, por manzana



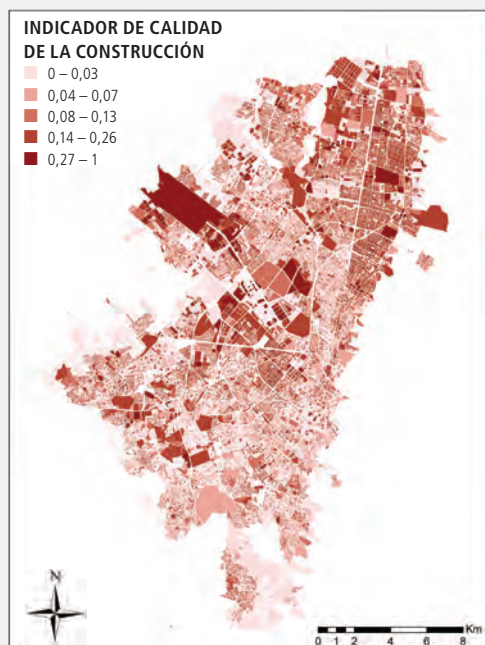
continúa

RECUADRO 5.1 Bogotá: indicadores de exposición física (continuación)

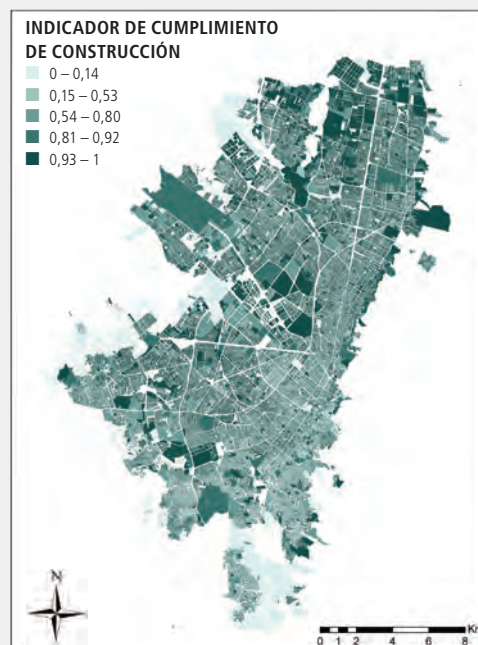
El indicador de calidad de la construcción se evalúa teniendo en cuenta la calidad de los materiales y el nivel de conservación de la edificación (muros, techos y pisos).

Los valores del indicador cercanos a 0 representan mala calidad, mientras que valores cercanos a 1 indican que la edificación es de buena calidad. Este indicador se obtiene, a partir de la información del censo de población y vivienda de la ciudad. El mapa 5.1.3 presenta la distribución geográfica de este indicador en Bogotá.

Mapa 5.1.3 Distribución del indicador de calidad de la construcción, por manzana



Mapa 5.1.4 Distribución de indicador de cumplimiento del código de sismorresistencia, por manzana



Es posible también calcular indicadores como el de cumplimiento de las exigencias del código de construcciones vigente (como medida relativa de la calidad), el cual indica el grado en el que las edificaciones no cumplen con los requisitos del código de diseño y construcción sismorresistente del país (AIS y Universidad de los Andes, 2010). Las edificaciones que presentan indicadores bajos (inferiores a 0.5) corresponden a aquellas que cumplirían con el comportamiento esperado según la norma vigente. Se calcula mediante una evaluación aproximada del comportamiento sísmico esperado en cada edificación, empleando para el efecto un nivel de amenaza acorde con la normativa vigente, y evaluando en términos relativos el riesgo resultante con respecto a lo que se esperaría si cumpliera con las normas. El mapa 5.1.4 presenta la distribución geográfica de este indicador en Bogotá.

Indicadores de exposición económica

Otro grupo de indicadores corresponde a los de la exposición económica. La información está normalmente disponible en las bases de datos catastrales o se puede estimar utilizando avalúos y precios comerciales de las diferentes zonas y tipos constructivos de la ciudad.

La tabla 5.2 recopila algunos indicadores de exposición económica. En el recuadro 5.2 se ilustran algunos resultados típicos de este tipo de indicadores.

Indicadores de exposición de población

Los indicadores de exposición de la población se basan en la información derivada de las cifras oficiales de la población y su distribución geográfica en la ciudad. La fuente de información principal es normalmente el último censo de población y de vivienda.

Indicadores de densidad de población con respecto al área de la construcción y al área del terreno se definen en la tabla 5.3. En el recuadro 5.3 se recogen algunos resultados típicos de este tipo de indicadores.

Tabla 5.2 Indicadores de exposición económica

Parámetro	Descripción
IE-ValTerrUnit	Valor comercial por unidad de área del terreno
IE-ValConstUnit	Valor comercial por unidad de área de la construcción
IE-NSE	Nivel socioeconómico (1=bajo; 6=alto)

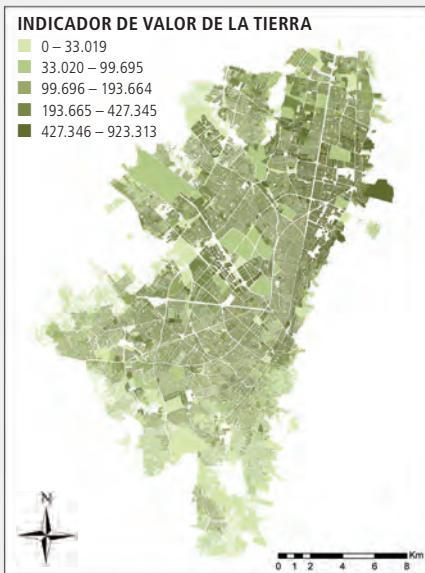
Tabla 5.3 Indicadores de exposición de población

Parámetro	Descripción
IP-OcuMax	Densidad de ocupación máxima, personas por m ² de construcción
IP-OcuMaxTerr	Densidad de ocupación máxima, personas por m ² de área de terreno

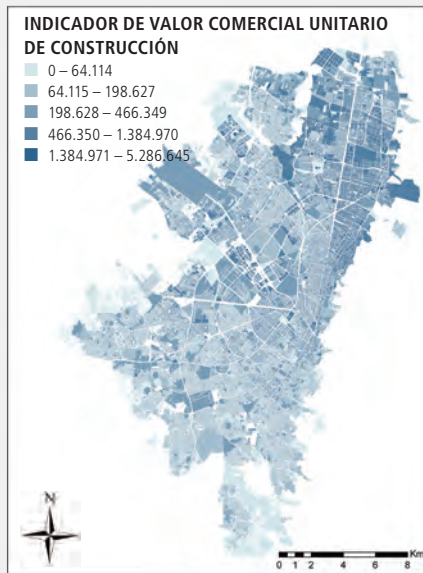
RECUADRO 5.2 Bogotá: indicadores de exposición económica

La información disponible de Bogotá permite la evaluación y visualización de varios indicadores de exposición económica. Los mapas del 5.2.1 al 5.2.3 muestran la distribución geográfica del valor unitario del m² de terreno (IE-ValTerrUnit), la distribución del valor unitario del m² de construcción (IE-ValConstUnit) en términos de dólares por metro cuadrado (US\$/m²) y la distribución del nivel socioeconómico, según manzana (IE-NSE). En Colombia se utiliza una clasificación socioeconómica para efectos de determinar las tasas de impuestos y las tarifas de los servicios públicos. El nivel 1 representa el nivel más bajo, con los menores ingresos, y el nivel 6 corresponde a la población con los mayores ingresos y capacidad económica.

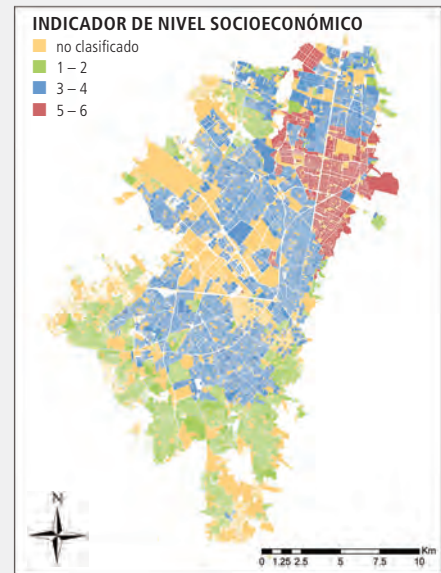
Mapa 5.2.1 Distribución del indicador de valor unitario del terreno, por manzana



Mapa 5.2.2 Distribución del indicador de valor unitario de construcción, por manzana



Mapa 5.2.3 Distribución del nivel socioeconómico, por manzana



Indicadores de amenaza y riesgo físico

La información disponible sobre las amenazas y el riesgo físico, evaluados por medio de las metodologías descritas en los capítulos 1, 2 y 3, permite construir una serie de indicadores de amenaza y riesgo para cada una de las unidades geográficas definidas.

Los indicadores de amenaza hacen referencia al nivel de intensidad esperada, para un periodo de retorno

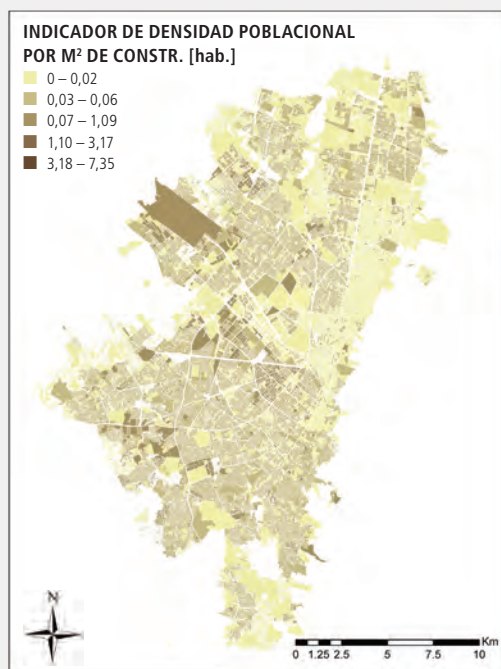
específico y para cada tipo de sistema constructivo en particular; es decir, el nivel básico de la amenaza, de acuerdo con las características de la construcción en particular. Por ejemplo, en el caso de un sismo, corresponde a la aceleración espectral (la intensidad sísmica depende de las características de la edificación) para cada tipo constructivo y para un periodo de retorno determinado, mientras que para el caso de las lluvias intensas e inundaciones, el indicador es independiente de las características de la construcción.

RECUADRO 5.3 Bogotá: indicadores de exposición de población

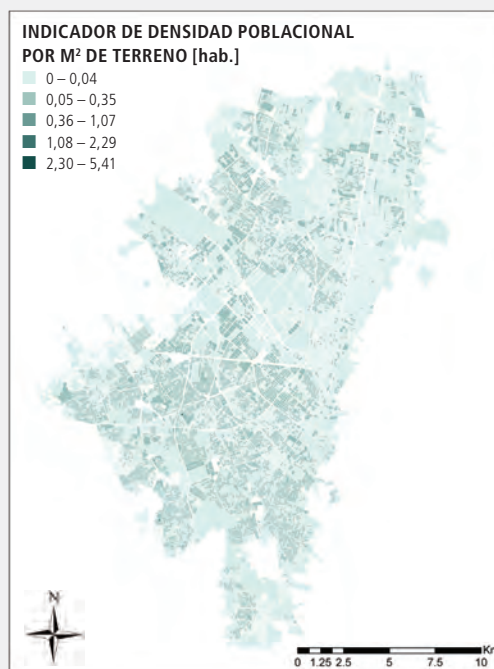
La exposición de la población se puede establecer mediante el análisis de los indicadores de densidad poblacional, en relación tanto con el área de construcción como con el área del terreno.

Los mapas 5.3.1 y 5.3.2 muestran algunos indicadores de exposición de población para Bogotá.

Mapa 5.3.1 Distribución de la densidad poblacional por m² de construcción, por manzana



Mapa 5.3.2 Distribución de la densidad poblacional por m² de terreno, por manzana



Los indicadores del riesgo, por su parte, resultan principalmente de evaluaciones detalladas de riesgo, tal como se explicó en el capítulo 1, o de evaluaciones más simplificadas, cuando la disponibilidad de la información no permite hacer estudios detallados. El indicador del riesgo más representativo es la pérdida anual esperada. Esta métrica se utiliza como un indicador básico del nivel de riesgo al que está sometida la construcción (ver definición en el capítulo 1).

Algunos de los indicadores más utilizados para caracterizar, cuantificar y visualizar las amenazas y el riesgo, para cada uno de los tipos de construcción, se describen en la tabla 5.4.

Los recuadros 5.4, 5.5 y 5.6 recopilan ejemplos de indicadores de la amenaza y del riesgo físico para el caso de Bogotá.

Tabla 5.4 Indicadores de la amenaza y del riesgo

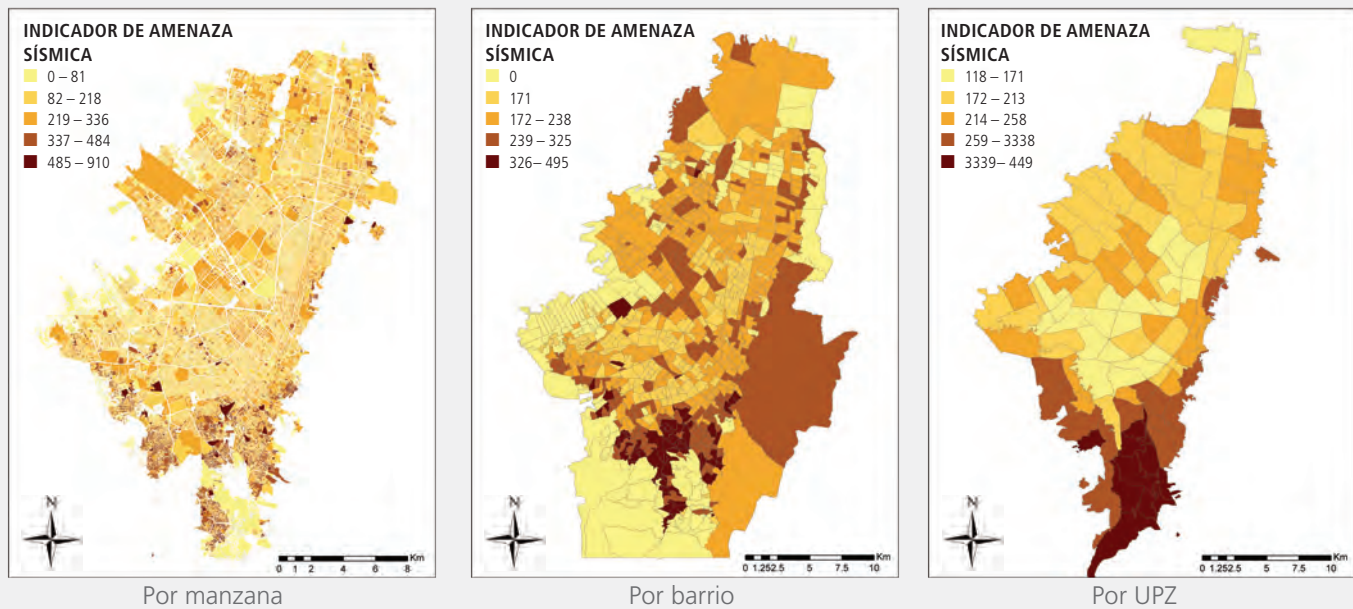
Parámetro	Descripción
IA-SIS	Amenaza sísmica
IA-INU	Amenaza de inundación (0-1)
IA-DES	Amenaza de deslizamiento (0-1)
IR-SIS	Riesgo sísmico (0-1)
IR-INU	Riesgo por inundación en construcciones
IR-DES	Riesgo por deslizamiento en construcciones
IR-BCMIT	Beneficio-costo de obras de mitigación

RECUADRO 5.4 Bogotá: indicadores de amenaza

A continuación se exponen varios indicadores que reflejan los niveles de las amenazas sísmica, de inundación y de deslizamiento para la ciudad.

El indicador de amenaza sísmica para edificaciones refleja la intensidad de la amenaza sísmica, calculada por medio de las metodologías explicadas en el capítulo 2, en función del tipo constructivo de las edificaciones de la ciudad. El mapa 5.4.1 expone este indicador para varias unidades geográficas de análisis.

Mapa 5.4.1 Distribución geográfica del indicador de amenaza sísmica

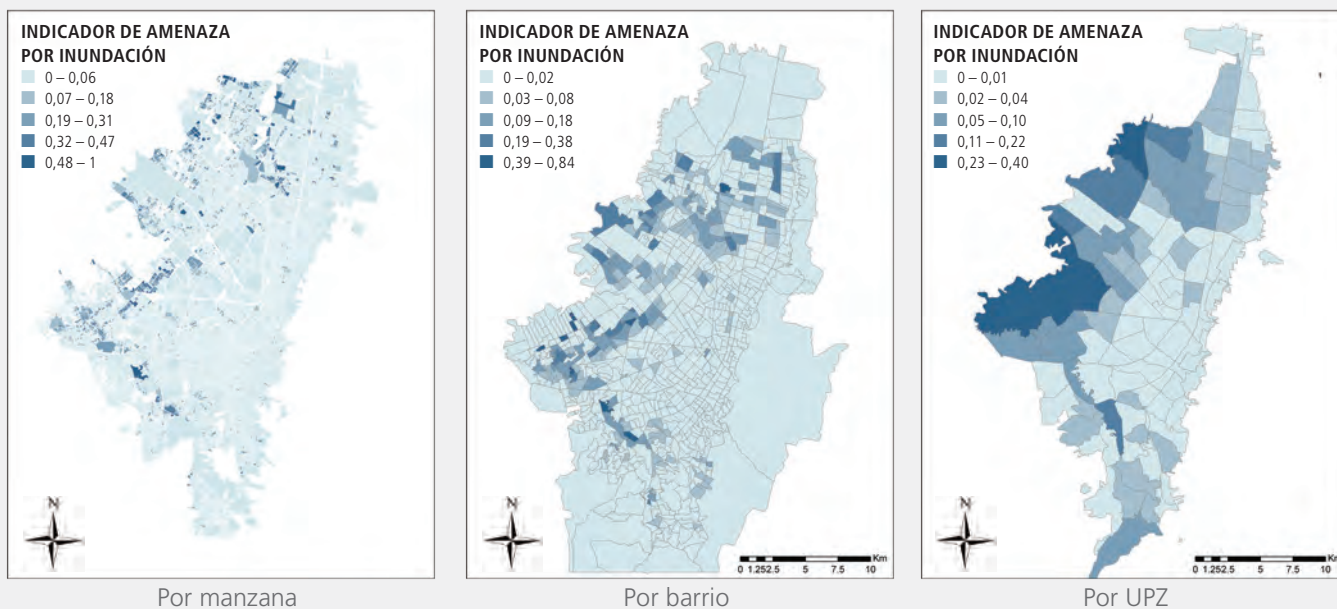


continúa

RECUADRO 5.4 Bogotá: indicadores de amenaza (continuación)

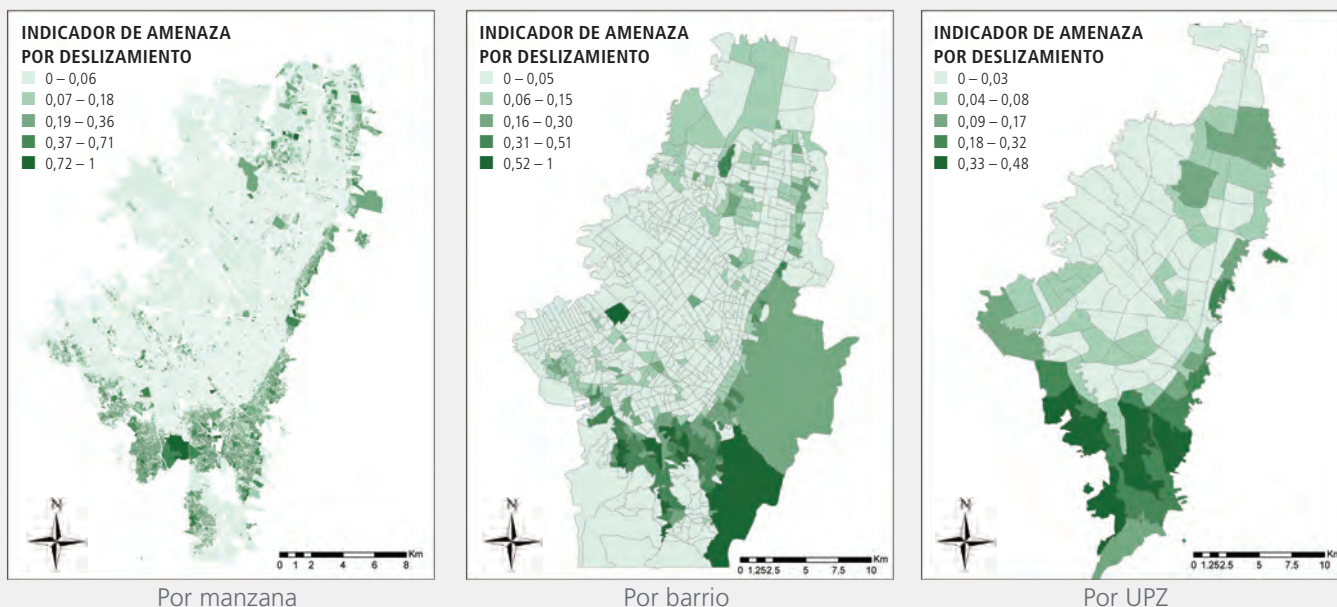
El indicador de amenaza de inundación se estima con base en el mapa de amenaza de inundación de Bogotá (Decreto 619 de 2000). De esta manera es posible asignar un indicador de la amenaza, para diferentes unidades geográficas de la ciudad, con una escala de valores desde 0 (para amenaza baja) hasta 1 (para amenaza alta) (mapa 5.4.2).

Mapa 5.4.2 Distribución del indicador de amenaza por inundación



El indicador de amenaza de deslizamientos se determina con base en el mapa oficial de amenaza por deslizamientos de la ciudad (DPAE, 1998). De acuerdo con esto se genera un mapa de indicadores de este tipo de amenaza para varias unidades geográficas dentro de la ciudad. La escala de los valores indica 0 para la amenaza baja y 1 para la amenaza alta (mapa 5.4.3).

Mapa 5.4.3 Distribución del indicador de amenaza por deslizamiento

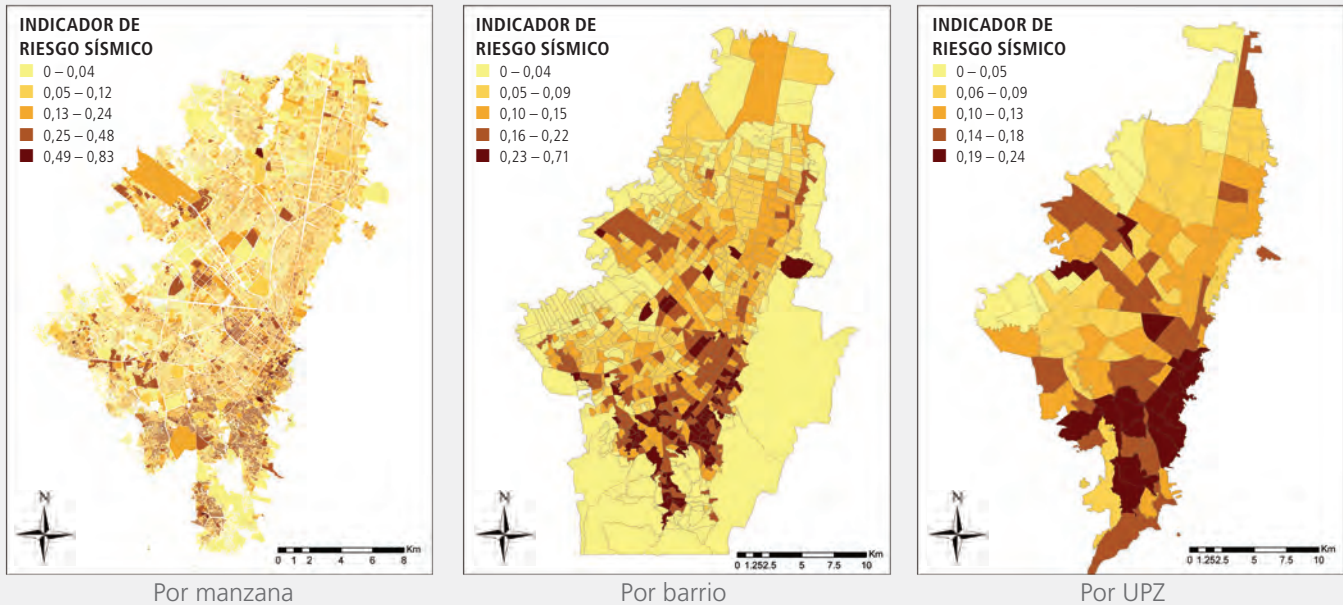


RECUADRO 5.5 Bogotá: indicadores del riesgo físico

El riesgo físico de la ciudad ante diferentes amenazas naturales puede representarse mediante indicadores, como lo ilustran los mapas 5.5.1, 5.5.2 y 5.5.3.

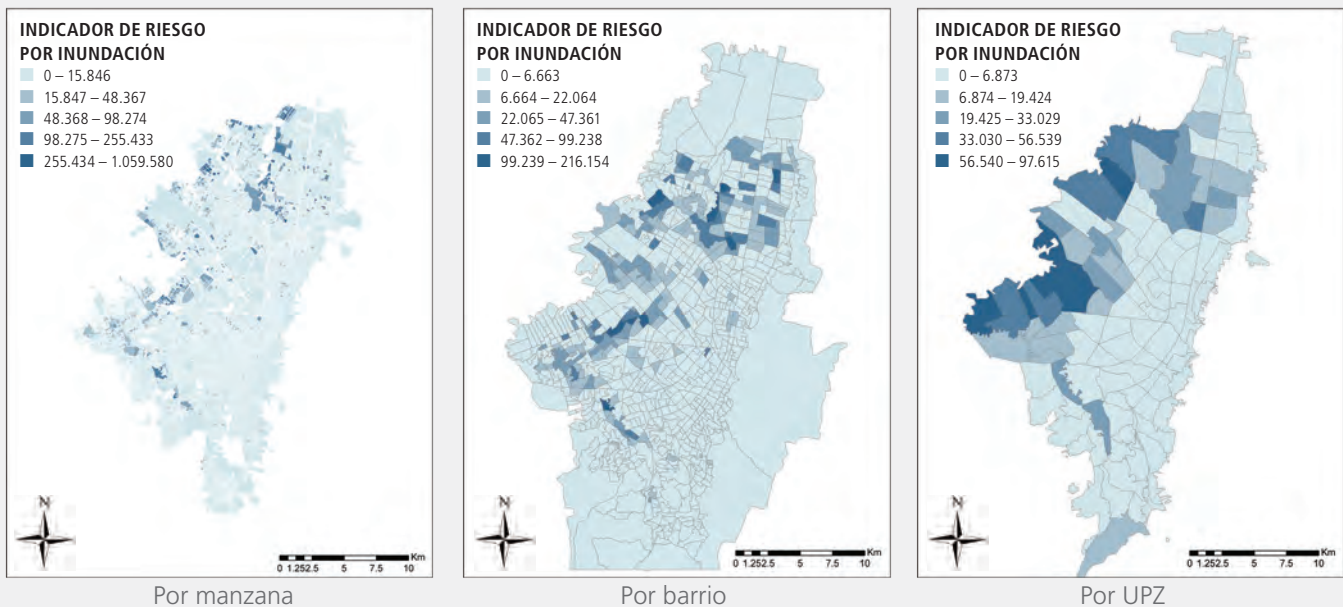
Los indicadores del riesgo sísmico reflejan el nivel de las pérdidas económicas esperadas en las edificaciones, según los escenarios de amenaza sísmica utilizados. En este caso, el riesgo se evalúa con base en la pérdida esperada con la metodología de evaluación del riesgo explicada en los capítulos del 1 al 3.

Mapa 5.5.1 Bogotá: distribución del indicador del riesgo sísmico en la ciudad. Metodología probabilista de cálculo



El indicador de riesgo por inundación refleja los niveles de pérdidas económicas relativas esperadas en las edificaciones, de acuerdo con la amenaza de inundaciones de Bogotá. Se trata de un indicador con valores relativos de 0 a 1, obtenido a partir de valoraciones simplificadas, debido a que no se ha realizado una evaluación de riesgo por inundación de mayor rigurosidad.

Mapa 5.5.2 Distribución del indicador de riesgo por inundación

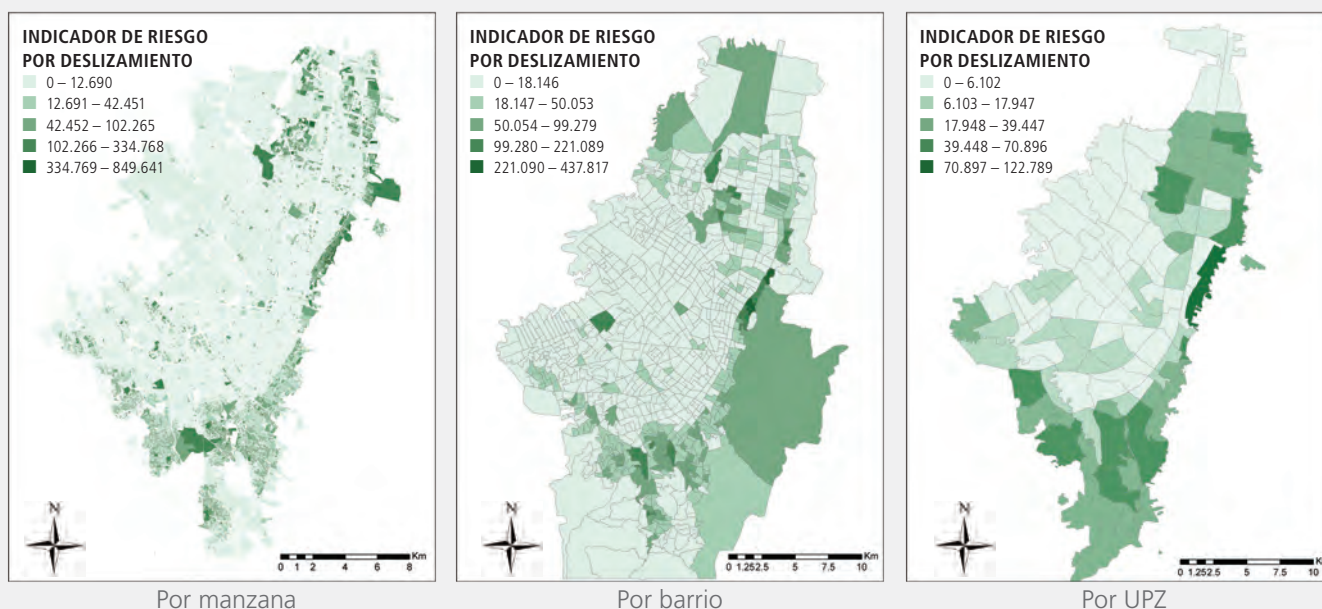


continúa

RECUADRO 5.5 Bogotá: indicadores del riesgo físico (continuación)

El indicador del riesgo por deslizamientos refleja los niveles de pérdidas económicas relativas esperadas en las edificaciones, de acuerdo con el mapa de amenaza de deslizamientos de la ciudad. Se trata de un indicador con valores relativos de 0 a 1, estimado mediante valoraciones simplificadas.

Mapa 5.5.3 Distribución del indicador de riesgo por deslizamiento



RECUADRO 5.6 Bogotá: indicadores del beneficio que reportaría la mitigación del riesgo sísmico

Con base en la información disponible del riesgo en el nivel de edificaciones individuales, es posible obtener un indicador que refleje las relaciones beneficio-costo de la adopción de medidas estructurales de mitigación del riesgo sísmico.

En este caso, el beneficio corresponde al ahorro en términos de pérdidas futuras directas evitadas por efecto de las medidas de mitigación físicas específicas propuestas, mientras que el costo corresponde al valor de las obras de mitigación.

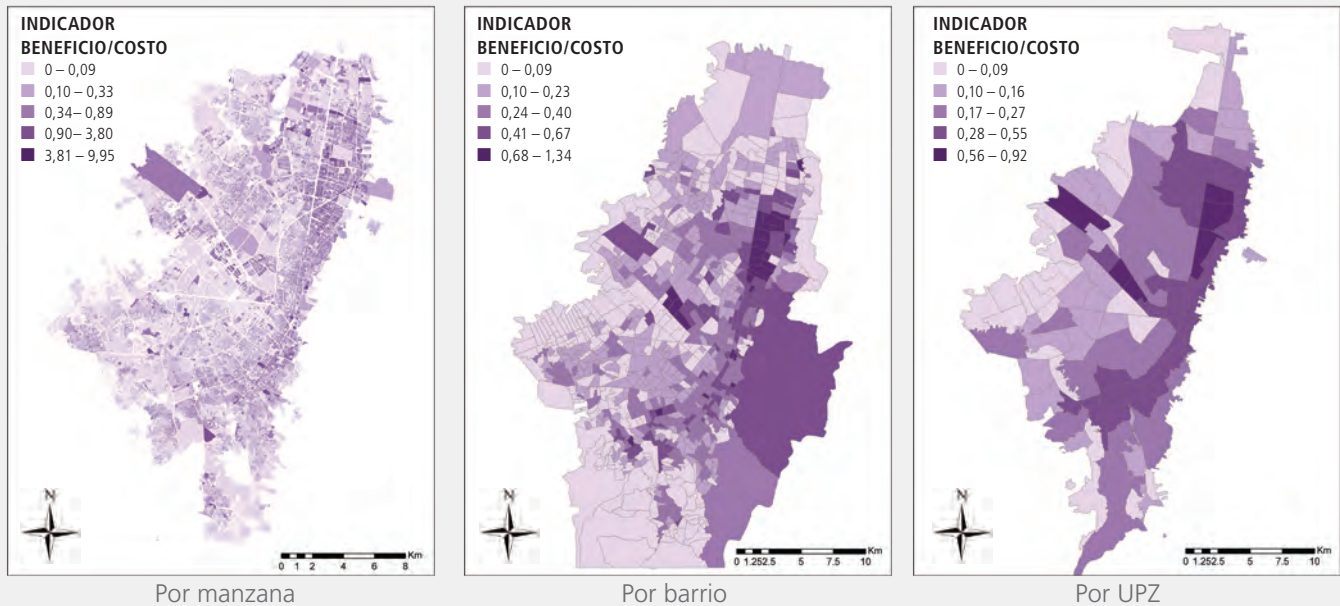
Para las medidas de mitigación solo se considera una medida típica utilizada para cada uno de los tipos constructivos dominantes, basada en la práctica estándar para la ciudad. Los valores más altos de este indicador reflejan una mayor proporción de los beneficios con respecto a eventuales costos de inversión en mitigación. La metodología de cálculo detallada de las relaciones beneficio-costo para las medidas de mitigación estructural se presenta en el capítulo 6.

El mapa 5.6.1 recopila la distribución geográfica de este indicador para varias unidades geográficas de análisis.

continúa

RECUADRO 5.6 Bogotá: indicadores del beneficio que reportaría la mitigación del riesgo sísmico (continuación)

Mapa 5.6.1 Distribución del indicador de beneficio-costo (pérdidas físicas directas, metodología simplificada de cálculo)



Fuente: elaboración propia.

Estimación holística del riesgo

También es posible formular indicadores de riesgo con un enfoque más integral, que reflejen no solamente el riesgo físico sino otros aspectos relativos a la susceptibilidad y la exposición, la fragilidad social y la falta de resiliencia, manteniendo un marco conceptual subyacente en su formulación. Con este tipo de enfoques, por ejemplo, se pueden proponer indicadores compuestos que permitan orientar la toma de decisiones en forma interinstitucional al momento de desagregar los subindicadores componentes.

Un indicador de este tipo es el Índice del Riesgo Total (R_T), que se determina con base en el riesgo físico y en un factor de impacto. Este factor de impacto incluye un coeficiente de agravamiento para cada unidad espacial de análisis, basado en variables asociadas a la fragilidad social y la falta de resiliencia en cada unidad. Los indicadores de riesgo físico se obtienen a partir, por ejemplo, de un análisis probabilista, siguiendo las metodologías descritas en los capítulos 1 a 3 o mediante escenarios específicos de pérdidas para la amenaza en consideración (Carreño, Cardona y Barbat, 2007a: 137-172; Carreño et ál., 2009). La tabla 5.5 presenta un esquema con

diferentes elementos considerados en el cálculo de este tipo de indicador compuesto para cada unidad de análisis en el ámbito urbano.

La definición de cuáles podrían ser los subindicadores de fragilidad social y de resiliencia (evaluada en el sentido inverso para efectos del agravamiento del riesgo físico) se realiza de acuerdo con la información disponible en el centro urbano que permita evaluar todas las unidades de análisis. Usualmente se utiliza la opinión de expertos o de las instituciones interesadas en la evaluación. De la misma manera, el peso de cada subindicador o variable en consideración se puede obtener de procesos de valoración participativa, utilizando técnicas como la del proceso analítico jerárquico, o mediante la asignación de puntajes con técnicas como el método Delphi. La robustez y la sensibilidad de este tipo de indicador compuesto a los valores de las variables o subindicadores, a las funciones de transformación y a los pesos utilizados se han evaluado empleando simulaciones realizadas con técnicas de Montecarlo.

El cálculo del Índice de Riesgo Físico y del Factor de Impacto se lleva a cabo mediante la evaluación de cada uno de los subindicadores F_{RF} , F_{FSI} y F_{FRI} obte-

Tabla 5.5 Ejemplo de subindicadores y pesos considerados para el cálculo del R_T

Indicador	Descripción	w
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

Indicador	Descripción	w
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

R_f Riesgo Físico

$R_T = R_f(1 + F)$

F Factor de Impacto

nidos para cada una de las localidades o zonas geográficas de la ciudad involucradas. Estos indicadores se hacen conmensurables utilizando unas funciones de transformación que los escalan a valores entre 0 y 1, y luego son ponderados mediante el factor de importancia o “peso”, obtenido de procesos participativos con expertos o con las instituciones relacionadas. La metodología detallada de cálculo se describe en Carreño, Cardona y Barbat (2007a: 137-172); Cardona et ál. (2009), IDEA (2005) y Marulanda, Cardona y Barbat (2009: 501-516).

El recuadro 5.7 se refiere a la evaluación del Índice del Riesgo Total (R_T) para Bogotá, utilizando para el efecto la mejor información disponible en el momento del estudio.

Índice de la Gestión del Riesgo (IGR)

El IGR es un indicador compuesto que da cuenta del desempeño de la gestión del riesgo en el ámbito de cada unidad administrativa que conforme un área de análisis (comunidad, municipio, departamento o país). En este indicador se refleja la organización, la capacidad, el desarrollo y la acción institucional para reducir la vulnerabilidad y el riesgo, y además el avance en la capacidad para responder en caso de crisis y recuperarse con eficiencia (Carreño, Cardona y Barbat, 2004; Carreño, Cardona y Barbat, 2007b). La tabla 5.6 recopila los componentes del IGR, que incluyen la identificación del riesgo (IR), la reducción del riesgo (RR), el manejo de desastres (MD) y la protección financiera (PF).

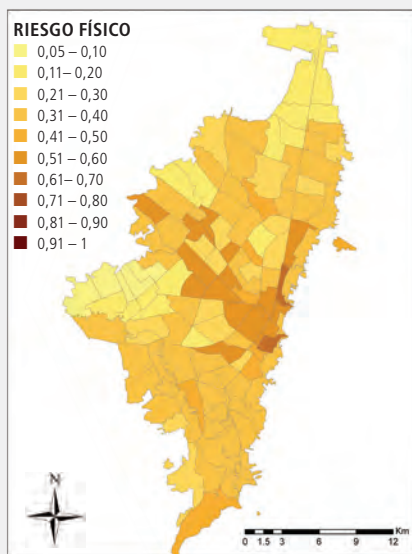
RECUADRO 5.7 Bogotá y sus localidades. El Índice de Riesgo Total

El R_T para Bogotá fue evaluado con el fin de estimar el riesgo de la ciudad desde una perspectiva holística (DPAE y Universidad de los Andes, 2005). Los mapas 5.7.1 al 5.7.4 y el gráfico 5.7.1 ilustran los resultados generales del riesgo para un escenario sísmico específico.

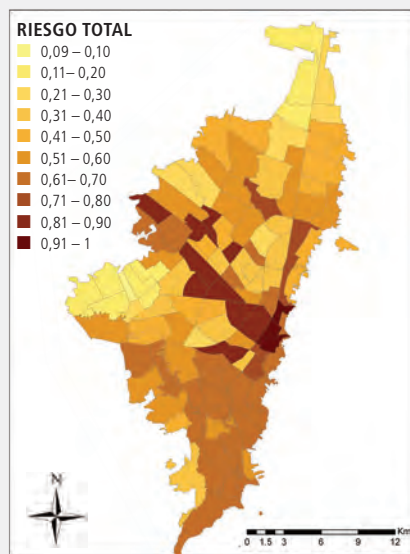
El riesgo total depende no solamente del riesgo físico sino del Factor de Impacto, obtenido de tener en cuenta subindicadores que reflejan la fragilidad social y la falta de resiliencia en cada una de las localidades.

Este tipo de evaluación integral del riesgo ha sido útil para identificar las causas subyacentes del riesgo y el papel de las diferentes instituciones de la ciudad de acuerdo con su ámbito de su competencia y jurisdicción.

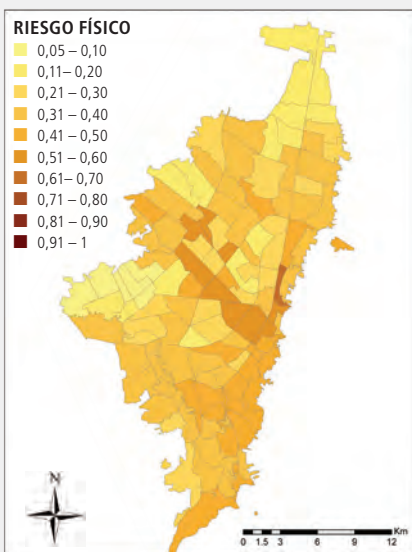
Mapa 5.7.1 Índice de Riesgo Físico (R_f) por unidades geográficas tipo UPZ (para un sismo en la Falla Frontal con $T_{ret} = 500$ años, escenario diurno)



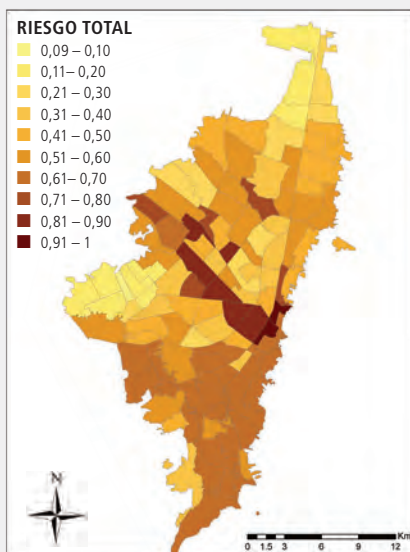
Mapa 5.7.2 Índice de Riesgo Total (R_T) por UPZ, según manzana (para un sismo en la de Falla Frontal con $T_{ret} = 500$ años, escenario diurno)



Mapa 5.7.3 Índice de Riesgo Físico (R_f) por unidades geográficas tipo UPZ (para un sismo en la Falla Frontal con $T_{ret} = 500$ años, escenario nocturno)



Mapa 5.7.4 Índice de Riesgo Total (R_T) por UPZ, (para un sismo en la Falla Frontal con $T_{ret} = 500$ años, escenario nocturno)

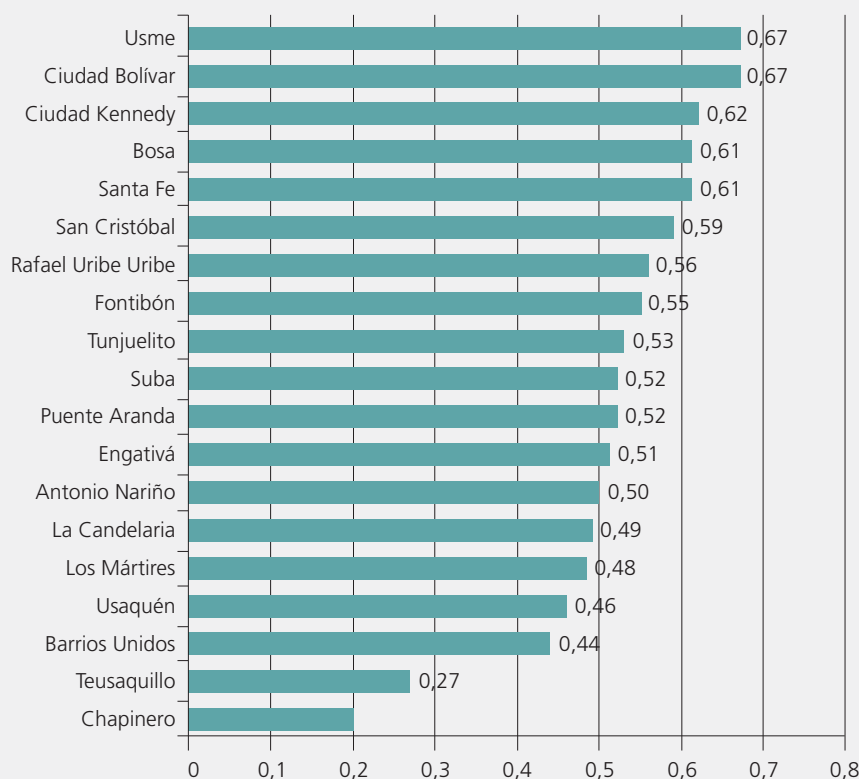


Fuente: DPAE y Universidad de los Andes, 2005.

continúa

RECUADRO 5.7 Bogotá y sus localidades. El Índice de Riesgo Total (continuación)

Gráfico 5.7.1 Factor de Impacto (F) para el cálculo del Índice de Riesgo Total



Fuente: DPAE y Universidad de los Andes, 2005.

El IGR es un *benchmark* para determinar los niveles de avance en la gestión del riesgo en la zona de estudio, mediante la utilización de técnicas de conjuntos difusos apropiados para el manejo en forma lingüística de las apreciaciones de los evaluadores. Esta técnica conduce a identificar hacia dónde se deben dirigir los esfuerzos para mejorar el desempeño de las instituciones en la gestión del riesgo. Aunque puede ser evaluado por expertos conocedores de los avances obtenidos en los diferentes frentes, este índice posibilita que las evaluaciones se hagan en forma colegiada por múltiples interesados, quienes incluso pueden definir y asignar por consenso los pesos de cada subindicador que se utiliza. De esta forma, el indicador facilita el diálogo entre las partes y contribuye a una visión

integral e interinstitucional de las acciones que deben implementarse para mejorar la efectividad de la gestión.

El recuadro 5.8 resume la evaluación del Índice de Gestión del Riesgo para Bogotá, en el ámbito de las diferentes localidades de la ciudad; es decir, las unidades geográficas básicas que se utilizaron para el análisis, teniendo en cuenta que la ciudad tiene una administración descentralizada.

Ahora bien, en el marco del “Programa de indicadores de riesgo de desastre y gestión del riesgo para las Américas”, del Banco Interamericano de Desarrollo (Cardona 2005, 2006 y 2008; Carreño, Cardona y Barbat, 2004; IDEA, 2005), se llevó a cabo la formulación de un sistema de indicadores cuyo propósito

Tabla 5.6 Componentes del Índice de Gestión de Riesgos (IGR)

Descripción – Identificación del riesgo	Indicador	Peso	
Inventario sistemático de desastres y pérdidas	IR1	w1	IGR _{IR}
Monitoreo de amenazas y pronóstico	IR2	w4	
Evaluación de amenazas y su representación en mapas	IR3	w5	
Evaluación de vulnerabilidad y riesgo	IR4	w6	
Información pública y participación comunitaria	IR5	w7	
Capacitación y educación en gestión de riesgos	IR6	w8	
Descripción – Reducción del riesgo	Indicador	Peso	
Integración del riesgo en la definición de usos y la planificación	RR1	w1	IGR _{RR}
Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental	RR2	w4	
Implementación de técnicas de protección y control de eventos	RR3	w5	
Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos	RR4	w6	
Actualización y control de la aplicación de normas y códigos	RR5	w7	
Intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados	RR6	w8	
Descripción – Manejo de desastres	Indicador	Peso	
Organización y coordinación de operaciones de emergencia	MD1	w1	IGR _{MD}
Planificación de la respuesta en caso de emergencia y sistemas de alerta	MD2	w4	
Dotación de equipos, herramientas e infraestructura	MD3	w5	
Simulación, actualización y prueba de la respuesta interinstitucional	MD4	w6	
Preparación y capacitación de la comunidad	MD5	w7	
Planificación para la rehabilitación y reconstrucción	MD6	w8	
Descripción – Protección financiera	Indicador	Peso	
Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada	PF1	w1	IGR _{PF}
Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional	PF2	w4	
Localización y movilización de recursos de presupuesto	PF3	w5	
Implementación de redes y fondos de seguridad	PF4	w6	
Seguros y estrategias de transferencia de pérdidas activos públicos	PF5	w7	
Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado	PF6	w8	

$$IGR = \frac{IGR_{IR} + IGR_{RR} + IGR_{MD} + IGR_{PF}}{4}$$

principal ha sido dimensionar la vulnerabilidad y el riesgo a escala nacional (aunque también es posible realizarlo en el ámbito subnacional), e invitar y facilitar la toma de decisiones, teniendo en cuenta no solo los aspectos técnicos, sino consideraciones macroeconómicas, sociales e institucionales.

Estos indicadores, que incluyen el Índice de Déficit por Desastre, el Índice de Desastres Locales, el Índice de Vulnerabilidad Prevalente y el Índice de Gestión del Riesgo, se desarrollaron con un enfoque integral, pensando en comunicar el riesgo en

el lenguaje de diversos tomadores de decisiones, y reconociendo que cada disciplina y las diferentes instituciones deben visualizar el riesgo de manera diferente pero utilizar un marco conceptual común.

Dichos indicadores se han aplicado a 23 países de las Américas y han servido para impulsar diversos programas de reforma de política pública, lo que da un ejemplo de cómo con indicadores apropiados es posible reflejar el riesgo y la gestión del riesgo con fines de fortalecimiento institucional y efectividad de la gestión.

RECUADRO 5.8 El IGR de Bogotá y sus localidades

En el cuadro 5.8.1 se recopilan los valores del IGR para la ciudad de Bogotá, evaluados en diferentes periodos, después de agregar los resultados de sus cuatro componentes.

Cuadro 5.8.1 Bogotá. Valores de los componentes del IGR, en diferentes periodos

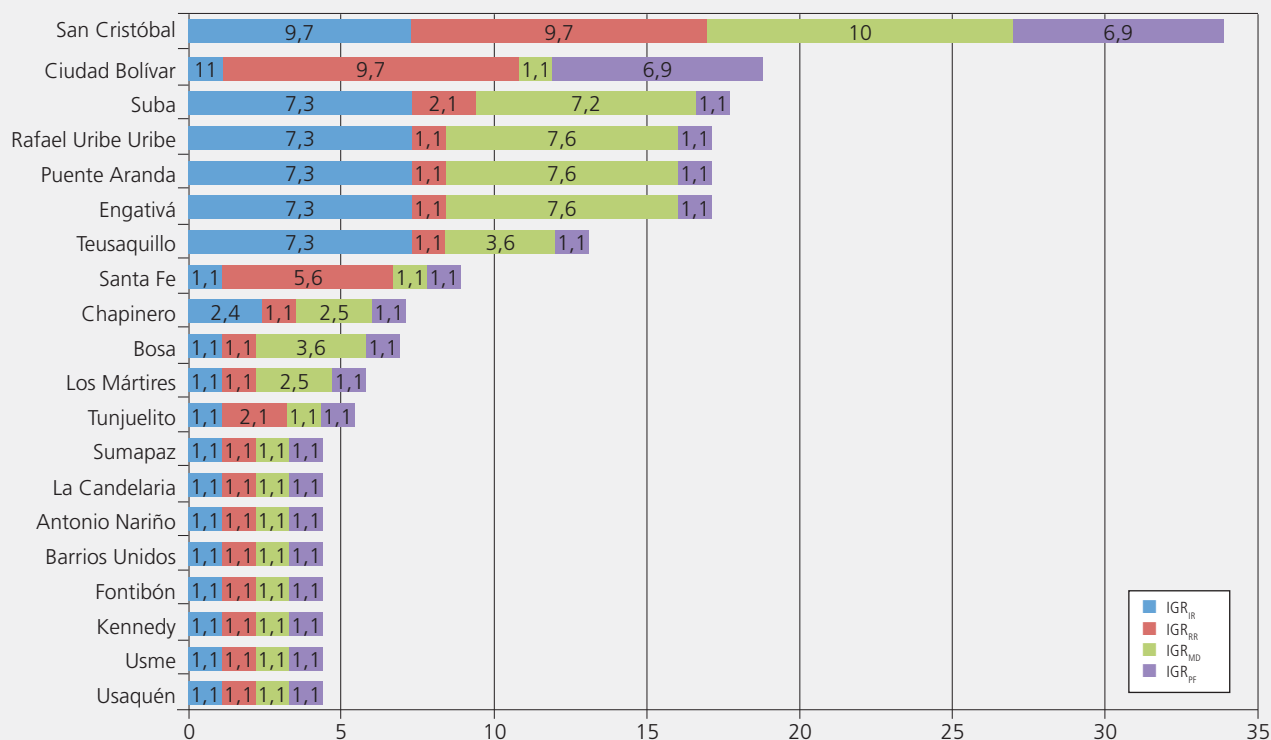
Indicador	1985	1990	1995	2000	2003
IGR _{IR}	4,6	13,9	35,6	56,2	67,1
IGR _{RR}	11,0	13,9	13,9	46,1	56,7
IGR _{MD}	4,6	8,3	8,3	24,0	32,3
IGR _{PF}	4,6	57,5	54,8	57,6	61,4
IGR _{PROM}	6,2	23,4	28,1	46,0	54,4

Fuente: DPAE y Universidad de los Andes, 2005.

Los componentes son la Identificación del Riesgo (IR), la Reducción del Riesgo (RR), el Manejo de Desastres (MD) y la Protección Financiera (PF).

El gráfico 5.8.1 ilustra los valores de este índice, para cada una de las localidades o alcaldías menores de la ciudad.

Gráfico 5.8.1 Bogotá: IGR para las localidades



Fuente: DPAE y Universidad de los Andes, 2005.

Referencias bibliográficas

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). 2010. *Estudio general de amenaza sísmica de Colombia 2010*. Bogotá, Colombia: Comité AIS-300 y Universidad de los Andes.
- Cardona, O. 2005. *Indicadores de riesgo de desastre y de gestión de riesgos: informe resumido (edición en español e inglés)*. Washington D. C.: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Cardona, O. 2006. A System of Indicators for Disaster Risk Management in the Americas. En Birkmann, J. (ed.), *Measuring Vulnerability to Hazards of Natural Origin: Towards Disaster Resilient Societies*. Tokio: United Nations University Press.
- Cardona, O. 2008. Indicators of Disaster Risk and Risk Management Program for Latin America and the Caribbean: Summary Report – Second Edition. [Updated 2007]. Washington D. C.: Inter-American Development Bank, Infrastructure and Environment Sector. [Disponible en: <http://idea.unalmz.edu.co>].
- Carreño, M. L.; Cardona, O. D.; Barbat, A. H. 2004. *Metodología para la evaluación del desempeño de la gestión del riesgo*. Monografía Cimne IS-51. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Carreño, M. L.; Cardona, O. D.; Barbat, A. H. 2007a. Urban Seismic Risk Evaluation: A Holistic Approach. *Journal of Natural Hazards*, 40 (1): 137-172.
- Carreño, M. L.; Cardona, O. D.; Barbat, A. H. 2007b. A Disaster Risk Management Performance Index. *Journal of Natural Hazards*. 41 (1):1-20.
- Carreño, M. L.; Cardona, O. D.; Marulanda M. C.; Barbat, AH. 2009. Holistic urban seismic risk evaluation of megacities: Application and robustness. En: Mendes-Victor, L.; Sousa Oliveira, C.; Azevedo, J.; Ribeiro, A. (eds.), *The 1755 Lisbon Earthquake: Revisited*. Dordrecht: Springer.
- Dirección de Prevención y Atención de Emergencias (DPAE). 1998. *Estudio de zonificación de riesgos por remoción en masa*. Bogotá: DPAE.
- Dirección de Prevención y Atención de Emergencias (DPAE). 2005. *Escenarios de riesgo y pérdida por terremoto para Bogotá D. C.* Bogotá: DPAE y Universidad de los Andes.
- Instituto de Estudios Ambientales (IDEA). 2005. *Indicadores de riesgo de desastre y de gestión de riesgos: Informe Técnico Principal*. Manizales IDEA, Universidad Nacional de Colombia.
- Marulanda, M. C.; Cardona, O. D.; Barbat, A. H. 2009. Robustness of the Holistic Seismic Risk Evaluation in Urban Centers Using the USRi. *Journal of Natural Hazards*, 49 (3): 501-516.

The background of the page is a dark blue aerial photograph of a city grid, with a lighter blue semi-transparent overlay that fades into the background. The text is white and positioned in the lower right quadrant of the image.

Capítulo 6

Relaciones beneficio-costos de las obras de reducción del riesgo

Coautor
Miguel Mora
*Asistente de investigación, Cimne
Universidad Politécnica de Cataluña*



Aspectos conceptuales

En términos prácticos, una de las maneras más efectivas para disminuir el riesgo físico asociado con diferentes componentes de la infraestructura (usualmente construcciones) expuestos a las amenazas naturales consiste en realizar obras de ingeniería para disminuir la intensidad y frecuencia de las amenazas, o realizar trabajos de reconstrucción, rehabilitación y refuerzo estructural para reducir la vulnerabilidad propia de los componentes de infraestructura expuestos (Ghesquiere, Yamin y Mahul, 2006).

Las obras de mitigación o reducción del riesgo se orientan a la disminución del nivel de vulnerabilidad, por ejemplo ante la amenaza sísmica que puede generar daños recurrentes en construcciones, o a disminuir la amenaza, mediante obras que permiten reducir la probabilidad de que eventos como las inundaciones o los deslizamientos generen afectación (por ejemplo, diques para el control de inundaciones en ríos o muros de contención para estabilizar terrenos potencialmente inestables).

Por medio de la construcción de obras de ingeniería es posible, por tanto, generar una reducción efectiva del riesgo. Esto se traduce en una reducción de los daños físicos directos en los bienes y sus contenidos, y en reducción de los efectos indirectos o de pérdida de vidas, cuando se presentan eventos con capacidad destructiva (capítulo 1). La mitigación mediante este tipo de intervenciones disminuye las pérdidas económicas y sociales esperadas.

Por lo anterior es necesario realizar evaluaciones de la relación beneficio-costos para las distintas opciones de intervención (construcción de obras de protección, rehabilitación o refuerzo de estructuras débiles, e incluso diferentes opciones de refuerzo), con el fin de contar con criterios técnicos, económicos y sociales que permitan definir el nivel óptimo de intervención y proponer un esquema de prioridades con respecto a las intervenciones alternativas técnicamente viables, dentro de un esquema de recursos limitados. En esta relación, los beneficios corresponden con los ahorros en las pérdidas económicas esperadas en los futuros eventos al realizar dichas obras preventivas o de mitigación, mientras que los costos corresponden al valor de la inversión económica requerida para la realización de dichas obras.

Para una evaluación balanceada de la relación beneficio-costos, en los costos deben incluirse únicamente las inversiones económicas asociadas con la intervención estructural, ya que es usual que simul-

táneamente se realicen mejoras arquitectónicas o funcionales, elevando de manera significativa el valor de las inversiones; sin embargo, deben tenerse en cuenta en forma independiente los beneficios adicionales obtenidos con esta otra inversión oportuna.

La evaluación de las pérdidas futuras esperadas se basa en la recurrencia de los eventos con diferentes intensidades, como se explicó en los capítulos 1, 2 y 3. Ante las incertidumbres asociadas con la ocurrencia de los eventos en el futuro, se recurre a una simulación de procesos mediante una evaluación probabilista ajustada a la frecuencia de ocurrencia de eventos históricos y posibles (por ejemplo, en el contexto del cambio climático). Para el análisis se hace necesario capitalizar las pérdidas futuras esperadas al valor presente, para efectos de compararlas con la inversión que exige cada una de las intervenciones propuestas.

Por otro lado, en el marco de la evaluación probabilista del riesgo, explicada en los capítulos anteriores, se hace necesario además determinar la distribución de las probabilidades de las relaciones beneficio-costos, ya que en dicho marco las pérdidas económicas se consideran variables aleatorias, por lo cual así será también la relación beneficio-costos correspondiente.

Las estrategias orientadas a la mitigación del riesgo mediante la intervención estructural de construcciones existentes se aplican tanto en el sector público como en el privado –por ejemplo, en edificaciones importantes del sector educativo y en el de salud, y en edificaciones comerciales o industriales–. Sin embargo, en edificaciones de tipo residencial y en buena parte del sector comercial resulta muy difícil encontrar los mecanismos para motivar dichos procesos, y es allí donde las relaciones beneficio-costos pueden llegar a tener un impacto en el futuro.

Este análisis se puede aplicar de manera similar a una situación de diseño en la que se deseen evaluar diferentes opciones para la construcción de algún tipo de infraestructura con diferentes niveles de seguridad. Este enfoque correspondería a un proceso de diseño basado en el riesgo, de manera alternativa a los enfoques tradicionales de diseño, que se basan en la capacidad, la resistencia, la funcionalidad o el desempeño.

Estimación de la relación beneficio-costos (B/C)

Los análisis de riesgo basados en relaciones beneficio-costos (B/C) tienen dos grandes ventajas:

- a. Ofrecen información directa que permite justificar o no las diferentes opciones de mitigación del riesgo o de reducción de amenazas, debido a que en cada caso puede evaluarse el impacto socioeconómico de cada una de las alternativas.
- b. Representan un criterio técnico racional, con el fin de establecer una priorización para la intervención de diferentes componentes o para definir las obras de intervención que se deben realizar y, a la vez, maximizar la relación beneficio-costos. Esto conduce a una programación apropiada de las inversiones futuras en mitigación del riesgo y a una priorización de la aplicación de las inversiones bajo condiciones presupuestales limitadas.

Para efectos de lograr una reducción significativa del riesgo se plantea la realización de diferentes tipos de obras de intervención que permitan o bien reducir la intensidad o frecuencia de las amenazas o bien reducir la vulnerabilidad misma de las construcciones. Las diferentes opciones de intervención incluyen una rehabilitación o reparación menor, un refuerzo estructural integral o hasta una eventual reconstrucción parcial o total.

La rehabilitación estructural hace referencia a las obras que se llevan a cabo con el fin de restituir las capacidades estructurales originales de una construcción afectada por procesos de deterioro normal o ambiental, o por daños ocurridos en eventos previos. El refuerzo se refiere a las obras complementarias que se llevan a cabo (pueden considerarse varias opciones) con el fin de aumentar la capacidad estructural de la construcción; por ejemplo, cuando se desea llevar la estructura hasta un nivel de seguridad dado por una normativa de diseño de mayor exigencia que la utilizada en el diseño original.

La reconstrucción corresponde por lo general al reemplazo de una construcción determinada por otra integralmente nueva y es la opción de mayor costo, pero también la que implica menores costos de mantenimiento, mayor vida útil y posibles beneficios adicionales tales como mayor área, eficiencia y funcionalidad, aspectos que también deben tenerse en cuenta en la evaluación.

Para la estimación de la relación beneficio-costos de las diferentes opciones de obras de mitigación se deben estimar, por una parte, los beneficios asociados a la realización de dichas obras y, por otra, el valor de la inversión o los costos correspondientes. La cuantificación de los beneficios relacionados con cada una de las opciones de intervención propues-

tas implica la realización de dos análisis diferentes. Uno, de las condiciones originales de amenaza y vulnerabilidad, y otro, de las condiciones modificadas de amenaza, de vulnerabilidad o de ambas. Los beneficios en pérdidas esperadas estarán dados por la diferencia de estas pérdidas entre estos dos casos de análisis, capitalizando las pérdidas respectivas al valor presente neto.

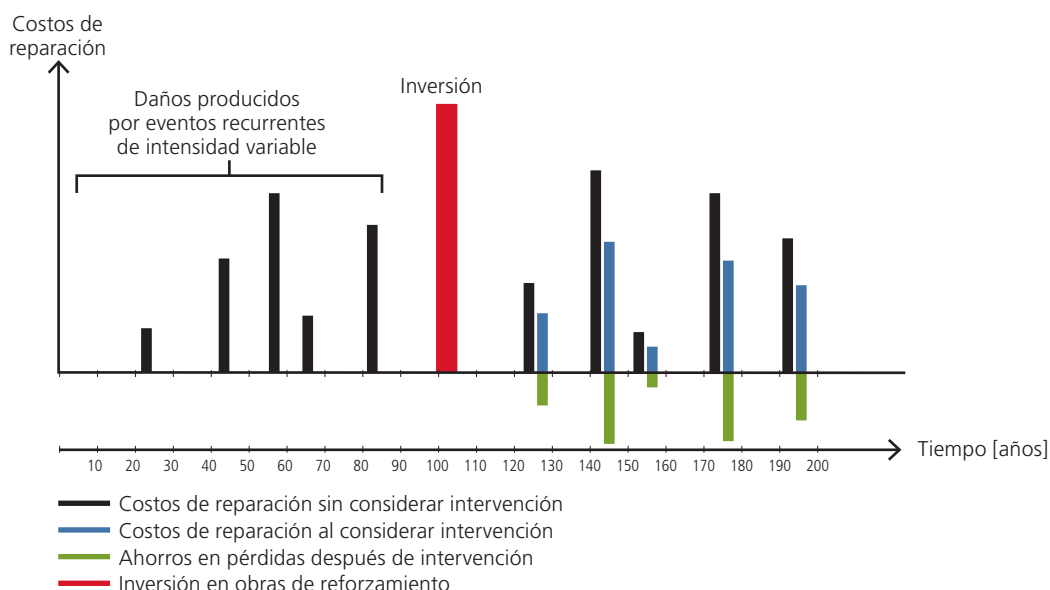
En cada uno de estos análisis se deben considerar, por un lado, los valores expuestos respectivos (que para el caso intervenido probablemente serán mayores debido a la valorización de las construcciones como resultado de las inversiones realizadas) y los efectos de dichas obras tanto en la amenaza como en la vulnerabilidad. Estos aspectos requieren de criterio y experiencia por parte de los ingenieros involucrados para lograr resultados relevantes y ajustados a la realidad. Por otro lado, es necesario contar con una valoración confiable del costo asociado a la construcción y puesta en marcha de la opción de intervención propuesta. La metodología de análisis permite la consideración de las pérdidas en la infraestructura, las pérdidas sociales y las pérdidas económicas directas e indirectas relacionadas, aunque no todas ellas en una única variable de medida.

El gráfico 6.1 presenta el esquema de un análisis típico de la relación beneficio-costos, en el cual, para una comparación adecuada, es necesario capitalizar los costos y beneficios futuros generados con la implantación de una medida estructural y cotejarlos así con la inversión inicial requerida. La relación beneficio-costos Q se define como la relación entre el ahorro en las pérdidas por la ejecución de programas de intervención estructural y el costo inicial de la intervención proyectada. De esta manera, la relación beneficio-costos se plantea así:

$$Q = \frac{L_U - L_R}{R}$$

donde L_U es el valor presente de las pérdidas futuras en el estado no intervenido y L_R corresponde al valor presente de las pérdidas futuras en el estado intervenido, las cuales corresponden a variables aleatorias con una distribución de probabilidad conocida y que, por tanto, pueden ser calculadas. R , por su parte, equivale al costo o valor de ejecución del programa de intervención. Los detalles de los cálculos de las relaciones beneficio-costos y de los valores presentes de las pérdidas, al igual que la tasa de descuento y demás parámetros, se pueden encontrar en Mora (2008), Mora y Válcarcel (2011a) y Mora et ál. (2011b).

Gráfico 6.1 Análisis del valor presente neto de costos, beneficios e inversión inicial de las medidas estructurales de mitigación



Fuente: elaboración propia.

Para un análisis integral de los beneficios posibles que se obtienen con una intervención estructural, deben considerarse las siguientes pérdidas esperadas (ver como referencia el marco conceptual discutido en el capítulo 1) y su distribución y proyección en el tiempo:

a. Directas: daños en estructura, acabados, contenidos, pérdida de vidas; es decir, pérdidas de activos físicos, de capital fijo y afectación humana que se pueden expresar mediante unidades económicas, número de unidades, volúmenes, longitudes, unidades, pesos, etcétera (por ejemplo, kilómetros de carreteras, toneladas de arroz, metros de tubería o de cable, millones de pesos, metros cuadrados de construcción, número de muertos, número de heridos).

b. Indirectas: representan el impacto del daño físico sobre los flujos del capital, como por ejemplo el lucro cesante (pérdidas de beneficios, utilidades o ganancias no percibidas), la interrupción del funcionamiento de los servicios básicos, el comercio y los servicios sociales; efectos ambientales, pérdida de oportunidades para el desarrollo, sobrecostos de producción, operación o funcionamiento y afectaciones sociales indirectas (por ejemplo, pérdidas por la no venta de electricidad o agua, ausencia de compradores de bienes, longitud adicional del recorrido o deterioro acelerado del equipo de transporte

por causa del colapso de un puente o el deterioro de una ruta, incumplimiento del pago de alquileres o préstamos, aumento del nivel de pobreza, activación de enfermedades, etcétera).

También deben considerarse otras pérdidas asociadas al impacto macroeconómico, que pueden generar una desestabilización fiscal u ocasionar un deterioro de la imagen crediticia o financiera, o impactar el régimen de confianza, la balanza comercial o las perspectivas de desarrollo económico en el mediano o largo plazos, o incluso la reducción de los activos circulantes, entre otros efectos.

De acuerdo con lo anterior debe resaltarse que no todas las pérdidas o impactos pueden medirse en términos económicos. Por ejemplo, la pérdida de vidas humanas o los impactos sociales, como aquellos asociados a una posible interrupción de los servicios de un hospital, no son fáciles de cuantificar en términos económicos. Lo mismo ocurre con los impactos ambientales o intangibles. Estos impactos no son en general aditivos a los demás en términos económicos. Sin embargo, se han propuesto metodologías analíticas para intentar una cuantificación económica de estos impactos (Cepal, 2003; Blomquist, 1981: 157-164; Hammer, 2011), aunque todas ellas muy controvertidas.

Definición de las prioridades para las obras de rehabilitación, refuerzo o reconstrucción, por sectores y componentes

Las grandes ciudades cuentan, por lo general, con recursos provenientes de sus presupuestos anuales, o de créditos con la banca multilateral, para efectos de invertir en programas de reducción del riesgo (DNP y Universidad de los Andes, 2005). La ejecución de dichas inversiones obliga a la definición del monto de recursos a invertir en cada sector y a establecer unas prioridades de inversión de acuerdo con los componentes más vulnerables en cada uno. Por ejemplo, para el caso de mitigación del riesgo sísmico, se debe definir cuál sector y cuáles de las edificaciones de dicho sector requieren intervención prioritaria. Para el caso de obras de control de inundaciones igualmente es necesario definir en cuál sector y qué tipo de obras resultan de mayor efectividad en la reducción del riesgo. Todo esto para optimizar la inversión de recursos. La decisión no siempre es sencilla debido a que se deben considerar diferentes aspectos como:

- a. Pueden presentarse diferentes fuentes de amenaza y además las intensidades de dichas amenazas cambian para cada una de las edificaciones de los distintos sectores.
- b. La vulnerabilidad también es cambiante. Pueden existir edificaciones en muy mal estado, con una vulnerabilidad elevada, y edificaciones recientemente construidas, con vulnerabilidad relativamente baja.
- c. Los valores expuestos pueden ser muy diferentes para cada una de las edificaciones.
- d. Los efectos posibles de las amenazas naturales pueden ser distintos para cada una de las edificaciones. De manera adicional, los efectos indirectos, los posibles efectos sobre los ocupantes y las consecuencias y costos de la pérdida de funcionalidad son también variables.
- e. Existen varias posibilidades de intervención. Por ejemplo, obras de control de inundaciones o deslizamientos, un refuerzo simple de los elementos

estructurales relevantes (es decir, una intervención de bajo costo) o, en el otro extremo, una intervención integral que incluya los elementos no estructurales, las instalaciones y los demás aspectos (probablemente más costosa, pero también mucho más confiable).

Esta problemática se puede resolver, en parte, mediante la estimación de las relaciones beneficio-costo, no solo para las edificaciones individuales, sino también para varios sectores o tipos de amenazas, con el fin de definir las asignaciones presupuestales diferenciales, o para diversas obras de intervención en el ámbito regional. Esto con miras a definir las prioridades en términos de los planes futuros de intervención.

Los recuadros 6.1, 6.2 y 6.3 plantean ejemplos de aplicación de las relaciones beneficio-costo para varios sectores en Bogotá en el caso de la mitigación del riesgo sísmico, lo que permite contar con criterios para definir estrategias y prioridades en estos procesos. Estos análisis se realizan con las siguientes consideraciones (DNP y Universidad de los Andes, 2005):

- ▶ Las obras de mitigación son únicamente de refuerzo en las construcciones reportadas en las bases de datos de cada sector de la administración pública.
- ▶ En cada caso de análisis se estiman pérdidas directas y en los contenidos de las edificaciones, con base en las funciones de vulnerabilidad del estado actual de las construcciones. También se consideran pérdidas por interrupción del funcionamiento y se estiman tanto los tiempos requeridos para la reconstrucción o las reparaciones después de la ocurrencia de los diferentes eventos, como los costos unitarios asociados al uso de las diferentes construcciones.
- ▶ Para cada una de las construcciones, se considera una situación reforzada en la cual se estiman los costos de refuerzo con base en estadísticas de casos reales, y se estima una función de vulnerabilidad correspondiente a la situación reforzada siguiendo los lineamientos de la norma sismorresistente colombiana (AIS, 2010).

RECUADRO 6.1 Bogotá: prioridades de inversiones para la mitigación en los sectores de educación, salud y administración

De todo el conjunto de construcciones del sector público de la ciudad de Bogotá, las que forman parte de los sectores educación, salud y administración integran un plan del distrito para intervenir su vulnerabilidad, con el fin de reducir el riesgo sísmico. Para esto se realizó un estudio de evaluación del riesgo que permitió contar con un diagnóstico general del sector, evaluar las diferentes relaciones beneficio-costo de las obras de mitigación y establecer una priorización en las intervenciones a realizar, teniendo en cuenta las limitaciones presupuestales para realizar dichas intervenciones.

El cuadro 6.1.1 recoge un resumen con la información disponible de los tres grupos de edificaciones. Se especifica su número por sector, los valores de reposición y el porcentaje de participación de cada uno en el portafolio total de las edificaciones esenciales en las áreas de educación, salud y administración de Bogotá (Mora, 2008). El análisis incluye valores estimados para las pérdidas económicas directas, en los contenidos y por interrupción del funcionamiento.

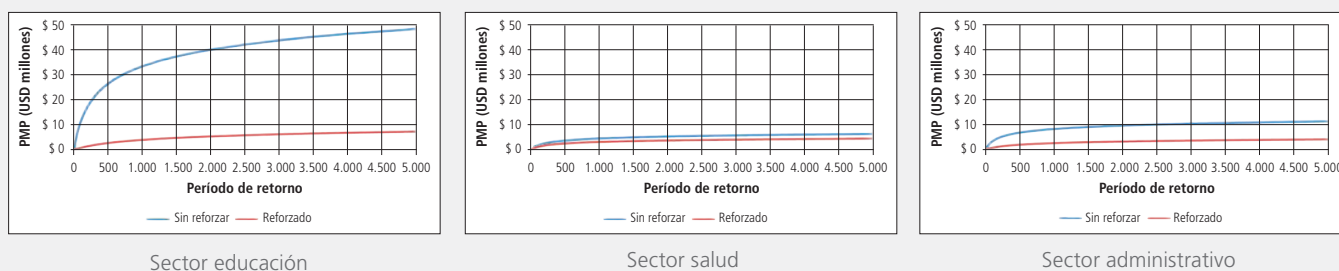
Cuadro 6.1.1 Resumen de la información disponible acerca de las edificaciones en tres sectores: educación, salud y administración central (valores a 2008 en dólares)

Sector	No. edificaciones (unidades)	% Participación	Valor de reposición (miles de dólares)		
			Edificios	Contenidos	Funcionamiento
Educación	691	83,9	146 902	103 212	293 804
Salud	39	4,7	17 676	7 857	35 351
Administración	94	11,4	31 352	18 137	62 704
Total	824	100,0	195 930	129 216	391 859

Fuente: DNP y Universidad de los Andes, 2005.

El gráfico 6.1.1 ilustra las curvas de pérdida máxima probable (PMP) para los tres sectores y dos condiciones de análisis: sin reforzar (situación original) y reforzado.

Gráfico 6.1.1 Pérdida máxima probable por sector incluyendo pérdidas en edificios, en contenidos y en funcionamiento



continúa

RECUADRO 6.1 Bogotá: prioridades de inversiones para la mitigación en los sectores de educación, salud y administración (continuación)

Los resultados anteriores permiten realizar un análisis de relaciones beneficio-costos en términos probabilistas. El cuadro 6.1.2 expone los valores esperados de la relación beneficio-costos, $E(Q)$, para los tres sectores y para dos estados de análisis. Asimismo se calcula la probabilidad de que la relación beneficio-costos sea mayor que 1 ($Pr(Q>1)$), o sea, que efectivamente el beneficio sea mayor que la inversión. El sector óptimo para realizar intervenciones será aquel que presente los mayores valores esperados de la relación beneficio-costos, Q , y simultáneamente la mayor probabilidad de que $Q>1$.

Cuadro 6.1.2 Bogotá: resultados de análisis beneficio-costos para tres sectores

Sector	Parámetro	Edificio	Edificios y contenidos	Edificios, contenidos e interrupción de actividad
Educación	$E(Q)$	0,92	1,59	3,15
	$Pr(Q>1)$	43%	70%	87%
Salud	$E(Q)$	0,38	0,67	2,79
	$Pr(Q>1)$	45%	74%	98%
Administración	$E(Q)$	0,42	0,70	1,45
	$Pr(Q>1)$	7%	35%	78%

Fuente: DNP y Universidad de los Andes, 2005.

El gráfico 6.1.2 expone la distribución de probabilidad acumulada de la relación beneficio-costos para los edificios, los edificios más sus contenidos y los edificios más sus contenidos y funcionamiento para el sector administrativo. Además, el gráfico 6.1.3 destaca la comparación entre los tres sectores con respecto a las pérdidas en los edificios, sus contenidos y su funcionamiento.

Gráfico 6.1.2 Distribución de la probabilidad acumulada de la relación B/C, discriminada por componentes para el sector administrativo

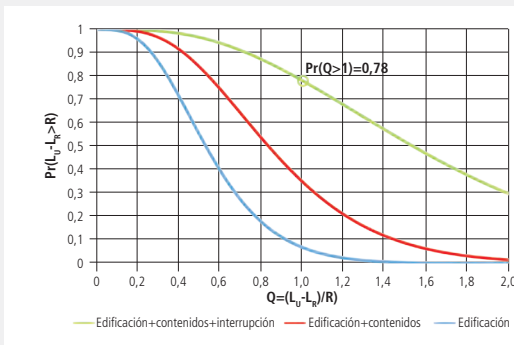
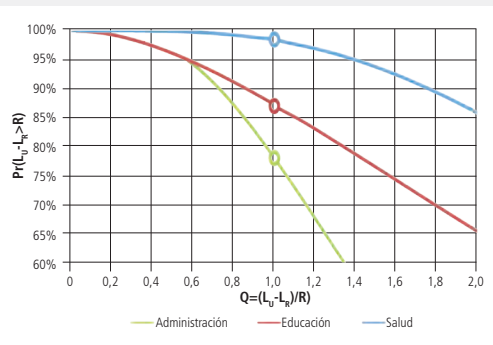


Gráfico 6.1.3 Distribución de la probabilidad acumulada de la relación B/C, discriminada por sectores



De los anteriores análisis se concluye que el sector de educación es el que presenta los mayores valores esperados de las relaciones beneficio-costos, con una muy alta probabilidad de que dicha relación sea superior a 1, por lo cual es un sector prioritario para efectos de inversiones en mitigación del riesgo sísmico.

Fuente: DPAE y Universidad de los Andes, 2005.

RECUADRO 6.2 Bogotá: relaciones beneficio-costos para mitigación del riesgo sísmico en las edificaciones del sector público

Para estudiar la factibilidad económica de las posibles opciones para el refuerzo de los edificios públicos de la ciudad se realizó un análisis de beneficio-costos. En el cuadro 6.2.1 se detalla la información relacionada con cada uno de los sectores analizados y los resultados de la relación beneficio-costos en valor esperado.

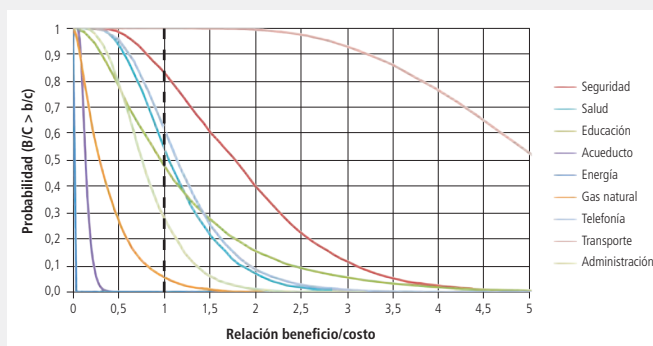
Cuadro 6.2.1 Bogotá: información general y resultados del análisis probabilista de la relación beneficio-costos para edificios públicos, por sector

Sector	No. de edificios	Valor edificio (x millones USD)	Valor refuerzo (x millones USD)	E(Q)
Seguridad	36	60	10,8	2,47
Salud	63	124	14,3	2,24
Educación	14	3	0,2	2,15
Acueducto	77	48	37,9	0,33
Energía	55	44	0,6	0
Gas natural	2	6	1,2	0,38
Telefonía	64	773	4,6	1,22
Transporte	35	4	0,4	5,37
Administración	61	86	12,1	0,85
Total	392	1 148	82,1	15,01

Fuente: DNP y Universidad de los Andes, 2005.

El gráfico 6.2.1 detalla los resultados del análisis probabilista de la relación beneficio-costos, basado en las simulaciones llevadas a cabo para los diferentes portafolios de las propiedades y activos públicos de la ciudad.

Gráfico 6.2.1 Bogotá. Relación probabilista de la relación beneficio-costos para los edificios públicos



Este tipo de análisis probabilista permite una comparación de los beneficios de un plan de reducción del riesgo sísmico orientado al refuerzo preventivo de los edificios, que es la base para planificar la estrategia óptima. Los resultados indican que los sectores en que se tendrían los mayores valores esperados de Q, o sea, los mejores retornos esperados de la inversión, serían transporte, seguridad, salud y educación.

Para otros sectores, como energía, acueducto y gas, los valores esperados de la relación beneficio-costos son inferiores a 1, lo que significa una baja probabilidad de "recuperar la inversión". Esto no necesariamente ocurre porque los sistemas sean de alta vulnerabilidad e impliquen altas inversiones, sino también cuando los sistemas tienen un buen nivel de sismorresistencia y para reducir las pérdidas esperadas sería necesario realizar inversiones adicionales muy grandes.

Fuente: DNP y Universidad de los Andes, 2005.

RECUADRO 6.3 Bogotá: proyecto integrado de rehabilitación de edificios y gestión del riesgo en las escuelas públicas

Un estudio de la Secretaría de Educación de Bogotá, en 2002, determinó las condiciones estructurales de los 710 colegios públicos de la ciudad. La mayoría de estos inmuebles fueron construidos en la década de 1960; 434 presentaron vulnerabilidad sísmica significativa, 3 se encuentran en áreas inundables y 20 podrían ser afectados por deslizamientos.

Debido a las inversiones elevadas requeridas para lograr una reducción efectiva de la vulnerabilidad para los 434 colegios en cuestión, 201 fueron declarados como prioridad. Para ellos se creó el "Proyecto integrado de rehabilitación de edificios y gestión de riesgos en escuelas públicas", que se fue formulando e incorporando al plan de desarrollo de la ciudad 2004-2008 (SED, 2004).

Desde el punto de vista financiero, la inversión asignada al refuerzo, adecuación estructural y mejora de los colegios fue de 162,7 millones de dólares y la población total de beneficiarios fue de más de 300.000 estudiantes. Esta cifra no incluye los cincuenta "megacolegios" nuevos que se construyeron, los cuales se diseñaron en cumplimiento de los requisitos de sismorresistencia y de funcionalidad óptima. El monto total de estos dos proyectos fue cercano a los 464,2 millones de dólares americanos.

Según el inventario de Bogotá en 2003, había un total de 1.430.000 m² de infraestructura escolar. De estos, 680.000 m² se han reforzado. No obstante, en muchos casos los edificios debieron ser reemplazados, razón por la cual se implementó el proyecto de megacolegios. Los resultados del programa, desde el punto de vista de la ingeniería, son: 172 colegios reforzados estructuralmente, 326 colegios con mejoramiento no estructural y 54 colegios ampliados (Coca, 2007; Coca, Cardona y Wilches-Chaux, 2007). Este es un ejemplo importante de un plan integral de reducción del riesgo sísmico en un sector público de la ciudad.

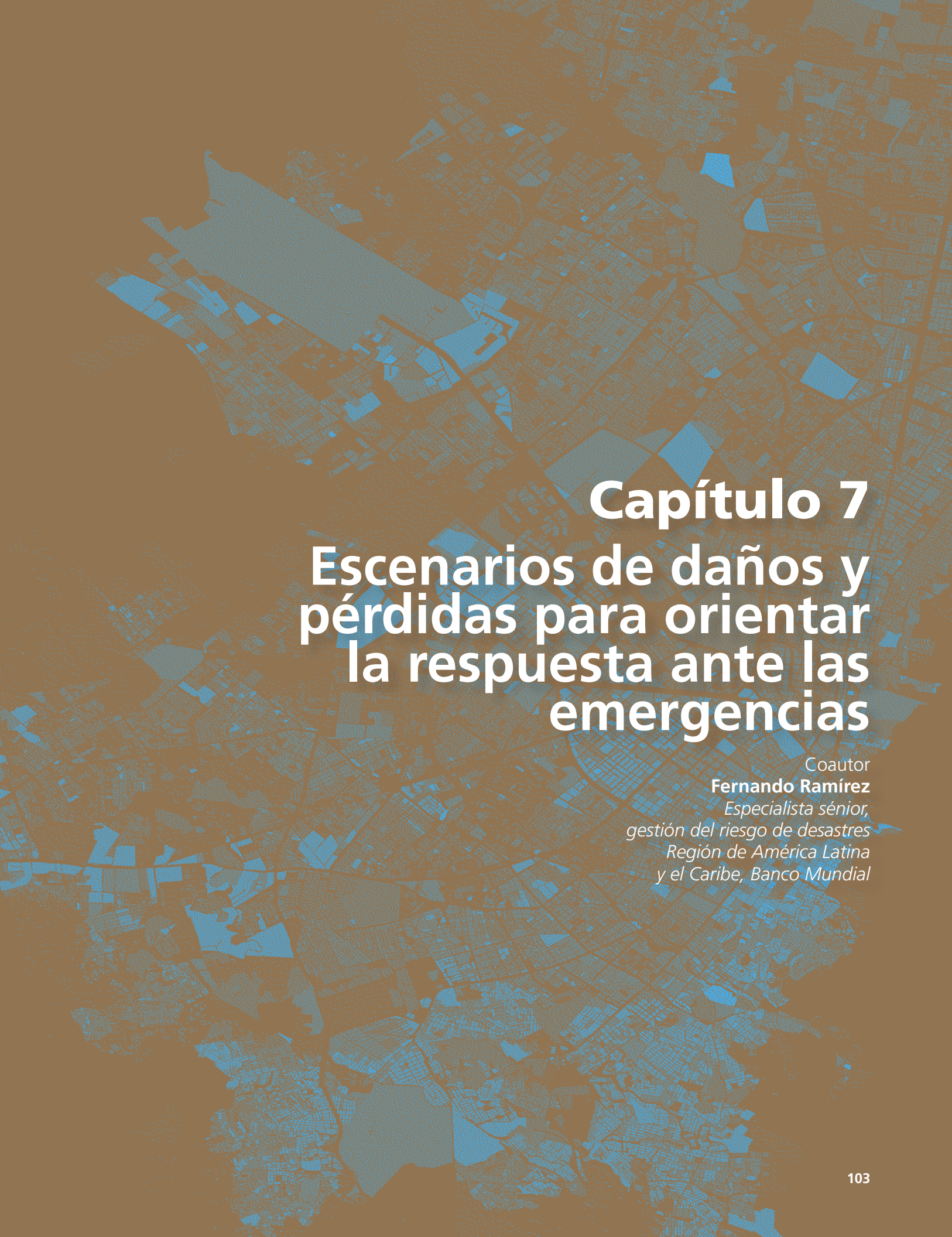
En las fotos 6.3.1 se observa el Colegio República de China, antes y durante la adaptación estructural y el mejoramiento arquitectónico.



Fuente: Coca, 2007.

Referencias bibliográficas

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). 2010. *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente*, NSR-10. Bogotá: Comité AIS-300 y Universidad de los Andes.
- Blomquist, G. 1981. The Value of Human Life: An Empirical Perspective. *Economic Inquiry*, 19 (1): 157-164.
- Coca, C. 2007. *Evaluación diagnóstica de la gestión del riesgo del sector educativo en el marco de la sostenibilidad urbana de Bogotá*. Tesis de maestría en Medio Ambiente y Desarrollo. Bogotá: Instituto de Estudios Ambientales (IDEA), Universidad Nacional de Colombia.
- Coca, C.; Cardona, O. D.; Wilches-Chaux, G. 2007. Disaster Risk Education and School Safety in Bogota – Seismic Retrofitting and Rehabilitation in Bogota – Safe Schools and Safe Territory in Bogota. *Regional Development Dialogue*, 29 (2): 113-130.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal). 2003. *Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los desastres*. Tomo IV. México: Cepal.
- Ghesquiere, F.; Yamin, L.; Mahul, O. 2006. *Earthquake Vulnerability Reduction Program in Colombia. A Probabilistic Cost-Benefit Analysis*. Washington D. C.: Banco Mundial.
- Hammer, B. 2011. Value the Invaluable? Valuation of Human Life in Cost-Efficiency Assessments of Regulatory Interventions. En: Mathis, K. (ed.). *Efficiency, Sustainability, and Justice to Future Generations*. Dordrecht: Springer.
- Mora, M. 2008. *Optimización del diseño y rehabilitación estructural por riesgo sísmico con base en relaciones beneficio-costo*. Tesis de grado. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Mora, M. G.; Valcárcel, J. A. 2011a. *Análisis beneficio-costo en las escuelas de la región andina de América del Sur y América Central*. V Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Medellín.
- Mora, M. G.; Ordaz, M. G.; Yamin, L. E.; Cardona, O. D. 2011b. *Relaciones beneficio costo probabilistas de rehabilitación sísmica*. IV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Granada.
- Secretaría de Educación Distrital (SED). 2004. *Proyecto integrado de rehabilitación de edificios y gestión de riesgos en escuelas públicas*. Bogotá: Secretaría de Educación Distrital.
- Universidad de los Andes. 2005. *Estrategia de transferencia, retención y mitigación del riesgo sísmico en edificaciones indispensables y de atención a la comunidad del Distrito Capital de Bogotá*. Consultoría. Bogotá: DNP, ACCI, Banco Mundial, Universidad de los Andes.

The background of the page is a high-resolution aerial photograph of a city, showing a dense grid of streets and buildings. A semi-transparent blue layer is overlaid on the image, creating a textured, halftone-like effect. The text is printed in white, which stands out against the darker blue and brown tones of the city map.

Capítulo 7

Escenarios de daños y pérdidas para orientar la respuesta ante las emergencias

Coautor
Fernando Ramírez
*Especialista sénior,
gestión del riesgo de desastres
Región de América Latina
y el Caribe, Banco Mundial*



Aspectos conceptuales

Una respuesta rápida, eficiente y efectiva ante la ocurrencia de un evento catastrófico tendrá una gran incidencia en la disminución del impacto social del evento en temas como el número de rescates, la pronta atención de heridos, la pronta recuperación de las comunicaciones y de los servicios, y en general en el impacto del evento sobre la población y la funcionalidad.

En este orden de ideas, el conocimiento del impacto potencial de eventos preidentificados se convierte en información muy útil para que las autoridades estén mejor preparadas ante su posible ocurrencia, por medio del desarrollo de planes de emergencia y contingencia y otras líneas de acción en preparativos para la respuesta a emergencias.

No obstante, existen limitaciones para el pronóstico de eventos amenazantes futuros. El análisis de escenarios, en el contexto de la modelación probabilista de riesgo, constituye una muy buena opción metodológica para definir, diseñar e implementar políticas de fortalecimiento de la capacidad de respuesta a desastres. En la medida en que estos escenarios proveen información sobre el tipo, intensidad y distribución espacial de los posibles daños asociados a un evento seleccionado, existen mejores condiciones para entender y definir el nivel de capacidad requerido para su manejo. Un punto crucial es entonces el de los criterios para la selección de dichos escenarios.

Un conjunto amplio de aplicaciones en la planificación de la respuesta a emergencias puede ser identificado incluyendo: el análisis del impacto potencial sobre la población, la determinación de requerimientos para las agencias de respuesta, los lineamientos para la operación y capacitación de grupos de búsqueda y rescate, el diseño e implementación de sistemas de alerta temprana, el desarrollo de simulacros, el análisis de sitios críticos para movilidad de equipos de emergencia, las estrategias de comunicación pública, etcétera.

Finalmente, es posible, a partir del análisis de escenarios, avanzar también en la identificación y diseño de políticas de fortalecimiento de la capacidad de recuperación y reconstrucción posdesastre. A continuación se describen algunas aplicaciones realizadas para Bogotá por la administración de la ciudad en el marco de la estrategia de fortalecimiento de la capacidad de respuesta ante un sismo, que se implementó durante el periodo 2004-2008 en la ciudad.

Evaluación del riesgo por escenarios

Para una efectiva planificación de la respuesta ante las emergencias resulta de la mayor relevancia conocer la naturaleza y magnitud de los eventos probables que las podrían generar. Tener una aproximación sobre el tipo, intensidad y distribución espacial de los posibles daños ayuda a dimensionar las tareas de respuesta y recuperación posdesastre.

En consecuencia, tal información brinda mejores condiciones para definir y diseñar políticas específicas para responder ante las emergencias. Alcanzar un adecuado balance entre los recursos disponibles (técnicos, logísticos, humanos y financieros) y el nivel de capacidad de respuesta necesario es un reto para los gobiernos. Ello es en especial complejo en grandes ciudades por su condición de riesgo, debido a las múltiples amenazas, la alta densidad de elementos expuestos y el impacto de las emergencias en el funcionamiento de la ciudad.

Al considerar la incertidumbre asociada al pronóstico de eventos catastróficos futuros, el análisis del riesgo por escenarios es una herramienta útil, en la medida en que permite trabajar alrededor de hipótesis probables técnicamente factibles.

Por lo general, se busca seleccionar un conjunto de escenarios (para uno o varios tipos de amenazas) que sirvan de marco de referencia para la cuantificación e implementación de los preparativos para emergencias. Así por ejemplo, la estimación del posible impacto sobre la población permite orientar la planificación de las acciones de búsqueda y rescate, el alojamiento temporal, los servicios de salud y protección infantil requeridos, etcétera.

El análisis de los tipos de daño predominantes desde una perspectiva de ingeniería permite, por ejemplo, mejorar los procedimientos para la evaluación del daño posdesastre y contar con una logística y una capacidad de reacción adecuadas después de la ocurrencia del evento, para restablecer el funcionamiento de componentes importantes en el menor tiempo posible.

Dado que el análisis probabilista permite obtener un conjunto amplio de escenarios con diferentes intensidades y probabilidades de ocurrencia, la selección de uno o varios de ellos se convierte en un aspecto que merece la mayor atención y que requiere criterio y experiencia.

Por lo general, se busca establecer un escenario de referencia que fije metas razonablemente alcanzables a partir de la capacidad disponible y que ade-

más induzca al mejoramiento o avance de las diferentes acciones de preparativos a emergencias. En otras palabras, la selección errónea de un escenario, por defecto (muy baja intensidad) o por exceso (muy alta intensidad), podría llevar a decisiones no deseables e inconvenientes.

En el primer caso, por la falsa percepción de que la capacidad de respuesta actual es suficiente; en el segundo, porque el esfuerzo desbordaría la capacidad de respuesta, lo cual puede llevar a la decisión de no tomar ninguna acción específica. Vista así, la selección de un determinado escenario de daño para fines de preparativos para emergencias involucra, además de los análisis del riesgo, consideraciones financieras.

El caso de Bogotá ilustra muy bien este aspecto: de la selección inicial de cinco escenarios críticos, solo uno, el de más bajo impacto, se utilizó para efectos del desarrollo del Plan de Emergencia para la ciudad. Sin embargo, dadas las condiciones y capacidades institucionales en el momento de realizar el plan, prepararse para una emergencia de esas características suponía un reto muy importante para los siguientes cuatro años en términos de organización, entrenamiento, dotación, comunicación y logística. Nótese que de esta manera los escenarios de daños son una herramienta útil para planificar e inducir

programas de largo plazo con claras ventajas técnicas de implementación, seguimiento y control.

En otros casos, el análisis de escenarios se utiliza para llevar a cabo análisis de sensibilidad ante la variación en los valores de algunas variables (por ejemplo, número de muertos y heridos) para diferentes combinaciones o hipótesis de ocurrencia (por ejemplo, día-noche). En este caso, la selección de los escenarios se establece en función de la variable que interese analizar. Este tipo de análisis se utiliza en el diseño de planes de emergencia y contingencia sectoriales; por ejemplo, cuando una empresa de servicios públicos requiere generar un conjunto de escenarios a partir de diferentes hipótesis de operación de la red, con miras a contar con un sistema de reacción oportuno y eficiente, que cubra diferentes opciones de eventos con capacidad destructiva.

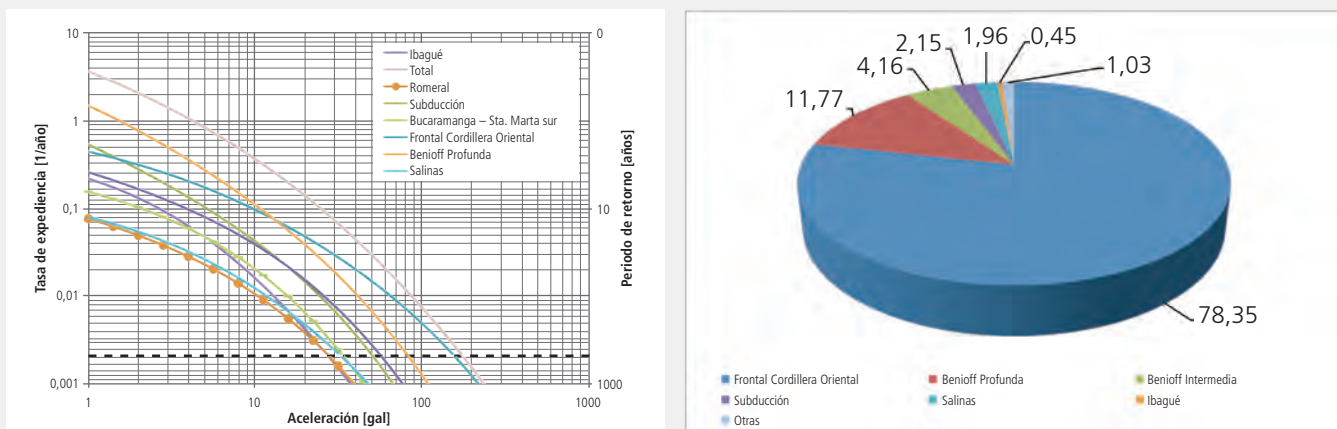
El recuadro 7.1 presenta las bases para definir los escenarios sísmicos empleados en la evaluación de los daños en Bogotá; el recuadro 7.2 recopila algunos resultados ilustrativos, en términos de pérdidas económicas (o daño relativo), para los diferentes escenarios del análisis de edificaciones y, finalmente, el recuadro 7.3 recoge algunos resultados del análisis del riesgo, para algunos componentes de la infraestructura de la ciudad.

RECUADRO 7.1 Bogotá: escenarios sísmicos para evaluación de los daños

La definición de los escenarios sísmicos para evaluar las situaciones de daños posibles en Bogotá se realizó con base en la información disponible en la ciudad en cuanto al análisis de la amenaza sísmica y la microzonificación, tal y como se describió en los capítulos 2 y 3.

Para el caso de Bogotá, se seleccionaron las fuentes sismogénicas de mayor influencia en la amenaza sísmica. El gráfico 7.1.1 condensa el resultado del análisis de la amenaza sísmica en basamento rocoso, para un punto representativo de la ciudad y para un periodo de retorno de 475 años.

Gráfico 7.1.1 Bogotá. Tasa de excedencia de la aceleración sísmica en roca e influencia relativa de las fuentes sismogénicas en la determinación de la amenaza para $T_{ret} = 475$ años



Fuente: DPAE y Universidad de los Andes, 2005.

continúa

RECUADRO 7.1 Bogotá: escenarios sísmicos para evaluación de los daños (continuación)

Con base en la información del modelo de amenaza sísmica para la ciudad se seleccionaron los escenarios sísmicos críticos que se presentan en el cuadro 7.1.1 para realizar los análisis de daños y pérdidas para Bogotá.

Cuadro 7.1.1 Bogotá: escenarios de análisis seleccionados

Escenario	Fuente sísmica	Magnitud (Ms)	Periodo de retorno asignado (años)	Aceleración máxima del terreno (cm/s ²)	Profundidad del foco (km)	Distancia epicentral promedio (km)
1	Frontal Cordillera Oriental	6,8	250	109	23	39,5
2	Frontal Cordillera Oriental	7,4	500	170	23	39,5
3	Frontal Cordillera Oriental	7,7	1 000	200	23	39,5
4	La Cajita	5,8	500	79	15	27,4
5	Benioff Intermedia	7,5	500	36	107	170,5

Fuente: DPAE y Universidad de los Andes, 2005.

RECUADRO 7.2 Bogotá: escenarios de daños causados por terremotos

El análisis del riesgo utilizando la amenaza sísmica correspondiente a un escenario específico, en conjunto con la base de datos de la exposición de las edificaciones de la ciudad y las funciones de vulnerabilidad correspondientes, permite obtener la pérdida económica directa esperada para dicho escenario. Las pérdidas se reportan para cada una de las construcciones y para todo el conjunto. La metodología de evaluación de daños corresponde a la explicada en los capítulos 1 a 3.

El cuadro 7.2.1 valora la pérdida económica esperada, en porcentaje con respecto al valor total expuesto, y el valor de la pérdida económica esperada (en dólares de 2006) para cada uno de los escenarios sísmicos. La pérdida económica esperada, expresada como porcentaje del valor total expuesto de cada construcción, se puede considerar como un indicador del daño relativo (individual o para el grupo de construcciones analizadas).

Cuadro 7.2.1 Escenarios sísmicos del análisis y pérdidas esperadas correspondientes

Escenario	Fuente sísmica	Magnitud (Ms)	Periodo de retorno asignado (años)	Daño esperado (%)	Pérdida esperada (millones de US\$)
1	Frontal Cordillera Oriental	6,8	250	8,3	1 695
2	Frontal Cordillera Oriental	7,4	500	15,5	3 178
3	Frontal Cordillera Oriental	7,7	1 000	18,3	3 752
4	La Cajita	5,8	> 1 000	11,8	2 422
5	Benioff Intermedia	7,5	500	7,7	1 603

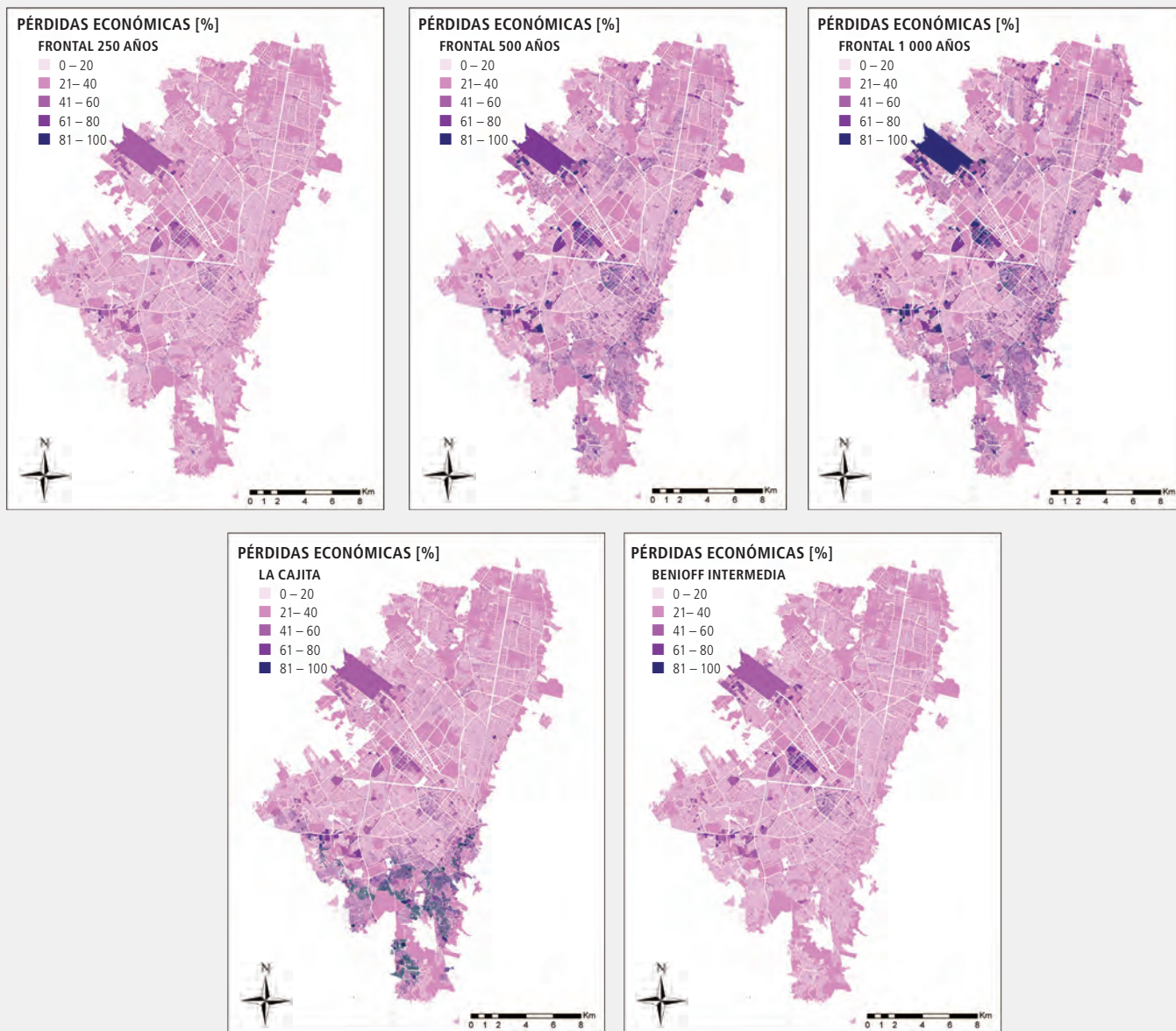
Fuente: DPAE y Universidad de los Andes, 2005.

continúa

RECUADRO 7.2 Bogotá: escenarios de daños causados por terremotos (continuación)

En los mapas 7.2.1 se observa la distribución de las pérdidas económicas esperadas como porcentaje del valor total expuesto (como indicador del daño relativo esperado). Los cálculos se han realizado para cada uno de los predios individuales y la unidad geográfica de ilustración de resultados es la manzana. Se presentan mapas de daño relativo esperado para cada uno de los escenarios sísmicos.

Mapas 7.2.1 Bogotá: daño relativo esperado (%) para los escenarios de análisis

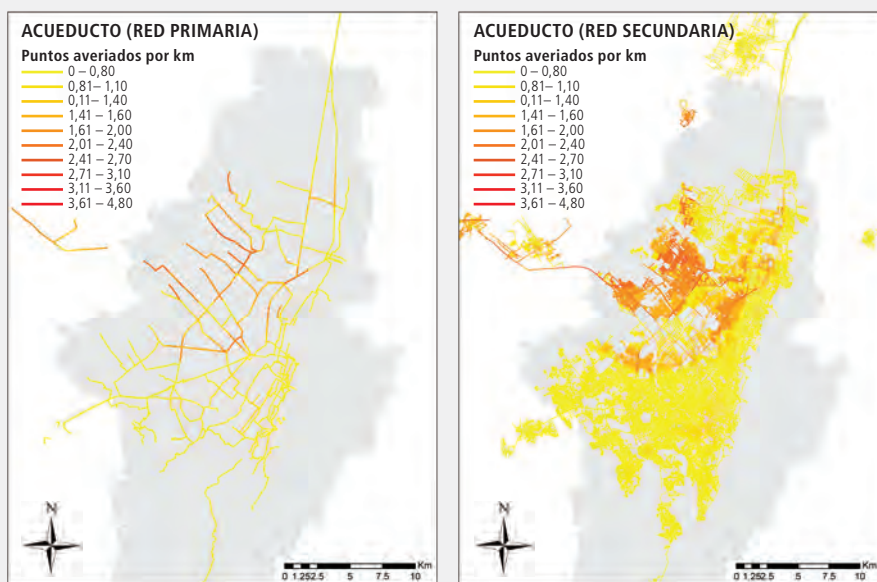


Fuente: DPAE y Universidad de los Andes, 2005.

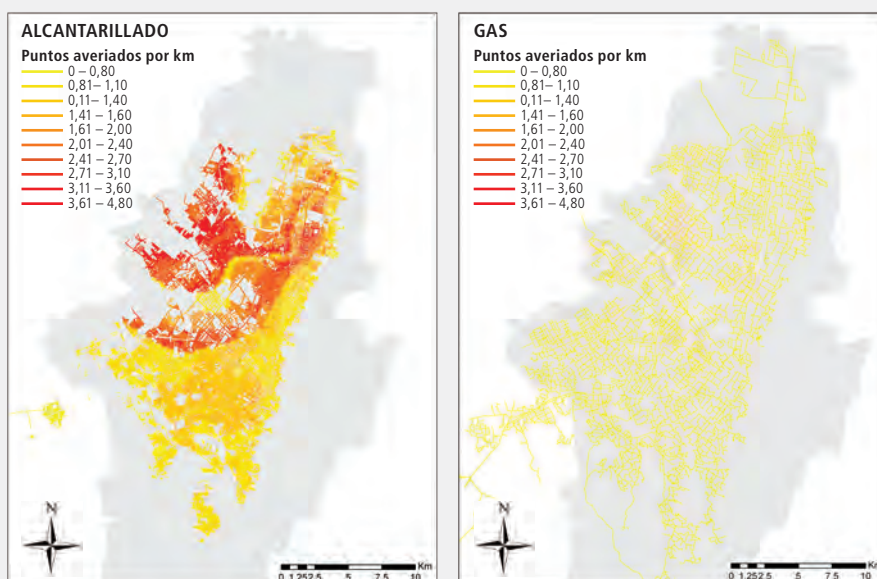
RECUADRO 7.3 Bogotá: escenarios de los daños y las pérdidas en la infraestructura

Los escenarios de los daños y las pérdidas también se evalúan para la infraestructura urbana. Los mapas 7.3.1, 7.3.2 y 7.3.3 destacan los resultados ilustrativos del impacto de escenarios sísmicos particulares en los sistemas de acueducto, alcantarillado, gas y puentes urbanos, entre otros.

Mapas 7.3.1 Bogotá: escenarios de impacto en las redes primaria y secundaria de suministro de agua potable



Mapas 7.3.2 Bogotá: escenarios de impacto en las redes de alcantarillado y gas natural

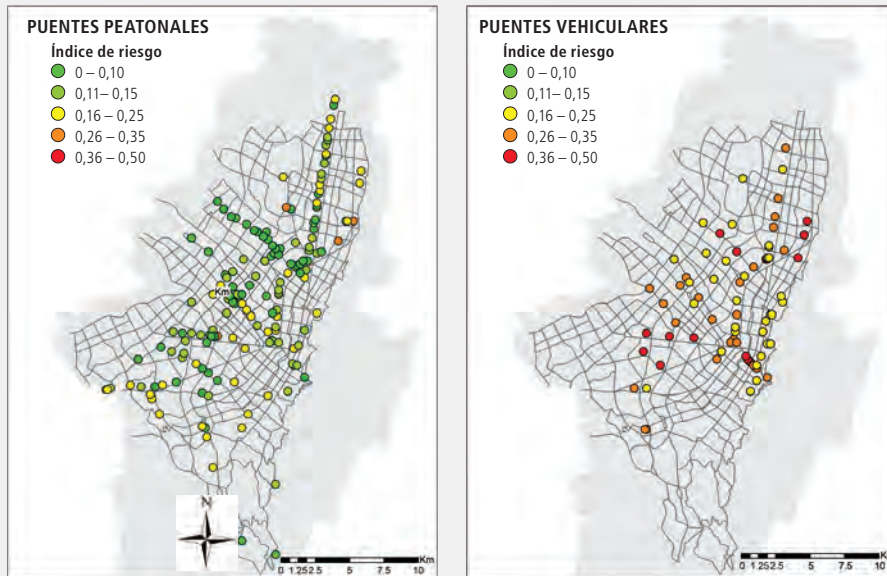


Fuente: DPAE y Universidad de los Andes, 2005; Universidad de los Andes, 1999.

continúa

Recuadro 7.3 Bogotá: escenarios de los daños y las pérdidas en la infraestructura (continuación)

Mapas 7.3.3 Bogotá: escenarios de impacto en los puentes peatonales y vehiculares



Fuente: DPAE y Universidad de los Andes, 2005; Universidad de los Andes, 1999.

Aplicaciones principales

Diversas son las aplicaciones prácticas que se derivan de los escenarios de daño y pérdidas en construcciones e infraestructura. En particular es posible realizar estimativos del impacto de cada escenario en la población y de esta manera contar con información básica para elaborar los planes de atención ante las emergencias, realizar simulaciones y simulacros, diseñar sistemas de alerta temprana y otras aplicaciones relacionadas.

Escenarios de los efectos sobre la población

El impacto de un evento con características catastróficas sobre la población se puede analizar mediante el número de personas afectadas: las que quedan atrapadas en las construcciones, los heridos y las víctimas mortales. También se pueden estimar el número de personas sin vivienda y el número de personas que quedan sin trabajo debido a las pérdidas en la infraestructura.

El número de personas afectadas corresponde al número de personas que deben ser reubicadas y que requieren viviendas temporales después de un evento de características desastrosas, como es el caso de

un sismo intenso. El impacto se evalúa en función del daño en cada una de las edificaciones expuestas y del número de ocupantes en el momento del evento. Es posible evaluar, por ejemplo, el número total de ocupantes en edificaciones que presenten porcentajes de daño superiores al 30%, para el caso de colapsos parciales, y daños superiores al 50%, para el caso de colapsos totales. Cuando se utiliza la clasificación por uso de las construcciones se puede medir, de manera similar, el número de personas que pueden quedar sin trabajo, al considerar las construcciones afectadas del sector productivo (comercial, industrial, institucional y otras).

Por otro lado, el número de personas atrapadas depende directamente del nivel de los daños en cada tipo estructural, al cual se le aplica un factor de colapso de la edificación. Estos factores, aplicados sobre el número de ocupantes, dan un indicativo del número total de personas atrapadas en cada edificación. Con frecuencia, se considera que el número de personas atrapadas corresponde al número de heridos o personas que requieren algún tipo de atención médica.

Con respecto a las víctimas mortales, su número corresponde en general a una fracción de las personas atrapadas que se estima mediante un factor de fata-

lidad, el cual es una función del sistema estructural de la edificación afectada.

Consideraciones similares pueden realizarse para los casos de amenaza por inundación o por deslizamiento.

El cuadro 7.1 recopila los valores indicativos de los factores de “atrapadas” y de “fatalidad”, para algunos de los sistemas estructurales característicos y para el caso de sismo. Estos factores se basan en la experien-

cia y en estadísticas provenientes de los sismos que han sucedido durante los últimos cuarenta años en el mundo (DPAE y Universidad de los Andes, 2005; Secretaría Ejecutiva del Sistema Nacional de Prevención de Desastres de Nicaragua, 2005).

Los recuadros 7.4 y 7.5 contienen algunos resultados representativos acerca de los efectos sobre la población en los diferentes escenarios sísmicos seleccionados para el análisis en el caso de Bogotá.

Cuadro 7.1 Porcentaje de atrapados y de víctimas fatales para cada tipo estructural

ID	Valor	Atrapados [%]	Fatalidad [%]
0	Lotes sin área construida	0	0
1	Adobe o tapia pisada	0,05	0,15
2	Bahareque	0,02	0,1
3	Mampostería simple	0,05	0,15
4	Mampostería confinada	0,05	0,15
5	Mampostería reforzada	0,05	0,15
6	Pórticos de concreto + Mampostería	0,3	0,5
7	Pórticos de concreto + Divisiones ligeras	0,3	0,5
8	Pórticos de concreto + Muros de concreto	0,2	0,4
9	Reticular celulado	0,5	0,5
10	Muros de concreto	0,15	0,3
11	Prefabricados de concreto	0,1	0,15
12	Pórticos de acero	0,02	0,1
13	Bodegas luces cortas	0,07	0,2
14	Bodegas luces medias	0,07	0,3
15	Bodegas luces largas	0,07	0,3
16	Iglesias	0,2	0,4
17	Coliseos y estadios	0,2	0,4
18	Mampostería semiconfinada	0,05	0,15

RECUADRO 7.4 Bogotá: escenarios de los efectos de sismos sobre la población

Los cuadros 7.4.1 y 7.4.2 y los mapas 7.4.1 resumen los efectos potenciales, en términos de número y porcentaje de viviendas con colapsos parciales o totales (con un daño superior al 45%), número y porcentaje de personas sin vivienda (con respecto al total de la población) y número de personas sin lugar de trabajo (considerando únicamente los sectores comercial e industrial) en los escenarios sísmicos seleccionados para el análisis.

Cuadro 7.4.1 Impacto sobre la población, según los escenarios críticos definidos

Escenario	Número de edificaciones afectadas con daño > 45 %	Número de personas sin vivienda (%)	Número de personas sin lugar de trabajo (%)
1 Frontal Cordillera Oriental $T_{ret} = 250$ años	3 958	0,5	60 408
2 Frontal Cordillera Oriental $T_{ret} = 500$ años	49 125	6,2	682 060
3 Frontal Cordillera Oriental $T_{ret} = 1.000$ años	106 638	13,4	1 071 708
4 La Cajita $M_s = 5,8$ $T_{ret} = 500$ años	115 723	14,5	282 495
5 Benioff Intermedia $T_{ret} = 500$ años	2 559	0,3	176 955

Fuente: DPAE y Universidad de los Andes, 2005.

El cuadro 7.4.2 señala la estimación del número aproximado de personas que podrían ser atrapadas y heridas, y el número estimado de víctimas mortales, en caso de presentarse el sismo durante el día o la noche, en cada uno de los escenarios seleccionados para el análisis.

Cuadro 7.4.2 Efectos directos sobre la población, de acuerdo con los escenarios críticos considerados

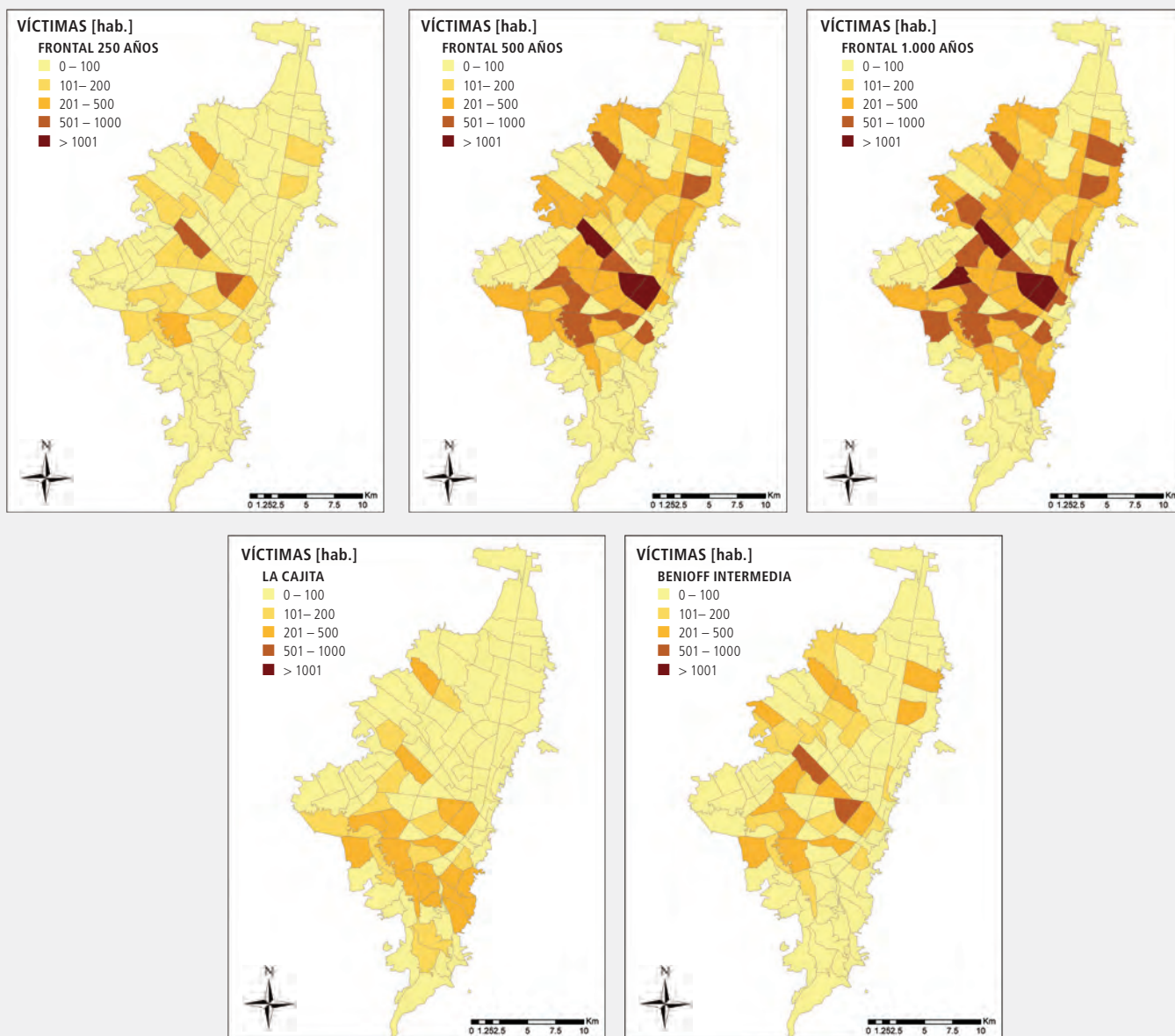
Escenario	Sismo en el día			Sismo en la noche		
	Atrapados	Heridos	Muertos	Atrapados	Heridos	Muertos
1 Frontal Cordillera Oriental $T_{ret} = 250$ años	26 923	17 042	9 234	20 039	12 539	6 698
2 Frontal Cordillera Oriental $T_{ret} = 500$ años	105 316	64 997	38 846	78 372	52 310	23 005
3 Frontal Cordillera Oriental $T_{ret} = 1.000$ años	140 669	85 979	52 750	105 042	70 657	30 749
4 La Cajita $M_s = 5,8$ $T_{ret} = 500$ años	36 415	24 796	9 300	55 899	43 134	9 252
5 Benioff Intermedia $T_{ret} = 500$ años	40 096	25 361	14 138	27 662	17 636	9 502

Fuente: DPAE y Universidad de los Andes, 2005.

continúa

Recuadro 7.4 Bogotá: escenarios de los efectos de sismos sobre la población (continuación)

Mapas 7.4.1 Número de víctimas, por unidad geográfica UPZ (ver capítulo 3) para diferentes escenarios sísmicos de análisis



Fuente: DPAE y Universidad de los Andes, 2005

RECUADRO 7.5 Bogotá: escenarios de inundación y Plan de Emergencia en un sector de la ciudad

El cuadro 7.5.1 muestra los parámetros descriptivos para un escenario de inundación en la zona de la quebrada Limas en Bogotá, para un periodo de retorno de 25 años. Con base en dichos parámetros, las autoridades correspondientes hicieron una estimación de los recursos operativos necesarios para ejecutar la respuesta ante la emergencia. Los cuadros 7.5.1 y 7.5.2 recogen los resultados de este análisis.

Cuadro 7.5.1 Escenarios de inundación en la quebrada Limas, $T_{ret} = 25$ años

Daños materiales (mill. COP)		Afectación a la población		Edificaciones	
Edificios	1 276	Afectados	1 436	Afectadas	241
Contenidos	1 283	Heridos	353	Destruídas	0
Lucro cesante	39	Muertos	4		
Total (E+C+L)	2 598				

Fuente: MAVDT y Universidad de los Andes, 2006.

Cuadro 7.5.2 Proyección de recursos institucionales, de acuerdo con el nivel de severidad de la emergencia, para el escenario de inundación en la quebrada Limas, $T_{ret} = 25$ años

Defensa Civil	Departamento Administrativo de Bienestar Social (DABS)	Dirección de Atención y Prevención de Emergencias (DPAE)	Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá (COBB)	Secretaría de Salud
82 voluntarios	35 profesionales técnicos administrativos	15 ingenieros para evaluar y apoyar la atención de la emergencia	6 bomberos 2 oficiales de servicio	1 médico 2 paramédicos
2 conductores	5 conductores	5 conductores	2 maquinistas	2 conductores
2 vehículos	5 vehículos	5 vehículos	2 máquinas de bomberos	1 ambulancia básica 1 ambulancia equipada
Comunicación por radio	Comunicación por Avantel	Comunicación por radio	Comunicación por radio	Comunicación por radio

Fuente: MAVDT y Universidad de los Andes, 2006.

Planes de respuesta ante las emergencias

Los planes de respuesta ante las emergencias (“planes de emergencia”), establecen protocolos, sistemas de organización y procedimientos generales, que deben ser aplicados para enfrentar tales situaciones de desastre en forma oportuna, eficiente y eficaz en los ámbitos local, regional y nacional, teniendo en cuenta el nivel de intensidad y la severidad del desastre. Los mecanismos de acción planteados en el Plan de Emergencias permiten reducir las consecuencias de los eventos futuros que pueden afectar a la población.

Todo plan de respuesta ante las emergencias derivadas de las amenazas naturales o siconaturales

debe elaborarse con base en las necesidades básicas de la comunidad. Se deben definir los lineamientos, mecanismos y procesos de activación y respuesta para atender y responder ante las emergencias, así como el esquema organizativo para la coordinación interinstitucional en los ámbitos nacional, regional y local.

Los planes de emergencia se complementan y desarrollan a través de:

- Planes de contingencia: proveen información específica para la atención de la emergencia derivada de la materialización de una amenaza en un sector específico de la ciudad; proponen la ejecución de

actividades y detalles bien identificados, los cuales se organizan según el tipo de consecuencia o por territorios específicos.

- **Protocolos:** se formulan mediante acuerdos de trabajo entre instituciones, de tal forma que se garantice que su acción conjunta, bajo determinada situación, sea eficiente en la planificación y utilización de los recursos.
- **Procedimientos operativos normalizados:** describen en detalle una secuencia de pasos por desarrollar, a cargo de los grupos de respuesta, para solucionar de las situaciones particulares que puedan presentarse.

Un ejemplo de estos mecanismos de respuesta y atención de emergencias es el Plan de Emergencias de Bogotá, el cual rige los procedimientos y las funciones de las instituciones encargadas dentro del Distrito Capital (DPAE, 2007). En el recuadro 7.6 se presentan los componentes relevantes del Plan de Emergencias de Bogotá (PEB).

Análisis de la capacidad sectorial con relación al impacto sobre la población

Con base en los análisis de impacto sobre la población,

queda establecida la base de información para llevar a cabo otras aplicaciones adicionales en cada sector que participa en la atención de la emergencia. Análisis sobre necesidades de atención en salud, seguridad alimentaria, alojamiento temporal, asistencia social son algunos de los ejemplos. En cada caso se trata de valorar la magnitud global de los requerimientos de atención debidos a la probable emergencia y compararlos con la capacidad institucional disponible. A partir de allí, la entidad responsable debe definir políticas y diseñar una estrategia de mediano y largo plazos para resolver el déficit de capacidad o los vacíos que puedan existir. Los planes de emergencia y contingencia sectoriales se articulan a esta estrategia. El recuadro 7.7 destaca algunos de los análisis y resultados obtenidos para Bogotá en el tema en atención en salud.

Definición de tipos de rescates según el nivel del daño probable en estructuras

Como resultado de un escenario de daño por evento sísmico, el análisis del tipo de estructuras con mayor porcentaje de daño y su distribución provee información útil para deducir el tipo y concentración de operaciones de rescate que podrían requerirse.

RECUADRO 7.6 Plan de Emergencias de Bogotá (PEB)

El Plan de Emergencias de Bogotá (PEB) es el producto del trabajo de diferentes instituciones vinculadas a una gran variedad de disciplinas. Este plan fue formulado y desarrollado dentro del marco de la estrategia de fortalecimiento de la capacidad de respuesta en Bogotá ante un evento de gran magnitud. En su elaboración participaron diferentes especialistas de distintas instituciones internacionales, nacionales, regionales y distritales. A partir de este plan general se han desarrollado otros planes y protocolos en los ámbitos distritales, institucionales y locales.

El PEB tiene cuatro tipos de subdivisiones, según la relevancia de sus funciones: planes de emergencia, planes de contingencia, protocolos y procedimientos operativos normalizados (gráfico 7.6.1).

Gráfico 7.6.1 PEB. Esquema organizativo, según las jerarquías y dependencias



Fuente: adaptado de DPAAE, 2007.

continúa

RECUADRO 7.6 Plan de Emergencias de Bogotá (PEB) (continuación)

La clasificación según la relevancia de la emergencia se realiza mediante una escala ascendente de cinco niveles y presenta información acerca de la complejidad de la emergencia misma. Esto se logra con base en siete criterios relacionados con su impacto posible y la capacidad de respuesta de la ciudad. La tabla 7.6.1 presenta los criterios para la clasificación de la relevancia de la emergencia.

Tabla 7.6.1 Criterios de clasificación de la relevancia de la emergencia en función del impacto y la capacidad de atención

	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
Capacidad operativa y técnica del distrito	Suficiente	Suficiente	Suficiente	Suficiente con eventual apoyo específico	Insuficiente, requiere apoyo nacional e internacional
Logística	Institucional	Institucional y eventual apoyo de DPAE	DPAE e institucional	Distrital y eventualmente nacional	Distrital, nacional e internacional
Afectación geográfica	Puntual	Puntual	Un área o varios puntos	Un área o varias zonas	Un área o varias zonas
Afectación poblacional	No	No	Afectación total en zona de impacto	Afectación total en zona de impacto	Afectación total o parcial de la ciudad
Gobernación	No	No	Socialmente visible	Posibilidades de crisis en algún sector de la ciudad	Dificultades de gobernabilidad en algunos sectores
Expansión riesgo	No	No	Puede o no ser expandible	Expandible, control complejo	Expandible, control complejo
Periodo operacional	Menor a 8 horas	Menor a 8 horas	Mayor a 8 horas	Mayor a 48 horas	Mayor a 72 horas

En cuanto a su organización, el PEB se formuló según la composición del Sistema Distrital para la Prevención y Atención de Emergencias (Sdpae), conformado por un total de 51 instituciones (34 distritales, 10 nacionales y 2 privadas). [Disponible en: www.fopae.org].

Fuente: DPAE, 2007.

Dado que, como parte del análisis de vulnerabilidad, las estructuras han sido caracterizadas, a partir de allí se puede deducir en forma razonable el tipo de daño predominante en aquellas estructuras más afectadas y, por tanto, también el tipo de operaciones de rescate que predominarían. De hecho, en un sismo las operaciones de rescate son diferentes dependiendo de si los daños se concentran en edificaciones de mampostería de baja altura o por el colapso de estructuras de concreto de mediana o gran altura.

La importancia de estos análisis radica en la posibilidad de definir lineamientos para diseñar, conformar y capacitar grupos de búsqueda y rescate y alinear asuntos de logística, simulaciones y simulacros y planes de contingencia. De igual modo, permiten orientar las labores de búsqueda y rescate en armonía con el tipo de colaboración internacional que normalmente se recibe.

Finalmente, tales análisis permiten plantear una estrategia para recolección y disposición final de escombros generados como consecuencia del colapso de estructuras, teniendo en cuenta el tipo de material, la zona donde se generan y las cantidades aproximadas (Cardona y Yamin, 1997). El recuadro 7.8 detalla algunos de estos aspectos que hacen parte del Plan de Emergencias de Bogotá.

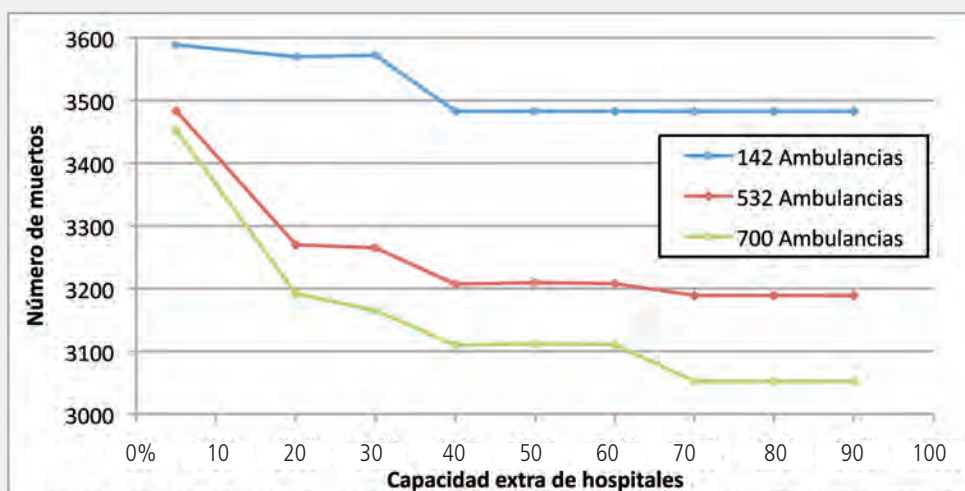
Simulaciones y simulacros

El desarrollo de simulaciones (ejercicios en oficina) y simulacros (ejercicios en campo, con participación activa de un grupo amplio de personas) es la etapa final en la implementación de los planes de emergencia. En general, el diseño de estos ejercicios comienza por establecer un escenario de la potencial emergencia de acuerdo con los planes o procedimientos que se intentan probar, con base en lo cual se implementan en diferentes niveles

RECUADRO 7.7 Bogotá: ejemplos de acciones implementadas en diferentes sectores en relación con el impacto de un evento sísmico sobre la población

Cuantificación de demanda de atención en salud: el déficit de camas-hospital en el escenario de diseño del Plan de Emergencia de Bogotá podría ser del orden de seis mil unidades. A partir de allí, el sector salud revisó su plan de emergencia y ajustó varias de sus políticas. Así por ejemplo, una de las medidas identificadas fue construir redes de provisión de agua, luz y gas en varios parques de la ciudad (cercanos a las zonas donde se concentrarían los daños) para facilitar, en caso de requerirse, la instalación de hospitales de campaña. Evaluaciones complementarias se realizan en la actualidad, con el fin de optimizar los recursos y tiempos de atención de heridos para minimizar el número de víctimas en caso de un evento sísmico en Bogotá (Noreña et ál., 2011) (gráfico 7.7.1).

Gráfico 7.7.1 Bogotá: optimización de recursos y tiempos de respuesta para minimizar víctimas en caso de desastre



Fuente: Noreña et ál., 2011.

Cuantificación de la demanda de asistencia social: en Bogotá, después de un sismo al menos siete mil familias demandarán asistencia social relacionada con vivienda, seguridad alimentaria, cuidado infantil, recuperación de empleo, entre otros aspectos. A partir de allí, la institución a cargo (Secretaría de Integración Social) consideró necesario crear una dependencia especializada para diseñar e implementar una estrategia consecuente con este escenario. Una de las primeras decisiones fue, por ejemplo, abordar el problema de vivienda transitoria sin utilizar escuelas debido al impacto sobre la población infantil y el deterioro de la infraestructura.

institucionales, sectoriales, comunitarios, empresariales y otros.

Para simulacros complejos, como por ejemplo el correspondiente al sistema de emergencia de una ciudad, el análisis por escenario es muy útil para el diseño y preparación del ejercicio. A partir de estos resultados es posible derivar condiciones de emergencia para probar la implementación de los planes de emergencia y contingencia. Incluso facilita la participación de sectores que normalmente no están en la primera respuesta. Por ejemplo, el sector hacienda puede participar con la simulación de la activación de un crédito contingente, el sector gobierno prueba el manejo de medios de comunicación durante la crisis y el sector de relaciones internacionales puede probar los mecanismos de activación y coordinación de la cooperación internacional.

En 2003 Bogotá diseñó y llevó a cabo un simulacro de respuesta ante un eventual terremoto en la ciudad. El diseño general del simulacro se basó en el escenario de daño mencionado anteriormente. Este ejercicio se ejecuta cada dos años y por su alcance constituye uno de los más completos en el ámbito global organizado por una ciudad. El recuadro 7.9 describe algunas de sus principales características.

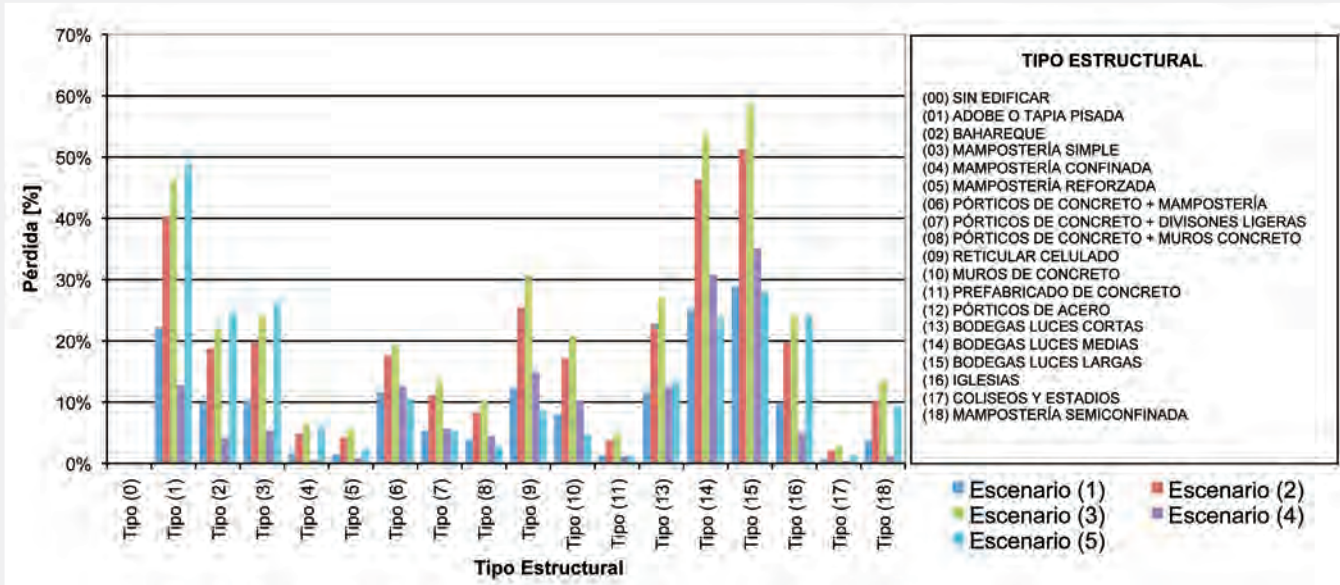
Vulnerabilidad funcional urbana ante eventos con capacidad destructiva

Conocida la distribución de daños probables en edificaciones e infraestructura vial es posible identificar sitios críticos desde el punto de vista de la movilidad de la ciudad, en especial para las primeras horas

RECUADRO 7.8 Bogotá: análisis de operaciones de rescate según escenario sísmico

El análisis del riesgo por escenarios en la ciudad de Bogotá permitió definir la distribución de tipos estructurales y el daño potencial que se puede esperar en cada uno de ellos en el escenario sísmico seleccionado para el análisis. El gráfico 7.8.1 resume esta información.

Gráfico 7.8.1 Pérdidas por sistema estructural para el escenario sísmico



Fuente: DPAAE y Universidad de los Andes, 2005.

A partir de estos resultados se establece que el mayor número de personas atrapadas luego del sismo se presentaría por colapso de casas en mampostería de dos y tres pisos. A partir de ello, la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá (DPAAE) modificó su estrategia para las fuerzas de tareas de rescate con los siguientes elementos:

- ▶ Se ampliaron las capacidades de rescate dependiendo del tipo de estructuras donde se espera el mayor número de personas atrapadas.
- ▶ Se crearon las brigadas barriales de rescate “liviano”, orientadas al rescate en estructuras de mampostería de dos o tres pisos.
- ▶ Se diseñó un nuevo protocolo (adoptado posteriormente por la United Nations International Search and Rescue Advisory Group o UN-Insarag) y se definieron y adquirieron las herramientas adecuadas para este tipo de operación.

En las fotos 7.8.1 se observa el Plan de Emergencia de Bogotá y protocolos distritales de respuesta a emergencias.

Foto 7.8.1 Plan de Emergencia de Bogotá y protocolos distritales de respuesta a emergencias.



Fuente: DPAAE, 2007.

RECUADRO 7.9 Bogotá: simulacros de respuesta a emergencias por terremoto

En octubre de 2003 se realizó un simulacro distrital de respuesta frente a estructuras colapsadas, que duró 50 horas, con el fin de evaluar la capacidad de respuesta de los grupos especializados y el sistema de información y comunicación en las zonas de impacto en el nivel central. Las entidades participantes en el simulacro fueron la Cruz Roja Colombiana, la Defensa Civil Colombiana, la Unidad Administrativa Especial Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá y el Fopae. A través de este simulacro se logró medir las capacidades para atender un evento de gran magnitud con escenarios múltiples y simultáneos, y también se crearon alianzas estratégicas para la atención de desastres.

De forma similar, se han realizado otros simulacros en la ciudad con distintos objetivos. En octubre de 2006 se realizó un simulacro de evacuación con una duración de dos horas, en el cual se evaluó la respuesta y la funcionalidad de las instalaciones educativas ante un evento sísmico. El ejercicio también sirvió para ejercitar y verificar los procesos de coordinación de los comités locales de emergencias y de las entidades del DPAE. Participaron 116 colegios oficiales y 14 privados, para un total de 130 colegios.



En octubre de 2007 y octubre de 2008 se realizaron unas simulaciones distritales en masa con la participación de numerosas entidades que forman parte del Sistema Distrital de Prevención y Atención de Emergencias, como la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), la Empresa de Teléfonos de Bogotá (ETB), la Empresa de Energía de Bogotá (Codensa), el Sistema de Transporte Masivo de Bogotá Transmilenio, la Cruz Roja, la Unidad Administrativa Especial Cuerpo de Bomberos, la Defensa Civil, el Departamento Administrativo de Seguridad (DAS), el Ejército Nacional-XIII Brigada, la Policía Metropolitana, el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), las secretarías distritales de Hábitat, Planeación, Movilidad y las alcaldías de siete localidades, entre otras (Fopae, 2011a).

A partir de 2009 se han venido realizando ejercicios masivos en la ciudad bajo el título de Simulacro Distrital de Evacuación. En octubre de 2009 tuvo lugar el Primer Simulacro Distrital de Evacuación, durante el cual se tuvo una participación del 37,1% del grupo residencial, el 52,9% del grupo empresarial, el 59,9% del grupo oficial o sector público y el 61,2% del grupo educativo, para una participación total de 3.590.375 habitantes de la ciudad. Como parte de esto también se realizaron una simulación de tomadores de decisiones, con la participación del gabinete del gobierno distrital, y un simulacro internacional de búsqueda y rescate. El 5 de octubre de 2010 se realizó el Segundo Simulacro Distrital de Evacuación, con la participación de 4.893.067 habitantes de la ciudad, y finalmente, el 5 de octubre de 2011 se realizó el Tercer Simulacro Distrital de Evacuación con la participación de 3.925.000 habitantes (Fopae, 2011b).

Fuente: Fopae, 2011b, 2011c.

después de la ocurrencia del evento, que es precisamente cuando se requiere máxima movilidad. El análisis de movilidad funcional después del evento debe incluir al menos los siguientes elementos:

- ▶ Vías cerradas por el posible colapso de edificaciones.
- ▶ Vías cerradas por el posible colapso de puentes peatonales o vehiculares y viaductos.
- ▶ Vías cerradas por inestabilidad de las pendientes o laderas.

En este análisis se trata de identificar sitios críticos que por sus características puedan generar obstrucciones de flujo vehicular relevantes. Mientras no sean implementadas medidas de reducción de vulnerabilidad en dichos puntos, los planes de emergencia deben considerar dicha posible condición en un desastre. De igual modo, cualquier análisis

que involucre tiempos de movilización después de la ocurrencia del evento debe considerar la posible obstrucción de vías, lo que generará aislamiento parcial de ciertas zonas y mayores tiempos de transporte entre puntos críticos de la ciudad (por ejemplo, hacia y desde los hospitales) (recuadro 7.10).

Diseño e implementación de Sistemas de Alerta Temprana

Un Sistema de Alerta Temprana busca activar un conjunto de procedimientos preestablecidos cuando se superan ciertos umbrales asociados con la eminente ocurrencia de un evento amenazante. Para tal fin se requiere definir uno o varios escenarios de referencia, que normalmente provienen de los eventos estocásticos que hacen parte del análisis probabilis-

RECUADRO 7.10 Bogotá: estudios de vulnerabilidad funcional

Bogotá ha realizado estudios de vulnerabilidad funcional urbana en caso de sismo, para lo cual se han utilizado escenarios de daños en las edificaciones y en la infraestructura. El mapa 7.10.1 ilustra las vías de mayor demanda de volumen de transporte después de la ocurrencia del evento. Con base en este tipo de resultados se confirmó la necesidad de realizar refuerzos sísmicos y reconstrucción en algunos puentes peatonales y vehiculares en estas vías críticas de la ciudad. También se definieron vías prioritarias de evacuación y acceso a centros de salud. En la actualidad casi la totalidad de los puentes vehiculares y peatonales de la ciudad cumplen con los criterios de diseño sismorresistente.

Mapa 7.10.1 Vías de mayor demanda de volumen de transporte



Fuente: Universidad de los Andes, 1998.

ta. El caso más frecuente es el de Sistemas de Alerta Temprana por inundación, aunque también se puede implementar en casos de sismo o deslizamiento.

Para el primer caso, el cálculo de crecientes para diferentes periodos de retorno (por ejemplo, 10, 25, 50 y 100 años) provee la información tanto sobre los parámetros físicos utilizados como umbrales (por ejemplo, lluvia, caudal) como sobre las características probables de las inundaciones (área, velocidad, profundidad, duración, etcétera). A partir de esta información es posible definir los niveles de alerta y deducir las acciones asociadas que deben ejecutar tanto la comunidad como las agencias de respuesta a emergencias.

De manera adicional, en etapas avanzadas de la implementación del Sistema de Alerta Temprana, es posible hacer análisis adicionales basados en los escenarios que fortalecen la capacidad de respues-

ta. Censos preliminares de población, cálculo de recursos (rescate y ayudas humanitarias) y equipos requeridos y organización y localización de grupos de respuesta son algunos ejemplos.

Es necesario precisar que en cualquier caso los sistemas de alerta temprana tienen asociado algún nivel de incertidumbre. Por ello, el análisis de escenarios es muy utilizado por los tomadores de decisiones en situaciones de incertidumbre frente a la inminencia de la emergencia.

Bogotá ofrece un buen ejemplo de la utilización de estos análisis en el diseño e implementación de Sistemas de Alerta Temprana de inundaciones y avenidas torrenciales, al igual que para el caso de sismos y deslizamientos de gran tamaño (ver ejemplos en el capítulo 8).

Referencias bibliográficas

- Cardona, O.; Yamin, L. 1997. Seismic Microzonification and Estimation of Earthquake Loss Scenarios: Integrated Risk Mitigation Project of Bogotá, Colombia. *EERI Earthquake Spectra Journal* 8755-2930.
- Dirección de Prevención y Atención de Emergencias (DPAE). 2005. *Escenarios de riesgo y pérdidas por terremoto para Bogotá D. C.* Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá y Universidad de los Andes.
- Dirección de Prevención y Atención de Emergencias (DPAE). 2007. *Plan de Emergencias de Bogotá.* Bogotá: Dirección de Planeación y Atención de Emergencias, Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Fondo de Prevención y Atención de Emergencias. Fopae. 2011a. *Exitoso simulacro de evacuación.* [Disponible en <http://www.fopae.gov.co>].
- Fondo de Prevención y Atención de Emergencias (Fopae). 2011b. *Matriz de simulacros 2003-2010.* Bogotá: Fopae.
- Fondo de Prevención y Atención de Emergencias. Fopae. 2011c. *Simulacros.* [Disponible en <http://www.fopae.gov.co>].
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). 2006. *Estudio para proponer la metodología para la evaluación, zonificación y reducción de riesgos por inundaciones y avenidas torrenciales y su articulación con los POTs.* Bogotá: MAVDT y Universidad de los Andes.
- Noreña, D.; Akhavan, R.; Yamin, L.; Ospina, W. 2011. Using Discrete Event Simulation to Evaluate the Logistics of Medical Attention During the Relief Operations in an Earthquake in Bogota. En: *Winter Simulation Conference, Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference.* Phoenix, AR: Omnipress
- Secretaría Ejecutiva del Sistema Nacional de Prevención de Desastres de Nicaragua. 2005. *Estudio de la vulnerabilidad sísmica de Managua. Informe final.* Consultoría E. Reinoso. Managua: Banco Mundial.
- Universidad de los Andes. 1998. *Diagnóstico de la vulnerabilidad funcional urbana ante un evento sísmico desastroso.* Bogotá: Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos (Cederi).
- Universidad de los Andes. 1999. *Vulnerabilidad sísmica del sistema de distribución y suministro de gas natural en Santafé de Bogotá.* Bogotá: Universidad de los Andes.



The background of the page is a grayscale aerial photograph of a city, showing a dense grid of streets and buildings. A prominent red circle is overlaid on the image, centered in the lower-left quadrant of the page. The text is positioned to the right of this circle.

Capítulo 8

Sistemas de alerta y estimación inmediata de los impactos luego de un evento

Coautores

Gabriel Bernal

*Asistente de investigación, Cimne
Universidad Politécnica de Cataluña*

Fernando Ramírez

*Especialista sénior,
gestión del riesgo de desastres,
Región de América Latina
y el Caribe, Banco Mundial*



Planteamiento conceptual

Los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) son declaraciones que hacen los gobiernos con el fin de activar un conjunto de procedimientos preestablecidos tanto por las instituciones como por la población para responder a una probable emergencia generada por la ocurrencia inminente de un evento desastroso. Los SAT son útiles tanto para manejar situaciones antes de la ocurrencia del evento como para eventos que ya se han presentado, como es el caso de sismos, tsunamis, algunas inundaciones, crisis volcánicas, huracanes y otros.

Un sistema de monitoreo de eventos potencialmente críticos es, por tanto, uno de los componentes principales de cualquier SAT. En algunos casos específicos se puede tener conocimiento de la ocurrencia de un evento con capacidad destructiva antes de que los efectos se presenten. Tales son los casos de un sismo lejano, cuyas ondas con capacidad destructiva se tardan algunos minutos en llegar hasta un centro poblado; una creciente en la parte alta de una cuenca, que requiere un tiempo para llegar a las poblaciones ubicadas en las zonas inundables, o las olas de un tsunami, que pueden tardar varios minutos u horas en alcanzar las costas pobladas. En cualquiera de estos casos, si se cuenta con una adecuada instrumentación, resulta posible enviar una señal de alarma a los pocos segundos después de ocurrido el evento para activar el SAT.

Por otro lado, aún en los casos en que no se cuenta con tiempo suficiente para realizar evacuaciones es posible generar una estimación inmediata tanto de la distribución de intensidades máximas esperadas para el evento como de su impacto esperado, con el fin de generar información básica que permita a los organismos responsables reaccionar lo más rápido posible después de su ocurrencia. La agilidad, la efectividad, la contundencia y, en general, el tipo de reacción inmediata por parte de los organismos encargados de la emergencia son fundamentales para el rescate, el salvamento y la reducción del número de víctimas. En muchos eventos debido a problemas en las comunicaciones, imprecisiones en los reportes de daños y la hora misma de ocurrencia del evento, la respuesta de los organismos de socorro y atención inmediata puede tardar a veces horas e incluso días, con lo cual las probabilidades de rescate de personas con vida disminuye notablemente.

Tanto para el SAT como para el sistema de estimación inmediata de la distribución de intensidades y de posibles impactos se requiere de la instalación estraté-

gica de instrumentos y de un sistema que permita la interpretación y valoración de las intensidades registradas y la estimación de posibles impactos. El éxito final del sistema de alarma depende de la existencia de un mecanismo adecuado y confiable de comunicación de los resultados de dicha evaluación; bien sea el sistema de alerta a la población o bien el sistema de envío de información a los organismos encargados de la atención de la emergencia (DPAE y Universidad de los Andes, 2005; DPAE, 2007).

La identificación de un evento con características destructivas puede realizarse mediante una instrumentación adecuada y la construcción de modelos que permitan transformar las intensidades registradas en un escenario con la distribución esperada de intensidades y de impactos. Una vez registrado el evento en un instrumento, se cuenta con una medida puntual de intensidad que es posible, mediante instrumentación complementaria o con modelos analíticos, extrapolar para generar una distribución de intensidades del evento en la zona de interés. Esta distribución de intensidades, conjuntamente con la información de exposición y vulnerabilidad, permite realizar un análisis del impacto esperado en un tiempo muy reducido (capítulos 1 a 3).

El análisis de los impactos debe permitir la generación de mapas temáticos con diferentes variables que proporcionen una visión global de los posibles efectos del evento sobre la infraestructura expuesta. Es común utilizar variables como el porcentaje de daño esperado, la pérdida económica esperada o los efectos sobre la población (número de personas afectadas o número esperado de víctimas).

Al disponer de un modelo que permita estimar el impacto de un evento en una zona de interés, con base en la intensidad del evento registrado en un instrumento determinado, es posible tomar decisiones sobre acciones a seguir. Esta es la base conceptual para los sistemas de alerta y de estimación inmediata de impactos luego de un evento, de manera que con el solo registro de una intensidad en un equipo de referencia es posible activar los planes de emergencia y contingencia y orientar la respuesta requerida desde los primeros minutos después de ocurrido el evento.

Elementos básicos para construir los sistemas de alerta y de estimación inmediata de impactos

Un sistema de alerta y de estimación inmediata de impactos, a partir de las señales generadas por

equipos instalados para registrar alguno de los parámetros de intensidad de los eventos, debe tener al menos las siguientes características fundamentales (Bernal, 2009; IDEA, 2008):

- ▶ Instrumentación conformada por sensores y equipos complementarios de preprocesamiento y envío de información, en tiempo real y en forma continua, hacia una central de procesamiento de información (por ejemplo, acelerógrafos, pluviógrafos, medidores de caudal o de nivel, inclinómetros, registros de posición, etcétera).
- ▶ Un sistema de comunicación entre los aparatos de medición y el sistema de información que permita un preprocesamiento rápido de los datos básicos de los eventos registrados.
- ▶ Una base de datos acerca de la exposición, en la cual estén definidos los parámetros básicos de cada uno de los elementos expuestos: como mínimo un identificador, las coordenadas geográficas, el valor de reposición, el número de ocupantes y las funciones asociadas de vulnerabilidad (física o humana). Información complementaria deseable para los organismos encargados de atender la emergencia sería el tipo de construcción y el uso principal o alguna clasificación de importancia de la construcción, lo que permitiría a dichos organismos identificar de manera rápida construcciones importantes que puedan haberse afectado por el evento (colegios, hospitales, estaciones de bomberos o policía, edificios del gobierno, etcétera).
- ▶ Un modelo analítico calibrado que permita generar mapas de distribución de intensidades de la zona de influencia o de un sector de análisis predefinido, con base en la información producida por uno de los instrumentos o sensores al detectar un evento determinado, o utilizando, si es posible, la información simultánea generada por varios sensores instalados. Por ejemplo, generar un mapa de aceleraciones sísmicas máximas en el nivel de la superficie del terreno con base en un registro sísmico en un punto de referencia (Ordaz, 2006), o generar de manera similar un mapa de inundación con base en el registro de lluvias, las mediciones de caudales o los niveles de agua en una estación determinada. En los casos en que la frecuencia de ocurrencia de los eventos es alta y por esta misma razón se conocen los impactos potenciales en función de la intensidad del evento, puede recurrirse a los eventos históricos para generar dichos mapas de distribución de intensidades.
- ▶ Una metodología para el análisis del riesgo, como por ejemplo la propuesta en los capítu-

los 1, 2 y 3, que permita valorar el riesgo en los componentes expuestos ante la distribución de intensidades estimada para el evento. El riesgo se expresa, normalmente, en porcentaje del daño físico, pérdida económica o impacto sobre la población (capítulo 1).

- ▶ Un posprocesador de los resultados de la evaluación del riesgo que permita generar información sobre el impacto potencial del evento, bien sea a través de mapas de cualquiera de las variables de riesgo mencionadas para las unidades geográficas predefinidas según sea el caso (manzanas, barrios, sectores o localidades), o bien medidas globales del impacto en cifras. Con esta información, las autoridades podrán tomar las decisiones de acciones inmediatas: en algunos casos la evacuación, en otros, la activación inmediata de los planes de emergencia y contingencia, según el evento.
- ▶ Un sistema de comunicación entre el sistema de información y la población o los organismos de respuesta ante las emergencias, dependiendo del caso.

Metodología para la evaluación del riesgo

La evaluación del riesgo, para efectos de alerta y estimación inmediata de los impactos, se lleva a cabo, por lo general, con base en un equipo único de control ubicado de manera estratégica o, preferiblemente, con dos equipos localizados a poca distancia entre sí, con el objetivo de proporcionar redundancia al sistema. El de cálculo del riesgo se activará o no, dependiendo de la intensidad registrada en el equipo de control. El procedimiento de cálculo del riesgo asociado con cada evento registrado es el siguiente:

- a. Registro del evento en el equipo de control.
- b. Interpretación del registro e identificación de la intensidad del evento. La evaluación del riesgo solo se realiza para los eventos con una intensidad mínima predefinida.
- c. Generación de un mapa general de distribución de intensidades asociadas al evento, utilizando para el efecto el modelo aplicado en los diferentes puntos de control compatibles con la señal registrada y con el método definido.
- d. Envío del parámetro de intensidad registrado y del mapa generado a las personas relacionadas con la respuesta ante la emergencia pocos segundos después de ocurrido el evento, lo cual sirve como primera señal de alarma sobre la posible distribución real de intensidades.

- e. Cálculo de los parámetros de riesgo en la zona de análisis utilizando las metodologías propuestas en los capítulos 1 a 3 (DPAE y Universidad de los Andes, 2005; SDH, 2006; Yamin, 2007).
- f. Agregación de los daños o pérdidas por unidad geográfica y para toda la zona de análisis.
- g. Generación de mapas y envío de la información.

En ciertos casos, en especial cuando el impacto en la zona de análisis depende de manera clara y directa del parámetro seleccionado para registro, es posible precalcular los impactos de diferentes intensidades de eventos con el fin de hacer más rápida la generación de resultados. En este caso, para cada nivel de intensidad se dispone de mapas de intensidad y de riesgo con valoraciones de impacto, que permiten, tanto para el caso de alerta como para el caso de estimación de

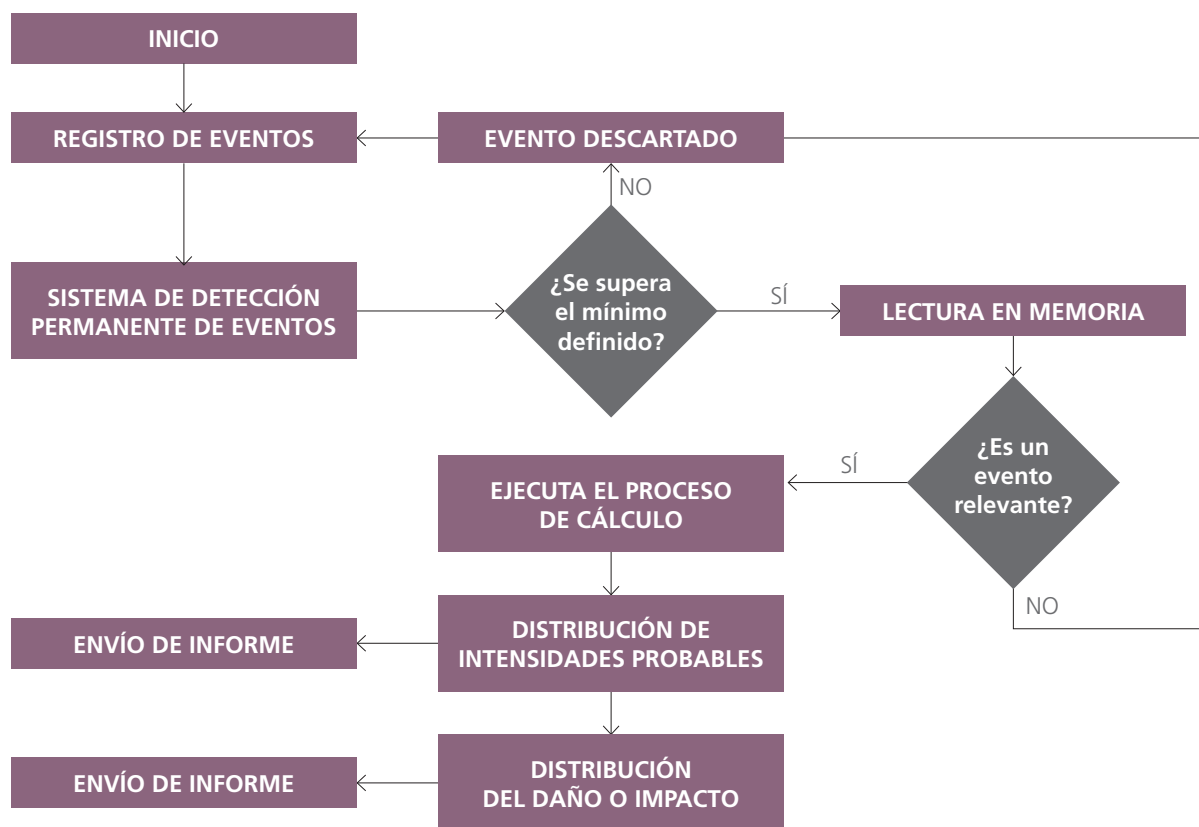
impactos, reportar de manera inmediata los mapas y valoraciones obtenidos. Con esta información las entidades encargadas tomarán decisiones respecto a evacuaciones o activación de los planes de emergencia o contingencia en el menor tiempo posible

El gráfico 8.1 presenta un esquema del algoritmo general para el funcionamiento del sistema.

Aplicaciones

La ciudad de Bogotá cuenta con algunos SAT y sistemas de estimación inmediata de impactos. El recuadro 8.1 recopila información relacionada con el SAT por inundación en el río Tunjuelo en Bogotá. Por otro lado, el recuadro 8.2 condensa algunos detalles del sistema de cálculo automático de los daños para un sismo en Bogotá, que es la base para el sistema de estimación inmediata del impacto.

Gráfico 8.1 Algoritmo general de funcionamiento del sistema de cálculo del riesgo



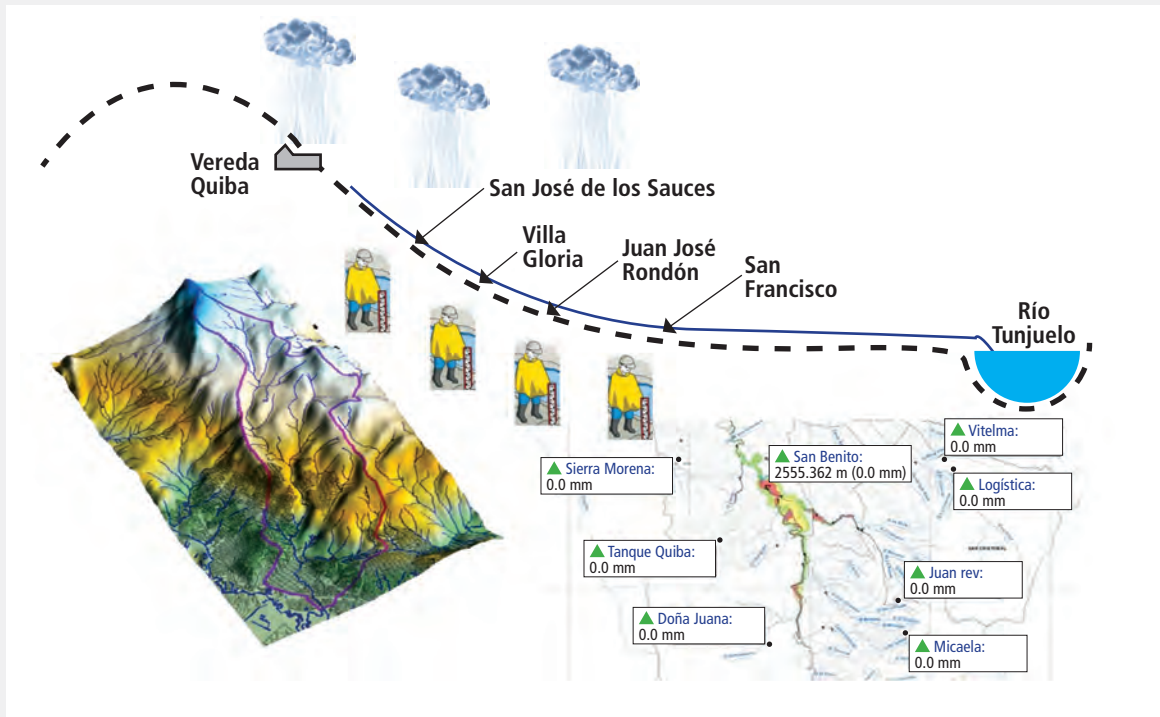
RECUADRO 8.1 Bogotá: sistema de Alerta Temprana en el río Tunjuelo en Bogotá

Este SAT fue desarrollado por el Fopae (Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá) en 2005, inicialmente para monitorear la cuenca de la quebrada Limas, cuyo desborde ocasionó emergencias en 2003 y 2004. En 2006 se desarrolló el SAT del río Tunjuelo, y en 2007 el SAT de la quebrada Chiguaza (diseñado por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón-JICA) y el del río Bogotá (diseñado por el Fopae) (DPAE, s. f.). Los SAT integran monitoreos técnicos, procedimientos y planes de respuesta para emitir alertas oportunamente, de forma que tanto la comunidad como las autoridades puedan implementar acciones para reducir la afectación y proteger vidas.

El funcionamiento de un SAT se puede dividir en tres componentes: monitoreo, comunicaciones y activación de alerta, y preparativos para la respuesta. Para el monitoreo se cuenta con equipos de transmisión y recolección de datos que incluyen pluviómetros y sensores de nivel vinculados a la red hidrometeorológica de la ciudad, los cuales permiten hacer seguimiento del comportamiento hidrometeorológico y modelos de pronóstico de cada cuenca.

Este seguimiento se realiza por medio de dos vías, la institucional, con herramientas de medición propias, dirigida por el Fopae (con el apoyo de entidades como la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá-EAAB), y la comunitaria, que consiste en monitoreo visual por parte de gente de la comunidad que recibe capacitación para este fin. Por otro lado, el componente de comunicaciones y activación de alerta facilita a los actores pertinentes información de las condiciones de la cuenca para emitir alertas. Finalmente, los preparativos para la respuesta se basan en la elaboración de planes de contingencia y emergencia con la coordinación interinstitucional y comunitaria. El gráfico 8.1.1 muestra un esquema del SAT del río Tunjuelo.

Gráfico 8.1.1 Esquema del SAT del río Tunjuelo



Fuente: DPAE, s. f.

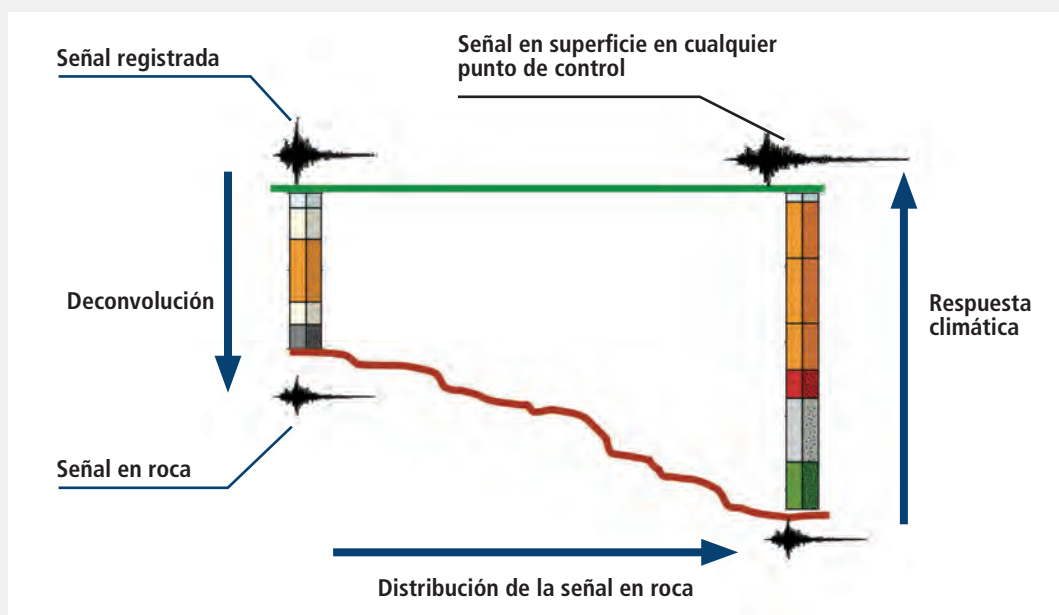
RECUADRO 8.2 Bogotá: sistema de cálculo automático para evaluar los daños producidos por un sismo inmediatamente después de su ocurrencia

La ciudad dispone de un Sistema de Información Sísmica Básica que se utiliza como plataforma para diferentes aplicaciones. Se trata del Sistema Sisbog-Daño (Bernal, 2009). El Sisbog-Daño es un sistema de cómputo especializado en el análisis de daños tras la ocurrencia de un terremoto y dispone de las siguientes funciones: (a) visualización de toda la información básica general de la ciudad (distribución de las manzanas, barrios, localidades, etcétera), (b) evaluación de la respuesta dinámica de los suelos en la superficie, (c) evaluación aproximada de los daños en todas las edificaciones de la ciudad (según información de la base de datos catastral) y (d) envío de informes a los tomadores de decisiones y diferentes medios de comunicación.

Las características innovadoras del sistema son las siguientes:

- a. Con base en la señal registrada en un punto de la superficie de la ciudad, se caracteriza el comportamiento de los suelos para el resto de la ciudad haciendo uso de técnicas de deconvolución de señales y respuesta dinámica. El proceso de deconvolución permite conocer la señal "en roca" correspondiente con la señal registrada en la superficie (DPAE, 2006). De esta manera, se distribuye la señal "en roca" hasta los diferentes puntos característicos de la zonificación sísmica escogida (Alcaldía de Manizales y Universidad de los Andes, 2002; CVC y Universidad de los Andes, 2005; DPAE y Universidad de los Andes, 2006; Universidad de los Andes e Ingeominas, 1997; Yamin et ál., 2004) y se obtiene la respuesta dinámica de cada perfil de suelo, tal y como se aprecia en el gráfico 8.2.1. Las señales características calculadas son las que se esperan en la superficie de la ciudad, considerando el comportamiento y el efecto de la respuesta en los suelos blandos.

Gráfico 8.2.1 Procedimiento de cálculo de la respuesta sísmica en la superficie



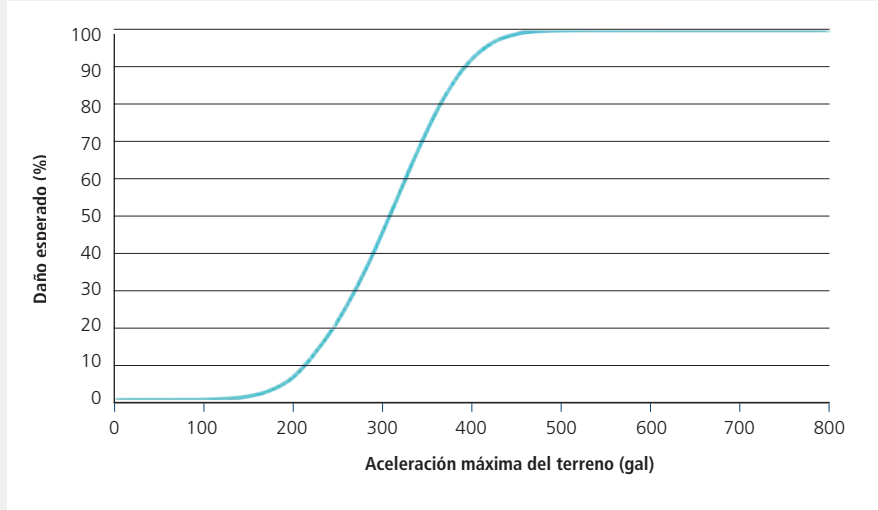
Fuente: Bernal, 2009.

- b. El sistema calcula el espectro de respuesta en los puntos de análisis o puntos de referencia de la ciudad (capítulo 2), con el fin de generar mapas con la distribución geográfica de las diferentes intensidades espectrales.
- c. El sistema utiliza la información básica de la base de datos catastral: predios, barrios, comunas, distribución de las manzanas, ríos, curvas de nivel, información sobre la respuesta sísmica de los suelos blandos e información sobre la vulnerabilidad en cada predio ante los movimientos fuertes del sismo. Las intensidades sísmicas calculadas se relacionan con el nivel de daño esperado a través de las funciones de vulnerabilidad (capítulo 3, gráfico 8.2.2).

continúa

RECUADRO 8.2 Bogotá: sistema de cálculo automático para evaluar los daños producidos por un sismo inmediatamente después de su ocurrencia (continuación)

Gráfico 8.2.2 Función de vulnerabilidad típica usada en el sistema de estimación inmediata de impacto

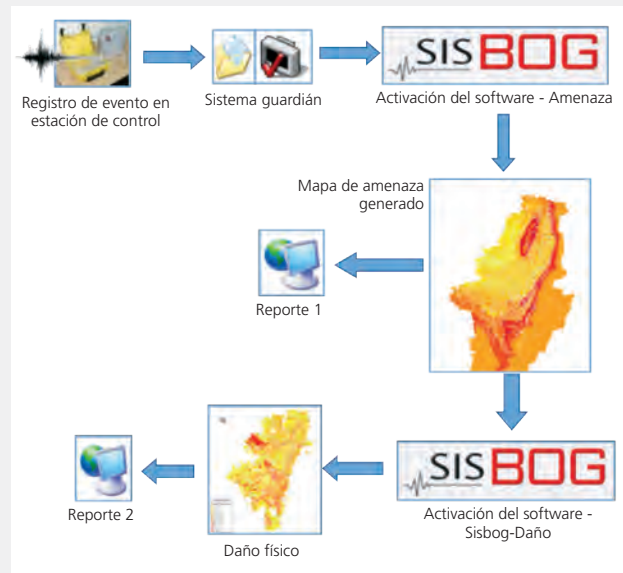


Fuente: elaboración propia.

- d. El sistema está conformado por varias aplicaciones independientes de *software* que interactúan con los acelerógrafos en tiempo real, con el propósito de estimar la respuesta del suelo y, por tanto, los daños en cada manzana, en forma automática y sin intervención humana. Además, realiza tareas relacionadas con la publicación automática de resultados vía internet, usando mensajes electrónicos, genera informes, copia los resultados en un servidor FTP y envía notificaciones vía SMS (*Short Message Service*, mensajes de texto a teléfonos celulares).

El gráfico 8.2.3 ilustra el esquema general de funcionamiento del sistema, con las tareas que cada una de las aplicaciones realiza y la interconexión existente entre ellas.

Gráfico 8.2.3 Descripción general del sistema *SISBOG-DAÑO* V1.0



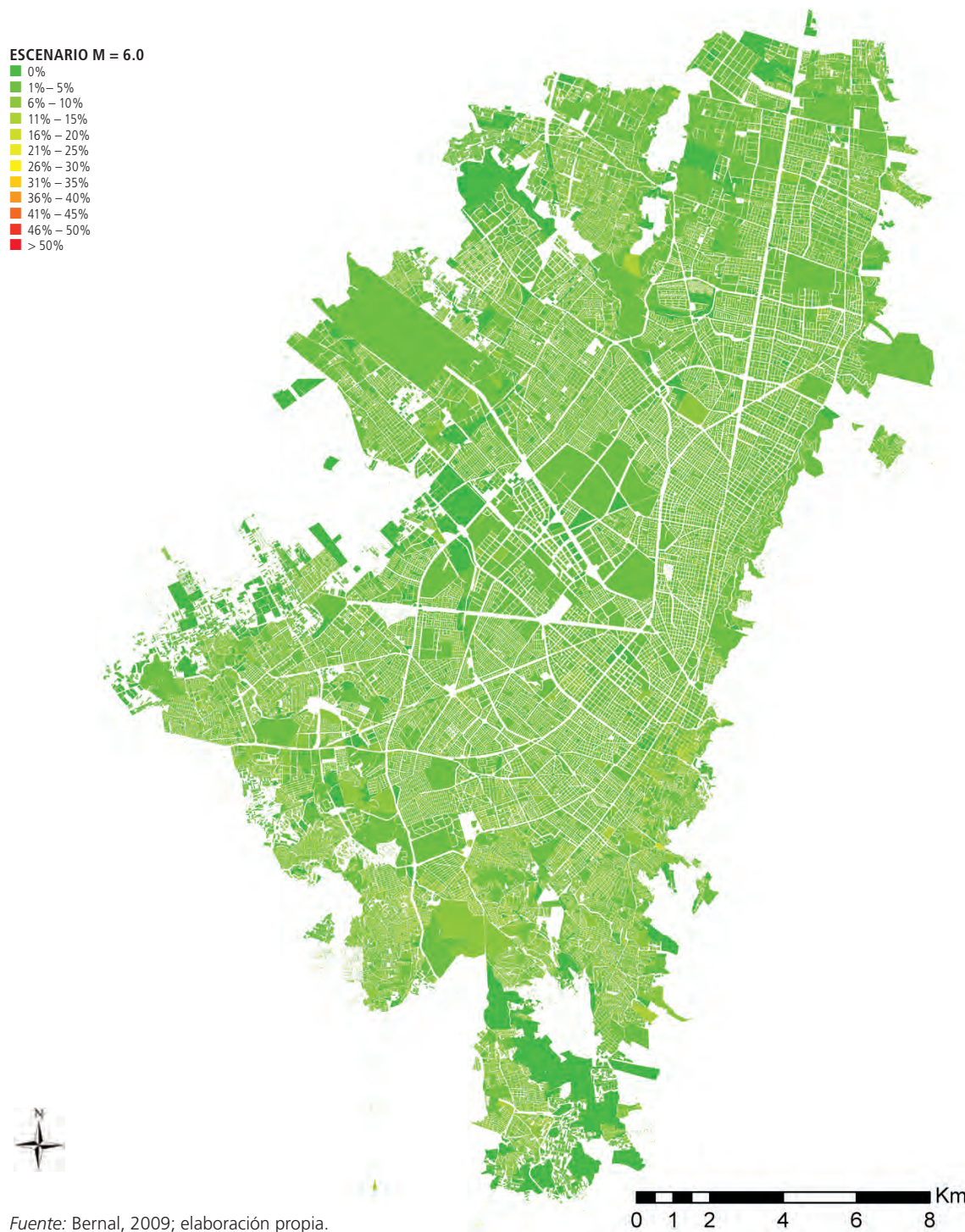
Fuente: Bernal, 2009.

continúa

Recuadro 8.2 Bogotá: sistema de cálculo automático para evaluar los daños producidos por un sismo inmediatamente después de su ocurrencia (continuación)

El sistema de estimación inmediata de daños Sisbog-Daño realiza evaluaciones de daño esperado en las edificaciones de la ciudad y presenta resultados por manzanas, como se ilustra en los mapas 8.2.1 a 8.2.3.

Mapa 8.2.1 Mapa ilustrativo de daños estimados para sismo con magnitud $M = 6.0$ que ocurren en la Fuente Frontal de la Cordillera Oriental



Fuente: Bernal, 2009; elaboración propia.

continúa



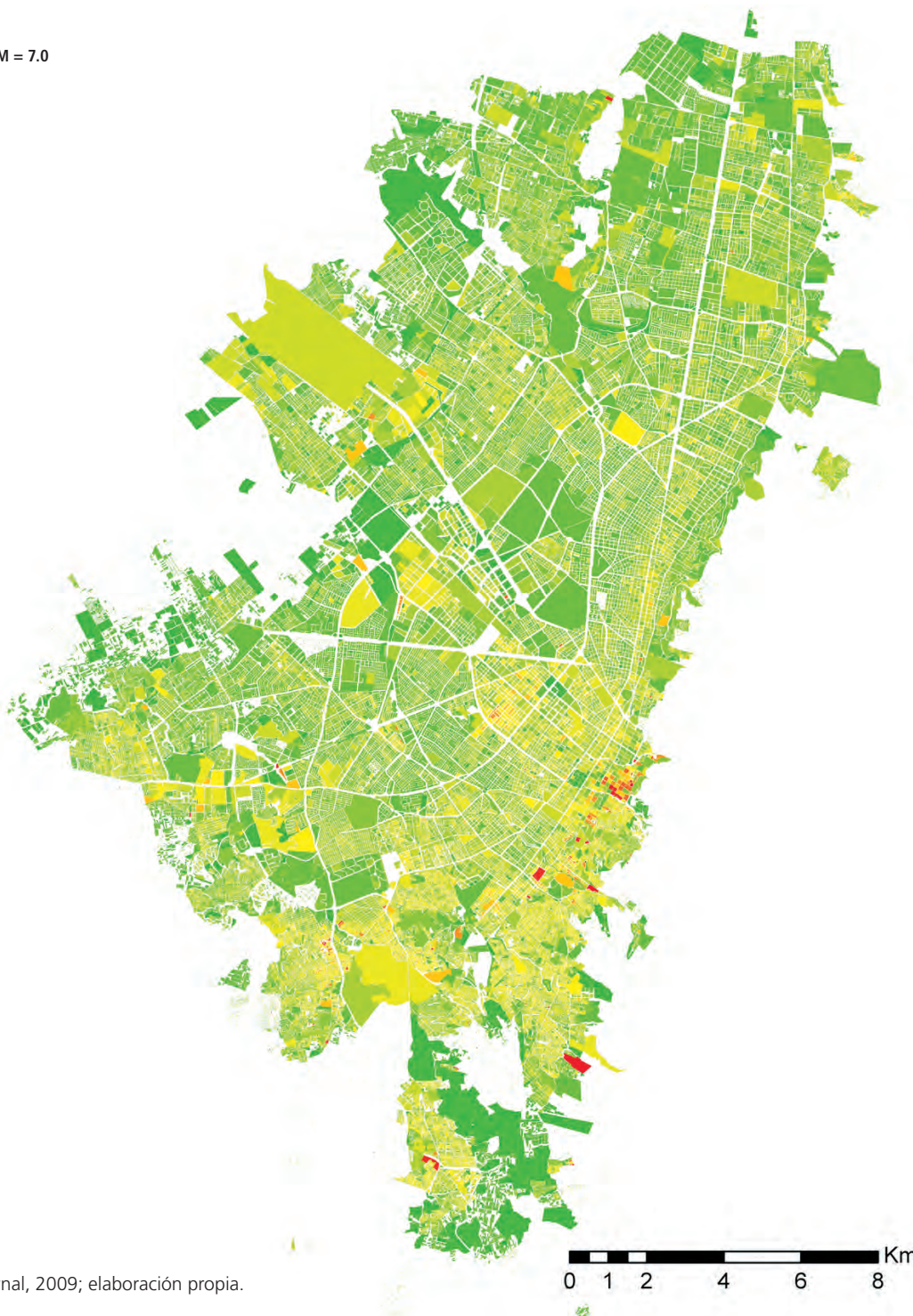
Recuadro 8.2 Bogotá: sistema de cálculo automático para evaluar los daños producidos por un sismo inmediatamente después de su ocurrencia (continuación)

El sistema de estimación inmediata de daños Sisbog-Daño realiza evaluaciones de daño esperado en las edificaciones de la ciudad y presenta resultados por manzanas, como se ilustra en los mapas 8.2.1 a 8.2.3.

Mapa 8.2.2 Mapa ilustrativo de daños estimados para sismo con magnitud M = 7.0 que ocurre en la Fuente Frontal de la Cordillera Oriental

ESCENARIO M = 7.0

- 0%
- 1% – 5%
- 6% – 10%
- 11% – 15%
- 16% – 20%
- 21% – 25%
- 26% – 30%
- 31% – 35%
- 36% – 40%
- 41% – 45%
- 46% – 50%
- > 50%



Fuente: Bernal, 2009; elaboración propia.

continúa



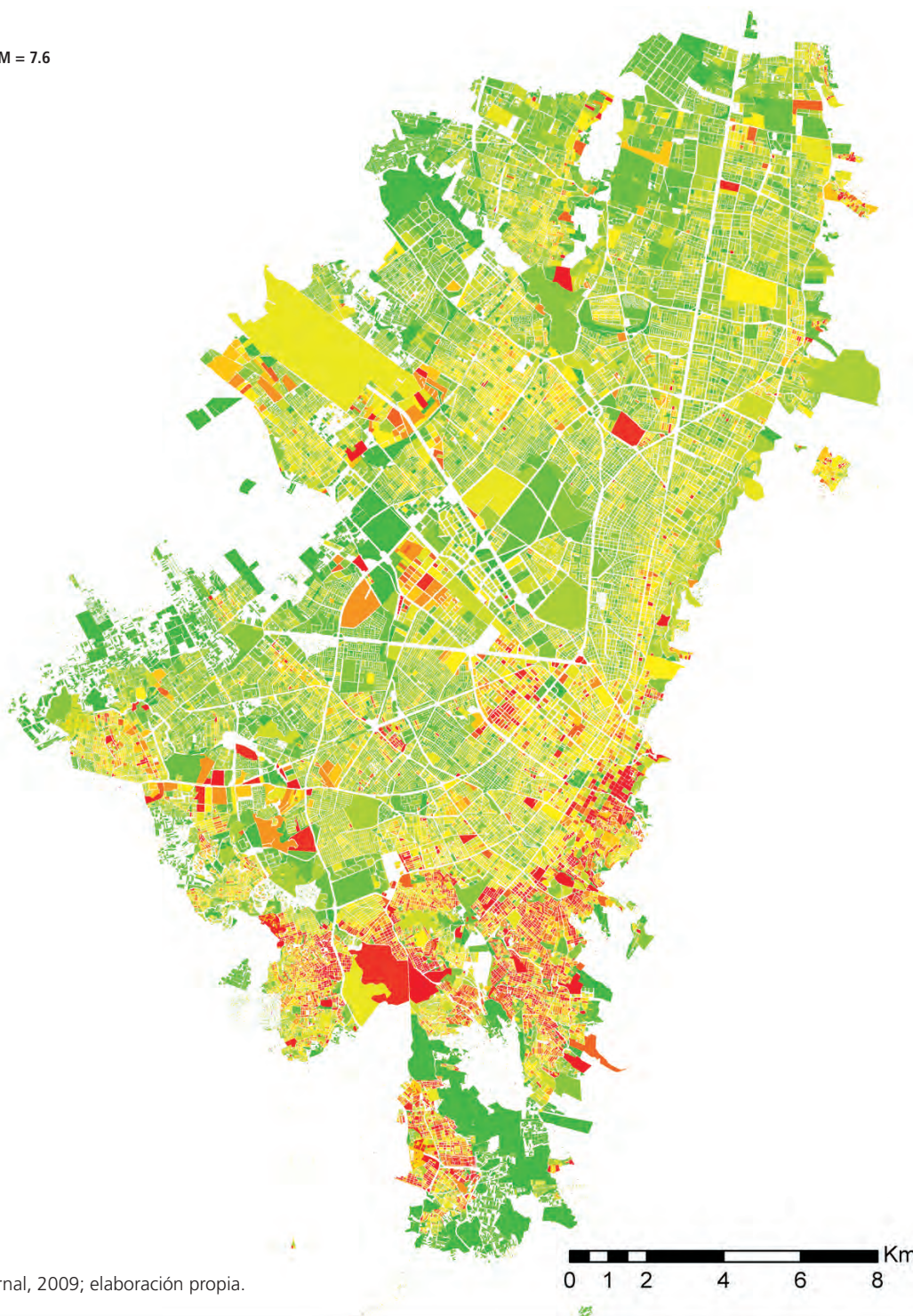
Recuadro 8.2 Bogotá: sistema de cálculo automático para evaluar los daños producidos por un sismo inmediatamente después de su ocurrencia (continuación)

El sistema de estimación inmediata de daños Sisbog-Daño realiza evaluaciones de daño esperado en las edificaciones de la ciudad y presenta resultados por manzanas, como se ilustra en los mapas 8.2.1 a 8.2.3.

Mapa 8.2.3 Mapa ilustrativo de daños estimados para sismo con magnitud $M = 7.6$ que ocurren en la Fuente Frontal de la Cordillera Oriental

ESCENARIO $M = 7.6$

- 0%
- 1% – 5%
- 6% – 10%
- 11% – 15%
- 16% – 20%
- 21% – 25%
- 26% – 30%
- 31% – 35%
- 36% – 40%
- 41% – 45%
- 46% – 50%
- > 50%



Fuente: Bernal, 2009; elaboración propia.

Referencias bibliográficas

- Alcaldía de Manizales. 2002. *Microzonificación sísmica de la ciudad de Manizales*. Manizales: Alcaldía de Manizales y Universidad de los Andes.
- Bernal, G. 2009. *Sistema de estimación inmediata del daño posterremoto para la ciudad de Bogotá*. Maestría. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Bernal, G.; Tristanchó, J.; Yamin, L.; Cardona, O. D.; Ordaz, M.; Arámbula, S.; Mora, M. 2009. *Sistema automático de evaluación de daño posterremoto de ciudades: los casos de Manizales y Bogotá*. Presentado en el IV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Pereira.
- Corporación del Valle del Cauca (CVC). 2005. *Microzonificación sísmica y estudios generales de riesgo sísmico para las ciudades de Palmira, Tuluá y Buga*. Bogotá: CVC y Universidad de los Andes.
- Dirección de Prevención y Atención de Emergencias (DPAE). 2005. *Escenarios de riesgo y pérdidas por terremoto para Bogotá D. C.* Bogotá: DPAE y Universidad de los Andes.
- Dirección de Prevención y Atención de Emergencias (DPAE). 2006. *Actualización de la microzonificación sísmica de Bogotá*. Bogotá: DPAE y Universidad de los Andes.
- Dirección de Prevención y Atención de Emergencias (DPAE). 2007. *Plan de Emergencias de Bogotá*. Bogotá: DPAE.
- Dirección de Prevención y Atención de Emergencias (DPAE). s. f. *Experiencia de implementación del Sistema de Alerta Temprana frente a inundaciones en Bogotá D. C.* Bogotá: DPAE.
- Instituto de Estudios Ambientales (IDEA). 2008. *Sistema de Información Sísmica de Manizales-Laboratorio de Instrumentación Sísmica Automática (Sisman-LISA)*. Manizales: Alcaldía de Manizales, Ompad, Universidad Nacional.
- Ordaz, M. 2006. *Sistema automático de publicación de Shakemaps. Coordinación de instrumentación sísmica*. Ciudad de México: Instituto de Ingeniería, UNAM.
- Secretaría Distrital de Hacienda (SDH). 2006. *Estimación de pérdidas económicas para diferentes escenarios de riesgo en edificaciones públicas y privadas en Bogotá y análisis económico del riesgo residual en el Distrito Capital de Bogotá*. Bogotá: SDH, Fonade, MAVDT, Banco Mundial y Consorcio ODC-Ingeniar-ITEC.
- Universidad de los Andes e Ingeominas. 1997. *Microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá*. Bogotá: Universidad de los Andes e Ingeominas.
- Yamin, L.; Cardona, O. D.; Gallego, M.; Phillips, C.; Arámbula, S. 2004. *Recent Advances in Seismic Microzonation Studies in Colombia: The Manizales City Case*. Presented at the 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver.
- Yamin, L. 2007. *Modelación del riesgo desde la perspectiva de los desastres. Riesgo y desastres. Su gestión municipal en Centroamérica*. Publicaciones especiales sobre el desarrollo 3. Nueva York, NY: Banco Interamericano de Desarrollo (BID).



Capítulo 9

Análisis de exposición fiscal y protección financiera

Coautores

Mabel Cristina Marulanda

*Asistente de investigación, Cimne
Universidad Politécnica de Cataluña*

Miguel Mora

*Asistente de investigación, Cimne
Universidad Politécnica de Cataluña*



La modelación probabilista del riesgo de desastre

La modelación probabilista de riesgo se debe en buena parte a la industria financiera. De hecho, la teoría de la modelación del riesgo fue desarrollada en su mayoría por compañías aseguradoras, que necesitan estimar las pérdidas potenciales de los portafolios de activos asegurados. A pesar de que la aproximación probabilista viene siendo usada en una gran variedad de campos, el sector asegurador continúa siendo una de las áreas de mayor aplicación de este tipo de técnicas. Este sector impulsa el desarrollo de nuevas plataformas de modelamiento, integrando nuevas dimensiones en los análisis, como el impacto del cambio climático en los modelos de análisis de los riesgos hidrometeorológicos.

Hoy en día, estos mismos modelos son cada vez más utilizados para evaluar la exposición financiera de los gobiernos ante fenómenos adversos de la naturaleza. En efecto, varios países han promovido iniciativas de modelación probabilista en los últimos años, para evaluar el impacto potencial de los desastres sobre su balance fiscal y diseñar estrategias de protección financiera. En estas evaluaciones de riesgo, debe considerarse que el Estado, además de proteger sus propios bienes o activos fiscales, debe considerar igualmente las pérdidas que se puedan presentar en los estratos socioeconómicos de menores ingresos, con el fin de controlar el impacto social que puede generar el desastre ante la incapacidad de este segmento de la población para recuperarse.

El simple hecho de poder calcular el riesgo de manera apropiada ha facilitado a los gobiernos integrar la problemática del riesgo de desastre en sus políticas fiscales (Cardona y Marulanda, 2010). De hecho, en distintos países se están desarrollando metodologías para integrar las pérdidas potenciales en los cálculos de pasivos contingentes (recuadro 9.1), algo que no hubiera sido posible diez años atrás.

Claramente, un gran aporte de la modelación probabilista es que permite la comparación de diferentes fuentes de riesgo bajo un marco metodológico común. Como se presentó en capítulos anteriores, la modelación probabilista permite estimar la magnitud de pérdidas potenciales y su tasa de ocurrencia. El método permite comparar el riesgo debido a diferentes amenazas naturales, como sismos, huracanes, inundaciones y otros eventos que correlacionen pérdidas, y el originado por otros factores exógenos, que pueden afectar el balance fiscal de los Estados, como una devaluación de la moneda o el incremento del costo de las materias primas.

Con la capacidad de comparar riesgos de distintas fuentes, los ministerios de hacienda pueden hacer una selección más racional de la destinación de recursos para la reducción de riesgo y la protección financiera.

Perfil de exposición fiscal

Se entiende por perfil de exposición fiscal por desastre la estimación del riesgo en términos de las pérdidas probables resultado de fenómenos naturales adversos. Tal como se describe en el capítulo 2, calcular un perfil de exposición exige contar con un inventario detallado de los activos que pueden verse afectados, como edificaciones, infraestructura, industrias, entre otros, y cuya afectación podría tener impacto sobre las finanzas del Estado. Para cada uno de dichos activos se debe contar con información que permita su identificación y caracterización. La suma de los valores económicos de reposición de todos los activos del portafolio conforma el valor económico total expuesto.

Es importante considerar que se pueden incluir en el concepto de exposición fiscal, no solo las pérdidas potenciales explícitas (derivadas de la obligación legal del Estado), sino también las pérdidas potenciales implícitas (las que el Estado cubriría aunque no están legalmente bajo su responsabilidad). La experiencia ha demostrado que estas pérdidas pueden representar gastos importantes como resultado de un desastre y, por tanto, conviene tomarlas en cuenta cuando se hace la estimación de la exposición financiera y cuando se diseñan las estrategias de protección financiera (recuadro 9.2). El cálculo de las pérdidas implícitas se hace por lo general de manera indirecta, a partir de los resultados de los modelos y la experiencia de pérdidas en emergencias o desastres pasados.

El perfil de exposición fiscal puede visualizarse utilizando las métricas probabilistas habituales, como la pérdida máxima probable para diferentes períodos de retorno o su equivalente curva de excedencia de pérdidas (capítulo 1) (ONU, 2011). De manera adicional, es usual presentar el riesgo financiero mediante una serie de capas sucesivas; las inferiores corresponden a las pérdidas asociadas a eventos frecuentes, mientras que las superiores corresponden a las pérdidas asociadas a eventos de baja probabilidad de ocurrencia y, por tanto, de gran magnitud e impacto (gráfico 9.1). Este concepto de capas de riesgo suele ser útil en el desarrollo de estrategias de protección financiera.

RECUADRO 9.1 El Índice de Déficit por Desastres (IDD)

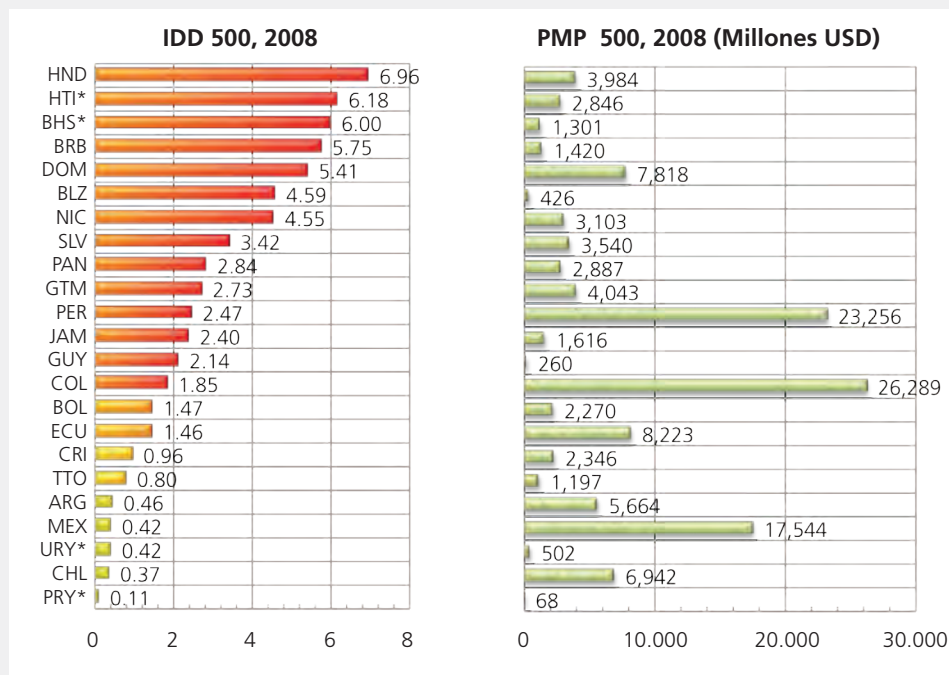
Una forma de dimensionar la exposición fiscal que representan los futuros desastres es obtener el Índice de Déficit por Desastre (IDD) (BID, 2010). Este índice relaciona la pérdida económica máxima que un gobierno podría llegar a sufrir cuando se enfrenta a la ocurrencia de un evento catastrófico y sus implicaciones en términos de los recursos que se requieren para atender la situación.

El IDD corresponde a la relación entre la demanda de fondos económicos o pérdidas económicas contingentes que debe asumir el sector público como resultado de la responsabilidad fiscal por causa de un evento máximo considerado (EMC) y la resiliencia económica (RE) de dicho sector. La responsabilidad fiscal podría ser, por ejemplo, la reposición de los bienes fiscales –como la infraestructura pública– y la reconstrucción de vivienda de la población de más bajos ingresos. El EMC puede ser la pérdida máxima probable (PMP) (capítulo 1) y la RE pueden ser los recursos o fondos a los que el gobierno puede acceder para enfrentar la crisis.

$$IDD = \frac{\text{Pérdida por el EMC}}{\text{Resiliencia económica}}$$

El gráfico 9.1.1 presenta el IDD para un amplio grupo de países de las Américas, calculado para 2008 (excepto los que tienen asterisco, que se han estimado para 2010). En el caso de Colombia, la pérdida máxima probable que caracteriza el EMC corresponde a un terremoto que podría afectar principalmente a la ciudad de Bogotá, donde se concentra la mayor parte de los bienes fiscales que pueden ser afectados en forma simultánea por un evento de gran magnitud. Un desastre de este tipo no solo causaría un notable impacto a la sostenibilidad fiscal de la ciudad sino a la del país, razón por la cual una estrategia financiera y de reducción del riesgo es fundamental tanto para Bogotá como para Colombia.

Gráfico 9.1.1 Índice de Déficit por Desastre y pérdida máxima probable para diferentes países de las Américas (periodo de retorno de 500 años)



Fuente: IADB, 2010

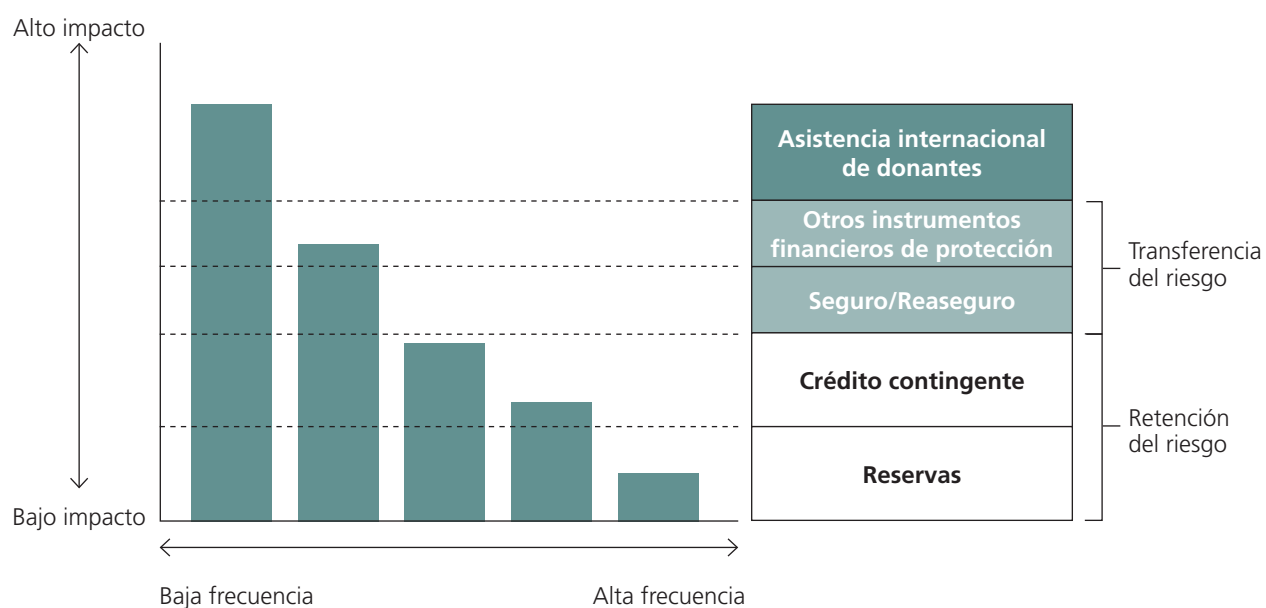
Un IDD mayor que 1.0 significa incapacidad económica del gobierno para hacer frente a desastres extremos, aun cuando aumente al máximo su deuda. A mayor IDD mayor es el déficit. En el caso de Colombia, el IDD es de 1.85 y la pérdida máxima probable, para quinientos años de periodo de retorno, supera los 26.000 millones de dólares. Esta es la pérdida potencial más grande estimada para los países analizados en el marco del programa de indicadores de riesgo y gestión del riesgo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

RECUADRO 9.2 Los desastres como pasivos contingentes del Estado

En términos contables, un pasivo contingente es una obligación posible, cuya existencia puede ser consecuencia, con cierto grado de incertidumbre, de un suceso futuro. El término surge del concepto contable de “pasivo”, que engloba todas las obligaciones que asume una entidad (persona física o jurídica con obligación de llevar libros contables). A este término se le añade el adjetivo “contingente”, que indica que dicha obligación no es segura al cien por ciento pero puede producirse en un futuro previsible. De manera cada vez más frecuente, las leyes de contabilidad nacional obligan a recoger pasivos contingentes a través de provisiones denominadas “provisiones por riesgos y gastos” (es el caso de Colombia, por medio de la Ley 819 de 2003). Esto se hace por el principio de prudencia, tratando de que los libros contables reflejen los riesgos que una empresa está asumiendo.

Desde el punto de vista de los Estados, los desastres naturales son obligaciones futuras cuya existencia depende de la ocurrencia de un suceso futuro. Según esto, y siguiendo las definiciones anteriores, tales desastres deberían considerarse como un pasivo contingente en el balance fiscal de los Estados. Aunque este tema aún no ha sido legislado en ningún país, una intensa reflexión al respecto está en curso. Al utilizar un modelo probabilista se pueden evaluar la magnitud y la tasa de ocurrencia de pérdidas explícitas e implícitas, lo que debería permitir una integración de los eventos naturales adversos en los cálculos de provisión fiscal. Colombia es uno de los países con mayor avance en este tema, con publicaciones recientes como las del Banco Mundial en 2012.

Gráfico 9.1 Ejemplo de estructura en capas de riesgos



Fuente: Ghesquiere y Mahul, 2010.

Estrategia de protección financiera para los gobiernos

Desde la perspectiva de un gobierno, una estrategia de protección financiera debe permitir la movilización rápida de recursos en caso de un desastre mientras protege el balance fiscal. Tal estrategia combina por lo general varias opciones para financiar la recuperación después de la ocurrencia del desastre. Estas opciones, o instrumentos financieros, incluyen desde fondos de reserva, impuestos especiales, créditos contingentes hasta diferentes alternativas de transferencia del riesgo que ofrece el mercado financiero, tales como los seguros paramétricos o los bonos de catástrofe (Ghesquiere y Mahul, 2010).

Cada uno de estos instrumentos tiene ciertas características que deben tenerse en cuenta cuando se diseña una estrategia de protección financiera. Por ejemplo, los fondos de reserva proporcionan recursos que pueden mobilizarse con rapidez después de ocurrido un evento, pero resulta difícil mantenerlos vigentes durante mucho tiempo por la competencia de recursos con otros programas del gobierno. En algunos casos, se crean impuestos especiales para financiar los programas de reconstrucción; sin embargo, además de ser poco popular, este mecanismo puede resultar muy lento para movilizar los recursos requeridos oportunamente.

En este contexto, los créditos, y en particular los créditos contingentes, son una manera efectiva de financiar los programas de reconstrucción, pues permiten distribuir pérdidas importantes a lo largo de varios años. Sin embargo, deben combinarse con políticas de control fiscal en los años favorables. Finalmente, instrumentos financieros como los seguros tradicionales o paramétricos pueden proporcionar recursos inmediatos después de un evento, pero a un costo importante pues necesitan compensar a quien acepta tomar o asumir el riesgo.

En el diseño de una estrategia de protección financiera contra los desastres se deben tener en cuenta dos dimensiones básicas: el costo y el tiempo. Los costos de las diferentes opciones de financiación varían en forma significativa. Por otro lado, los programas de reconstrucción, una vez terminadas las operaciones de rescate, pueden necesitar meses y a veces años de planificación antes de iniciar su implementación. Por ello, no todos los recursos se requieren inmediatamente después de ocurrido el evento. Los recursos para reconstrucción claramente permiten lapsos de tiempo muchos más amplios que los recursos para la atención de la emergencia (Cummings y Mahul, 2008).

Sobre el diseño de estrategias de protección finan-

ciera, Ghesquiere y Mahul (2010) plantean una aproximación de abajo hacia arriba: los recursos menos costosos para los eventos más recurrentes y las capas inferiores del riesgo, e incluir gradualmente recursos más costosos para financiar los eventos menos frecuentes pero más severos. Es necesario advertir que el nivel de protección fiscal contra los desastres, que orienta la selección de la estrategia financiera óptima, es una decisión que deben tomar los gobiernos con base en consideraciones económicas, políticas y sociales. El gráfico 9.2 proporciona una representación gráfica de una posible combinación de instrumentos financieros para proteger el balance fiscal del Estado.

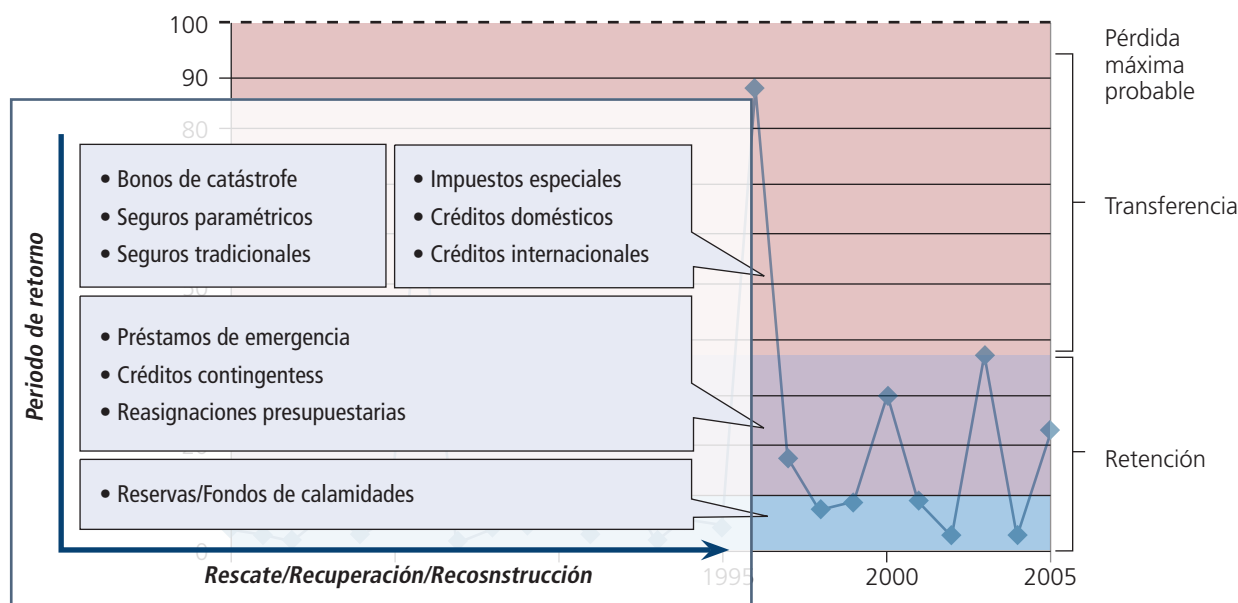
Reducir la exposición financiera del Estado

Los programas de protección financiera permiten contar con instrumentos para enfrentar los riesgos existentes, no susceptibles de mitigación en el corto plazo. Sin embargo, a mediano y largo plazos es posible plantear programas proactivos de reducción y mitigación del riesgo que permitan, en términos generales, reducir de manera gradual la exposición a eventos naturales adversos. La definición y puesta en marcha de estos programas, al igual que las medidas para definir el uso y el ordenamiento territorial, la implantación de normativas de construcción de edificaciones e infraestructura y la preparación de planes de atención de emergencias para minimizar el impacto de los desastres y restablecer el funcionamiento en el menor tiempo posible, son todos procesos que deben ser apoyados por un análisis de riesgo en los términos descritos en el capítulo 1.

Desde el punto de vista puramente financiero es interesante notar que, a pesar de la alta frecuencia con la que las autoridades tienden a enfrentar desastres, muchos países carecen de un marco legal y de políticas sobre el ámbito y los límites de la responsabilidad pública frente a estas situaciones. Este vacío favorece con frecuencia que se presenten demandas de recursos que deben ser facilitados por el Estado, lo que resulta en un aumento paulatino del impacto de los desastres en el balance fiscal.

Esto se presenta, en parte, porque la ausencia de un apropiado marco legal incita a los ciudadanos y al sector privado a no asumir sus responsabilidades en cuanto a la gestión del riesgo. De manera adicional, las intervenciones posdesastre del Estado crean expectativas en la población afectada en subsecuentes desastres, lo que aumenta aún más las obligaciones implícitas del Estado. Hacer claridad acerca de los

Gráfico 9.2 Combinación de instrumentos financieros para cubrir las distintas capas de riesgo



Fuente: Ghesquiere y Mahul, 2010.

límites de la responsabilidad del Estado desde el punto de vista legal e implementar mecanismos de corresponsabilidad por parte del sector privado y los ciudadanos es fundamental para orientar una reducción de las condiciones de riesgo en forma sostenida y reducir las pérdidas implícitas en caso de desastre (DNP, 2005a y 2005b).

Protección financiera a través de seguros y reaseguros

Una de las opciones que tienen los gobiernos para reducir la exposición financiera a los desastres es promover el uso del seguro catastrófico por parte de las entidades descentralizadas y del sector privado, en tanto que ello contribuye a reducir su pasivo contingente implícito. Por ejemplo, es claro que una amplia cobertura de seguro catastrófico en el sector vivienda permitiría reducir las obligaciones del Estado en caso de desastre.

En la medida en que permiten estimar las probabilidades de pérdida (incluida la pérdida anual esperada, o prima pura de riesgo, cuando se normaliza en función del valor de los activos), los modelos de riesgo probabilistas permiten estimar el costo de las primas comerciales cotizadas por las compañías de

seguros. Al considerar que las compañías de seguros le asignan un costo a la incertidumbre, el desarrollo de modelos robustos permite en general asegurar que las primas comerciales queden en un rango equitativo y razonable.

La implementación de un modelo riguroso de análisis de riesgo permite contar con la información fundamental para plantear alternativas de protección financiera. Aspectos como la actualización del inventario de bienes a cargo de la nación, la estimación de la exposición financiera del Estado, la estimación de las pérdidas máximas probables para el portafolio de bienes, el impacto del deducible en los valores de pérdida máxima y pérdida anual esperada y la implementación de opciones de protección financiera son algunas de las posibles aplicaciones. Los recuadros 9.3 a 9.6 presentan algunas de estas aplicaciones en el caso de Bogotá.

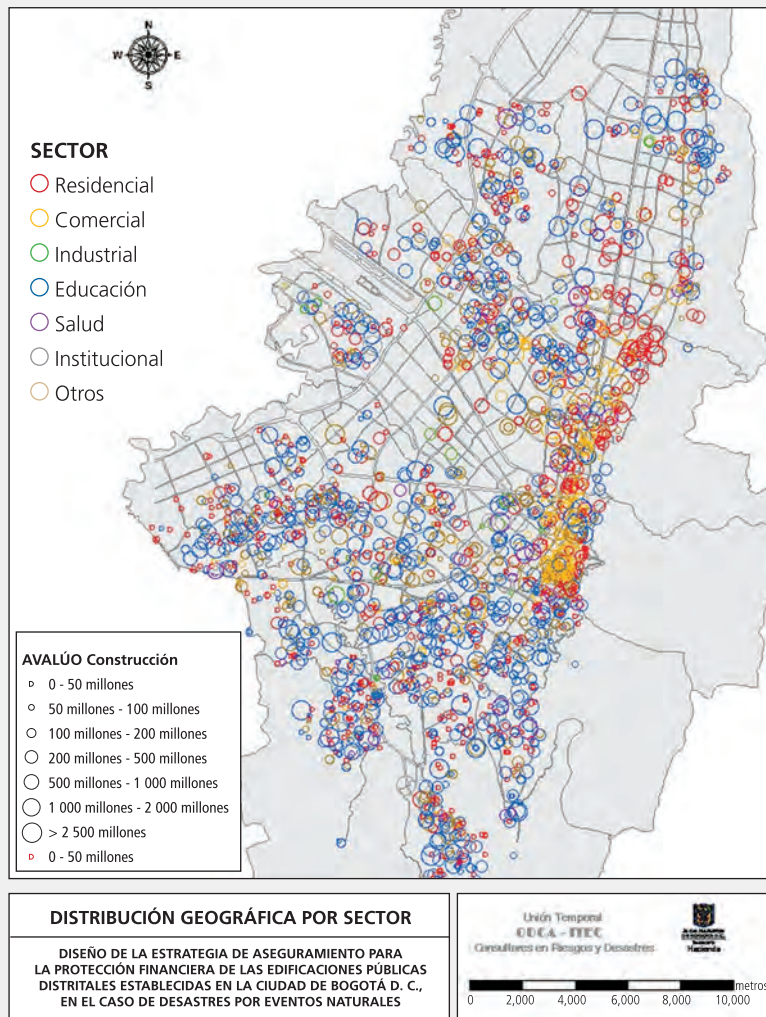
Estrategia de protección financiera contra desastres

Una vez se dispone de la información adecuada en términos de los parámetros relevantes, tales como exposición, primas puras, pérdidas máximas probables, efectos de deducibles y otros, se pueden plantear una

RECUADRO 9.3 Inventario de bienes para evaluar la exposición financiera del Estado en Bogotá

Varios esfuerzos de la administración distrital de Bogotá desde hace varios años han permitido la construcción de modelos de análisis financiero que hoy en día permiten un análisis detallado de la exposición financiera del distrito (SDH, 2006; DNP y Universidad de los Andes, 2005c). Entre otros, un cuidadoso inventario de los bienes fiscales de la ciudad, incluido un avalúo catastral de dichos inmuebles que refleje su valor comercial o al menos el de reposición. Estos esfuerzos han permitido el desarrollo de modelos de análisis probabilísticos detallados que utilizan el valor catastral para evaluar la exposición financiera del distrito frente a eventos naturales adversos, como terremotos o inundaciones. De manera ilustrativa, el mapa 9.3.1 permite visualizar la distribución geográfica de los bienes fiscales de la ciudad y señala el nivel de exposición económica por rangos de valor catastral de dichas edificaciones públicas para los diferentes portafolios considerados en los análisis de riesgo.

Mapa 9.3.1 Mapa de distribución geográfica de la exposición del Distrito Capital

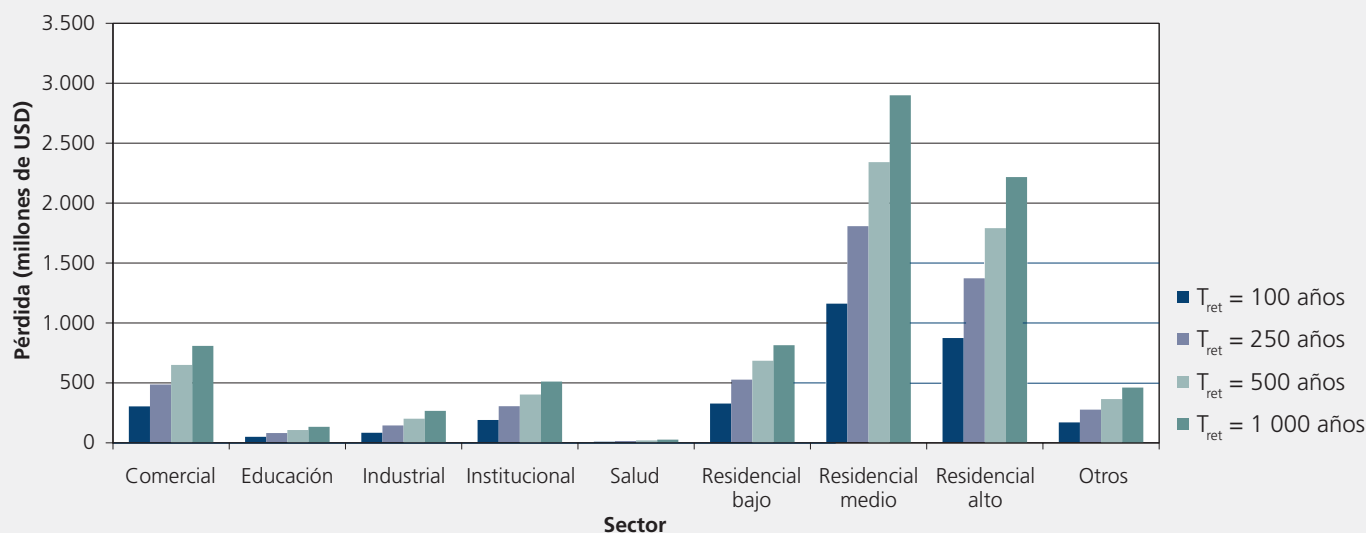


Fuente: SDH, 2006.

RECUADRO 9.4 Estimación de la exposición financiera del Estado en Bogotá

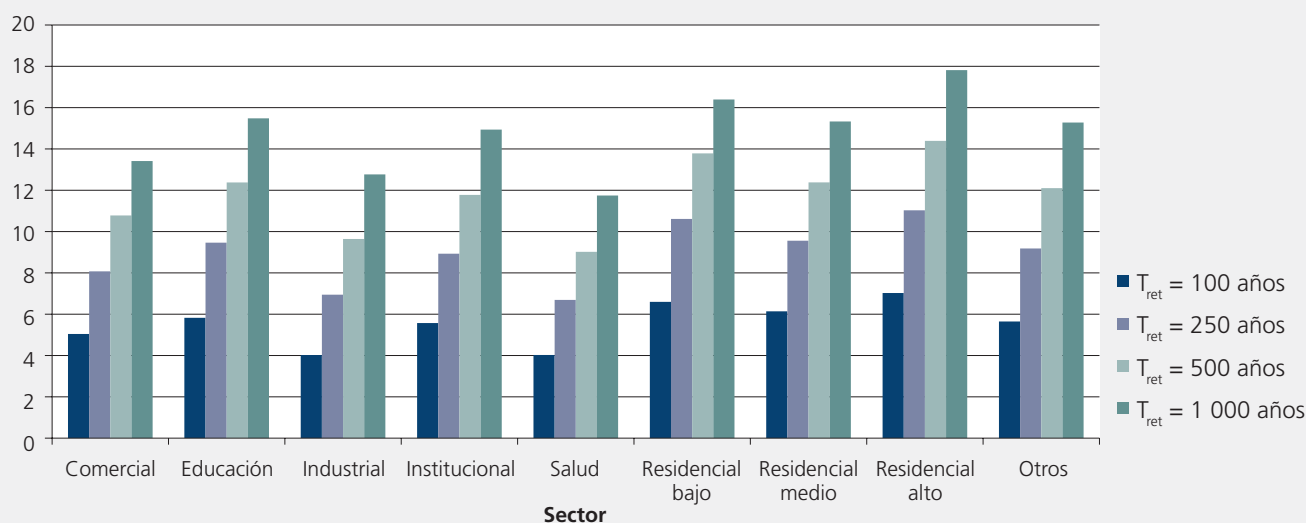
Gracias a la disponibilidad de una base de datos detallada de exposición, el análisis de riesgo de Bogotá se ha extendido tanto a los bienes públicos como a los diferentes grupos de bienes privados, ya que las eventuales pérdidas económicas asociadas en algunos sectores privados (aquellos de menor capacidad económica) formarán parte de la responsabilidad fiscal del distrito. Los gráficos 9.4.1 y 9.4.2 presentan los valores de pérdida económica máxima esperada por terremoto en términos monetarios absolutos y relativos a su valor expuesto para periodos de retorno de 100, 250, 500 y 1.000 años para cada uno de los portafolios de edificaciones de la ciudad, públicos y privados, en diferentes niveles socioeconómicos. Estos análisis se han realizado siguiendo los procedimientos explicados en los capítulos 1 a 3.

Gráfico 9.4.1 Bogotá. Pérdida esperada absoluta para diferentes periodos de retorno para los distintos portafolios de edificaciones



Fuente: Zuloaga et ál., 2012.

Gráfico 9.4.2 Pérdida esperada relativa para diferentes periodos de retorno para los distintos portafolios de edificaciones de la ciudad

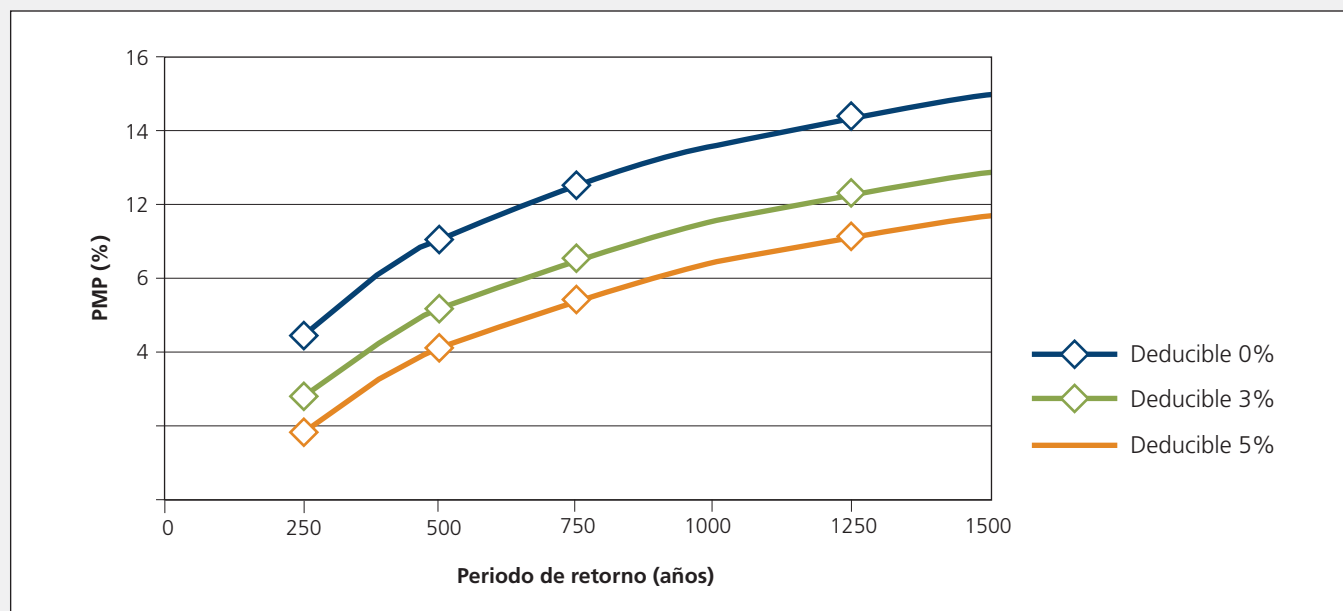


Fuente: Zuloaga et ál., 2012.

RECUADRO 9.5 Curva de pérdidas máximas e impacto del deducible

El análisis para el portafolio de edificaciones públicas permitió, por ejemplo, determinar la curva de pérdida máxima probable (PMP, capítulo 1) para las edificaciones públicas de la ciudad, con diferentes niveles de deducible, tal como lo ilustra el gráfico 9.5.1.

Gráfico 9.5.1 Bogotá: curvas de pérdida máxima probable (PMP) para las edificaciones públicas



Fuente: SDH, 2007a.

RECUADRO 9.6 Bogotá: aplicaciones de la evaluación de la exposición financiera del Estado

El análisis general del riesgo de las edificaciones públicas y privadas de Bogotá (o perfil de exposición) ha permitido proponer varias alternativas de protección financiera para la ciudad, que van desde la expedición de una póliza de seguro única que cubra todas las edificaciones públicas, hasta la propuesta de pólizas colectivas de inmuebles privados, la creación de compañías cautivas para el reaseguramiento y diferentes opciones de bonos de catástrofe factibles desde el punto de vista comercial (SDH, 2006; SDH, 2007a; SDH, 2007b).

Aunque ninguna de estas propuestas ha sido llevada a la práctica hasta la fecha de impresión de esta publicación, los análisis realizados permitieron a la Secretaría de Hacienda mejorar los programas de seguros existentes, a través de negociación informada con las compañías que aseguran la infraestructura principal de la ciudad. Tal es el caso de las empresas de servicios públicos, tales como la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), la Empresa de Energía de Bogotá (EEB) y la Empresa Gas Natural, que distribuye el gas domiciliario y de uso industrial en la ciudad. También permitió a la Secretaría entender mejor la naturaleza de su exposición al riesgo catastrófico y una reflexión intensa sobre la mejor manera de enfrentarla.

o más estrategias de protección financiera. Dichos análisis permiten, entre otros temas, identificar las fuentes potenciales de recursos, las cuantías de aportes de las diferentes fuentes, los requerimientos de liquidez adicionales, la necesidad de recurrir a otras instancias, tales como los gobiernos departamentales

o nacionales, y la coordinación requerida con otras agencias públicas.

Entre las posibles fuentes de financiación se encuentran usualmente los recursos disponibles en caja, los fondos de reservas, los excedentes financieros, los créditos internos, los créditos contingentes catastró-

RECUADRO 9.7 Bogotá: requerimientos de recursos luego de la ocurrencia de eventos catastróficos

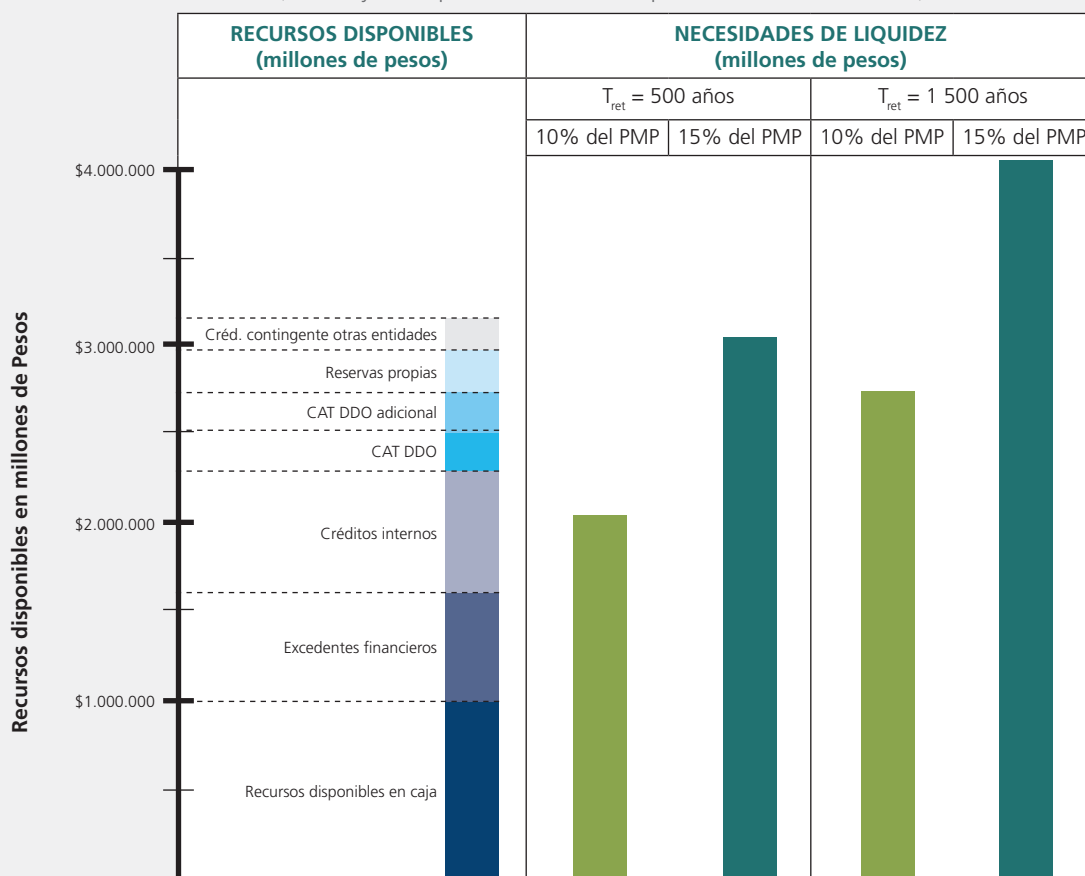
En los últimos años, la ciudad de Bogotá ha utilizado diferentes modelos de evaluación del riesgo para soportar una variedad de estudios tendientes a optimizar su estrategia de protección financiera contra desastres. Estos estudios han permitido, entre otros temas, identificar cómo las fuentes potenciales de recursos podrían cubrir los requerimientos de liquidez. Estos análisis también han demostrado que un evento de gran magnitud tendría el potencial de afectar la economía del país en su totalidad, lo cual implica obviamente que una estrategia de protección financiera de la ciudad debería coordinarse con las autoridades nacionales.

Enseguida se presentan resultados de un análisis tendiente a determinar las opciones que tiene el distrito para financiar operaciones de atención de emergencias y de reconstrucción en caso de un terremoto importante. El análisis pretende establecer las fuentes de recursos a las que se podría acceder en caso de la ocurrencia de un desastre.

En el primer caso (gráfico 9.7.1), el análisis considera la necesidades de liquidez frente a eventos de gran magnitud (se consideran dos tipos de eventos con 500 años y 1.500 años de periodo de retorno), es decir, recursos inmediatos luego de la ocurrencia del desastre, y que se estiman en el presente caso entre el 10 y 15% del valor total de las pérdidas estimadas. Entre los recursos que se podrían acceder en caso de un desastre mayor se incluyen aportes del Distrito Capital por medio de recursos en caja, excedentes financieros y créditos de tesorería, mientras que el excedente tendría que ser cubierto por el gobierno nacional, a través de otras fuentes, como los créditos contingentes (por ejemplo los DPL con CAT DDO del Banco Mundial), fondos de reservas y otras facilidades contingentes (Torres, 2011).

En un segundo caso (gráfico 9.7.2), se analizan las posibles fuentes de recursos de la ciudad para efectos de cubrir las pérdidas totales esperadas en caso de un evento con periodo de retorno de 500 años y otro de de 1 500 años, y para dos escenarios de fuente de recursos: uno conservador y otro optimista (Torres, 2011).

Gráfico 9.7.1 Requerimientos de liquidez del gobierno en caso de desastre en Bogotá para un escenario optimista y otro pesimista (valores y conceptos indicativos solo para efectos de ilustración)



Nota: valores y conceptos indicativos.

Fuente: adaptado de Torres, 2011.

continúa

ficos, las reservas propias adicionales, los traslados presupuestales, el pago de siniestros por terceros, la emisión de nuevos impuestos, las donaciones, los aportes de los gobiernos departamental y nacional, etcétera (Banco Mundial, 2012).

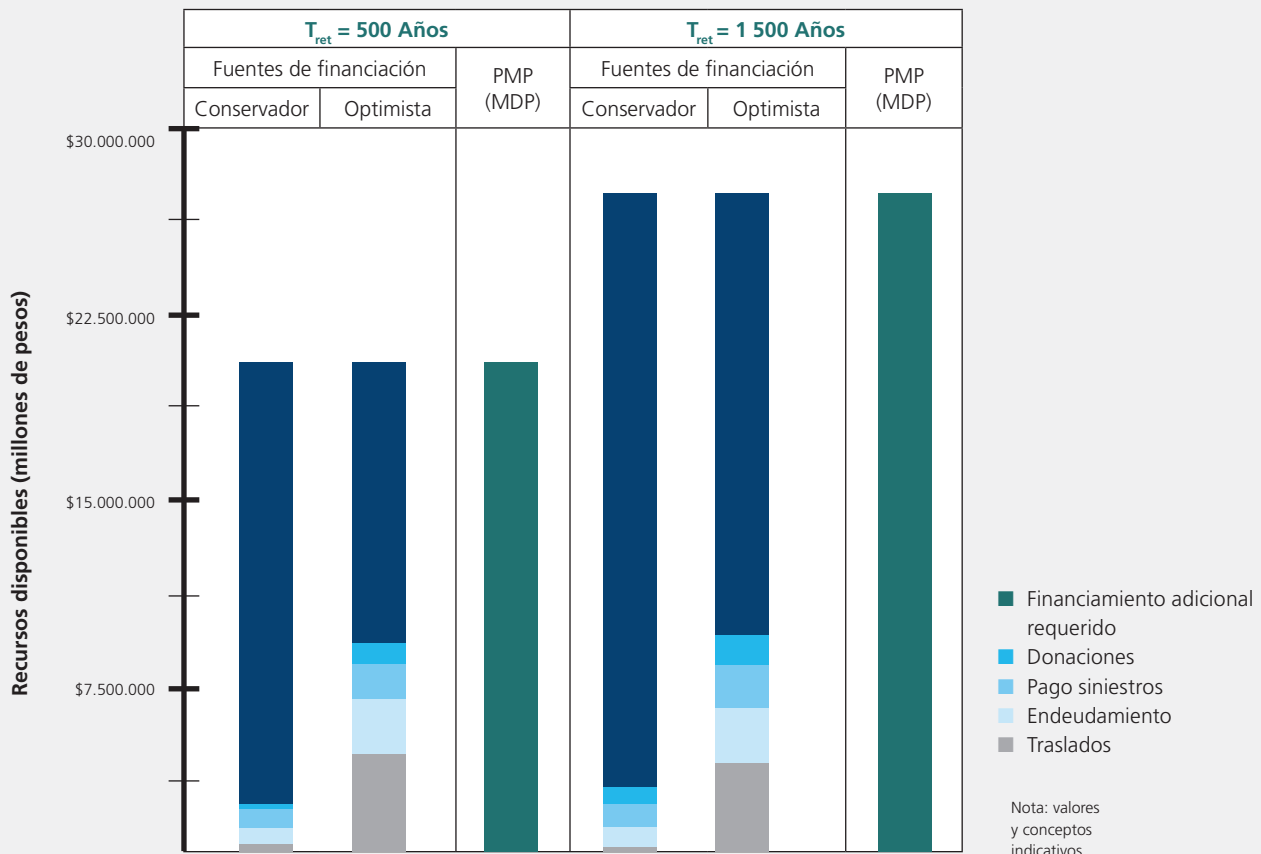
El recuadro 9.7 presenta algunos análisis preliminares realizados para el caso de Bogotá, en relación con las necesidades y fuentes eventuales de liquidez en caso de dos escenarios de análisis (recursos inmediatos requeridos luego de la ocurrencia del evento) y las posibles fuentes de recursos de la ciudad para efectos de cubrir las pérdidas totales esperadas en caso de eventos con periodos de retorno diferentes.

Estudio para el aseguramiento del sector de vivienda privada y protección de los estratos socioeconómicos de bajos ingresos en Bogotá

La ciudad de Manizales, en el centro-occidente de Colombia, dispone de una póliza colectiva de seguros voluntarios para proteger los estratos de población más pobre frente a desastres. Se trata de una alianza en la cual la administración municipal facilita –mediante sus procesos de sistematización de información– el cobro y recaudo de un seguro voluntario de daños por causa de desastres para cada predio de la ciudad y de acuerdo con el valor catas-

RECUADRO 9.7 Requerimientos de recursos luego de la ocurrencia de eventos catastróficos en Bogotá (continuación)

Gráfico 9.7.2 Fuentes de financiación hipotéticas del Distrito Capital para cubrir el PML para escenarios de 500 y 1.500 años de periodo de retorno (valores y conceptos indicativos solo para efectos de ilustración)



Fuente: adaptado de Torres, 2011.

tral del inmueble. El cobro se realiza en la factura del impuesto predial.

El atractivo y beneficio social de este seguro colectivo consiste en que una vez un porcentaje o umbral definido del valor de los predios asegurables del área municipal, es decir, aquellos sujetos a cobro de impuestos, paga la prima correspondiente, la protección del seguro se extiende a aquellos predios que por su valor y estrato social están exentos de dicho gravamen. La posibilidad de cubrir los estratos socioeconómicos más pobres y promover, en general, la cultura del seguro en la ciudad es un objetivo de especial interés de la administración municipal, que se limita al recaudo de las primas. La compañía de

seguros es el organismo que tiene la relación contractual directa con el asegurado y, por tanto, es la instancia que soluciona y tramita las reclamaciones derivadas de la póliza (Marulanda, 2012).

Teniendo en cuenta esta experiencia exitosa de una ciudad intermedia del país, la Secretaría Distrital de Hacienda de Bogotá decidió realizar los estudios correspondientes para explorar la posibilidad de implementar una estrategia similar. El recuadro 9.8 presenta algunos resultados del estudio para el caso de Bogotá.

Las experiencias en el diseño de mecanismos para la retención y transferencia del riesgo en Bogotá per-

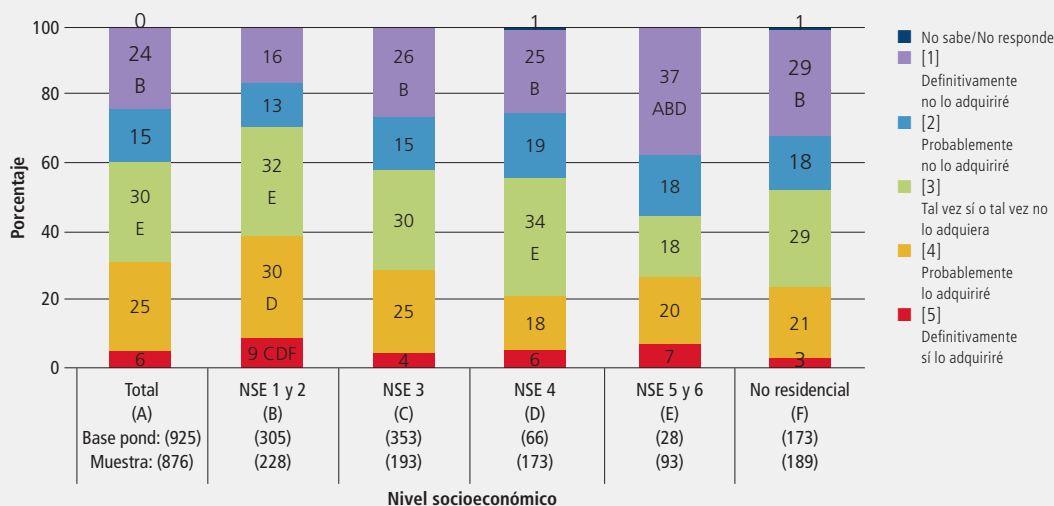
RECUADRO 9.8 Bogotá: posibilidades de aseguramiento de edificaciones privadas

Los estudios de riesgo para las edificaciones privadas de Bogotá indican que, con una participación variable de los diferentes estratos socioeconómicos –desde un 20% en los estratos de capacidad media hasta un 10% en los estratos de alta capacidad económica– se podría negociar con el sector asegurador una prima del orden del 2,0 al 2,2% para todas las edificaciones que se aseguren voluntariamente, de manera que con esta queden cubiertas por compensación y subsidio cruzado los inmuebles privados cuyo valor catastral sea inferior a los 15 millones de pesos (aproximadamente 10.000 dólares). Con este esquema quedarían cubiertos cerca de 11 billones de pesos (aproximadamente 7.300 millones de dólares) y se recaudaría una prima cercana a los 20.000 millones de pesos anuales (aproximadamente 13,3 millones de dólares anuales) (SDH, 2007b).

Por otro lado, también se realizó un estudio de mercado para ver la factibilidad de su implementación en Bogotá. Del estudio de mercado se concluye que, a pesar de las campañas informativas y preventivas realizadas por el Distrito Capital, no prevalece en general una actitud preventiva dominante frente a la posibilidad de perder la vivienda o de sufrir daños, que existe en general poca intención en cambiar de seguro o adquirir uno nuevo y que se requieren campañas de sensibilización para demostrar los beneficios del seguro a los propietarios de activos en todos los estratos socioeconómicos de la ciudad. El gráfico 9.8.1 ilustra algunos de los resultados de dicho estudio.

Gráfico 9.8.1 Distribución porcentual de hogares dispuestos a participar en el programa de aseguramiento colectivo (hogares sin hipoteca vigente y sin seguro)

¿Qué tan interesado está en *adquirir* este nuevo seguro si es ofrecido por el distrito a cargo de un grupo de compañías de seguros que atenderán las reclamaciones individuales?
(Base: quienes no están pagando un crédito hipotecario ni tienen seguro)



Fuente: SDH, 2007b.

miten plantear las siguientes recomendaciones para impulsar la protección financiera del riesgo de desastres en una ciudad (Marulanda et ál., 2008; Cardona, 2009):

- a. Tomar conciencia sobre la importancia de diversificar las medidas de protección financiera en bienes fiscales y en componentes de infraestructura vitales.
- b. Definir la responsabilidad fiscal de la administración de la ciudad, como ente territorial del Estado, para poder definir el escenario de protección financiera.
- c. Realizar evaluaciones de riesgo para cuantificar el pasivo contingente del gobierno.
- d. Desarrollar programas de gestión de activos públicos existentes, que permitan mantener un inventario actualizado, debidamente valorado y con una adecuada calificación de vulnerabilidad, con base en lo cual se puedan cuantificar las necesidades de recursos en atención de emergencias, recuperación y reconstrucción.
- e. Evaluar los parámetros requeridos para plantear un esquema balanceado de retención y transferencia del riesgo y negociar con el sector asegurador-reasegurador contratos de transferencia para los diferentes sistemas, explorando de manera simultánea otros instrumentos diferentes al seguro tradicional.

Promover el aseguramiento de la infraestructura de líneas vitales en Bogotá

La ciudad de Bogotá también ha venido promoviendo los estudios de riesgo de los diferentes componentes de infraestructura que hacen parte de las líneas vitales y los servicios públicos, tales como sistemas de acueducto y alcantarillado (generación, conducción y plantas), generación y transmisión de energía, comunicaciones, transmisión y distribución de gas natural y otros (SDH, 2006).

A partir de los resultados de estos estudios se han diseñado y adaptado los esquemas de protección financiera por riesgos catastróficos, mediante la cuantificación apropiada de las pérdidas futuras y la generación de esquemas de retención y transferencia eficaces tanto para las empresas prestadoras de servicios como para las compañías aseguradoras. La tabla 9.1 resume los parámetros y resultados del análisis de riesgo probabilista que se utilizan en el diseño del esquema de transferencia del riesgo para el sector de líneas vitales.

De manera complementaria, con base en los estudios de riesgo, las empresas prestadoras de servicios han elaborado planes de reducción y mitigación del riesgo (con el reforzamiento o remplazo de componentes críticos del sistema), han priorizado sus inversiones en aquellos componentes que generan el mayor nivel de riesgo, han definido su programa en inversión y

Tabla 9.1 Parámetros utilizados en el diseño de esquemas de transferencia del riesgo en sistemas de líneas vitales

Parámetro o resultado del análisis	Aplicación en el análisis del instrumento de transferencia
Distribución geográfica del riesgo	Concentración del riesgo, requerimientos de diversificación geográfica.
Pérdida máxima probable – PMP	Definición del límite superior de aseguramiento mediante la selección del periodo de retorno.
Prima pura de riesgo – PPR	Base para negociación de la prima comercial.
Componentes de mayor riesgo en el sistema	Posibles exclusiones de la póliza. Bases para los planes de reducción y mitigación del riesgo por parte de las empresas.
Componentes de menor riesgo en el sistema	Posibles componentes cuyo riesgo podría retenerse. Argumentación en la definición de la prima comercial.
Variación de la PPR con el deducible	Negociación del deducible y de la prima comercial correspondiente.
Opciones del valor del deducible	Definición de la capa de riesgo a retener y esquema de financiamiento del riesgo retenido. Fondo de reservas, créditos y otros mecanismos.
PPR para diferentes capas	Posibilidades de subsidios cruzados de la prima entre diferentes capas de riesgo.
Perfil de riesgo de la empresa	Estrategia de gestión del riesgo a corto, mediano y largo plazos.

mantenimiento del sistema con criterios de minimizar el riesgo –y, por tanto, el impacto– y han definido sus planes de atención de emergencias y de contingencias para minimizar el tiempo de interrupción del funcionamiento en caso de desastre.

Las acciones relacionadas con la gestión del riesgo catastrófico de las empresas tienen un impacto definitivo en los términos de negociación de los instrumentos de transferencia del riesgo que se realizan periódicamente (cada año por lo general) con las empresas de seguros y reaseguros. La información de gestión del riesgo con que cuentan las empresas prestadoras de servicios públicos es cada vez más importante para efectos de sus relaciones comercia-

les con los diferentes sectores financieros y de seguros, y se convierte en un área de consideración estratégica para las empresas.

Terminología sobre seguros y esquemas de retención y transferencia del riesgo

Debido a la diversidad de términos y sus variaciones empleados en el sector de seguros, y en general en el análisis de retención y transferencia del riesgo, en el recuadro 9.9 se incluye una versión consolidada de la terminología a emplear para estos propósitos.

RECUADRO 9.9 Terminología sobre seguros y esquemas de retención y transferencia del riesgo

A continuación se presentan algunas definiciones utilizadas en el sector de seguros y en el campo de la retención y transferencia del riesgo.

Activos asegurados: bienes (edificaciones, construcciones, instalaciones o cualquier componente) que hagan parte de una póliza de seguros.

Ambigüedad: en términos de riesgo se refiere a una situación en la cual existe una alta incertidumbre en relación con la probabilidad de ocurrencia de una pérdida específica y su magnitud. Es decir, es cuando el riesgo no está bien especificado.

Attachment point: corresponde al valor acordado a partir del cual se inicia la transferencia de la pérdida de una capa o del total del contrato de transferencia del riesgo. También se conoce como la prioridad.

Cautiva: mecanismo que es usado para facilitar el autoseguro-reaseguro, la financiación o la transferencia del riesgo; una cautiva es usualmente constituida como una compañía de seguros o reaseguros con licencia y puede ser controlada por un solo propietario o varios (patrocinadores).

Capas de riesgo: niveles de pérdidas económicas que generan diferentes opciones de protección.

Cedente: parte que trasfiere, o cede, el riesgo a otra parte, también conocido como el asegurado o beneficiario.

Coaseguro: corresponde a la participación porcentual del asegurado en el riesgo o, expresado en otros términos, se refiere al porcentaje de retención del riesgo por parte del asegurado. También se refiere al sistema en el cual dos o más entidades acuerdan la cobertura de un mismo riesgo, de acuerdo a porcentajes de participación definidos.

Crédito contingente: línea de crédito que se arregla con anterioridad a una pérdida y que se establece cuando uno o varios eventos disparadores ocurren; a diferencia del crédito tradicional esta línea de crédito está definida de tal forma que solo se desembolsa para cubrir las pérdidas que se presentan una vez ha ocurrido un evento definido previamente.

Deducible: es el valor acordado hasta el cual la parte asegurada debe cubrir la primera porción de la pérdida, es decir, hasta la primera prioridad o *attachment point*. Se refiere a un valor expresado en términos porcentuales de la suma asegurada, que se deduce de la pérdida real antes de reconocer una indemnización. Existen también contratos en los que los deducibles se expresan en otras modalidades, como por ejemplo en valores fijos, no porcentuales.

Disparador: circunstancia, umbral o barrera en un contrato de transferencia que determina si un evento se ha presentado. Los disparadores fijos usualmente no impactan el valor del contrato, solo indican si un contrato se debe pagar.

Disparador índice: circunstancia definida en un título o bono vinculado a un contrato de seguros en el cual la suspensión de los intereses o del capital principal ocurre cuando el valor de un índice reconocido de una tercera parte alcanza cierto umbral.

Disparador paramétrico: circunstancia definida en un título o bono vinculado a un contrato de seguros en el cual la suspensión de los intereses o del capital principal ocurre cuando un indicador de daño específico alcanza cierto valor.

continúa

RECUADRO 9.9 Terminología sobre seguros y esquemas de retención y transferencia del riesgo (continuación)

Exhaustion point: corresponde al límite de responsabilidad de una capa de transferencia de pérdidas.

Indemnización: valor que se paga para cubrir las pérdidas reales que ha experimentado un cedente. Implica la cuantificación de dichas pérdidas mediante un proceso de ajuste.

Límite de responsabilidad: corresponde al valor límite que asume la aseguradora o el reasegurador para la cobertura de daños. Puesto que se trata de la pérdida máxima para la institución o sociedad mutualista de seguros, esta cantidad debe ser menor o igual a la suma asegurable.

Pérdida máxima probable (PMP): es un estimador del tamaño de las pérdidas máximas que sería razonable esperar en un portafolio de edificaciones durante la ocurrencia de un evento extremo. Corresponde a la pérdida promedio que ocurriría para un periodo de retorno determinado. Se utiliza como dato fundamental para determinar el tamaño de las reservas que se deben mantener.

Porcentaje de retención: corresponde al porcentaje del riesgo retenido en la cobertura de daños del valor asegurable. Es la capa o el conjunto de capas que asume el interesado de la pérdida potencial antes de transferir.

Portafolio de activos: cartera o conjunto de elementos que hacen parte de la exposición y que son susceptibles de sufrir daño por cuenta de las amenazas consideradas.

Prima blanket: valor único de prima que corresponde a un valor promedio de todas las primas de un portafolio o que expresa que se tiene una valoración promedio del riesgo.

Prima comercial: se denomina también prima bruta o prima de tarifa, y es la que aplica el asegurador a un riesgo determinado y para una cobertura concreta. Está formada, como elemento base, por la prima pura más los recargos para gastos generales de gestión y administración, gastos comerciales o de adquisición, gastos de cobranza de las primas, gastos de liquidación de siniestros más, en su caso, coeficiente de seguridad y beneficio industrial.

Prima pura: también conocida como prima técnica, refleja el valor esperado de la pérdida que se tendría en un año cualquiera, suponiendo que el proceso de ocurrencia de los desastres es estacionario y que a los inmuebles dañados se les restituye inmediatamente después de un desastre. Es el valor de la pérdida anual esperada de la capa de riesgo a transferir que se calcula con modelos de riesgo (capítulo 1).

Rate-On-Line (ROL): se define como la prima sobre el límite de la cobertura de una capa de transferencia de riesgo financiero.

Reaseguro de cuota parte: tipo de reaseguro proporcional, en el cual el reasegurador asume una cuota fija de todas las pólizas que el asegurador ha suscrito en un ramo determinado. Dicha cuota determina la manera en que el asegurador directo y el reasegurador se dividen las primas y los siniestros.

Reaseguro de excedente de sumas: tipo de reaseguro proporcional, en el cual el asegurador directo retiene la totalidad del riesgo hasta un límite máximo de la cuantía asegurada. A partir de ese límite, el reasegurador asume el resto de la cuantía asegurada.

Reaseguro por exceso de pérdida (XL): en este tipo de reaseguro los importes de las pérdidas son los que determinan la proporción de cesión del riesgo. En esta modalidad de reaseguro el asegurador directo se responsabiliza completamente por la pérdida hasta la cuantía que determina la prioridad, independientemente de la cuantía asegurada. Las pérdidas que superan el monto establecido por la prioridad deben ser pagadas por el reasegurador.

Reaseguro proporcional: en este tipo de reaseguro las primas y siniestros se reparten entre el asegurador directo y el reasegurado, en una relación fija.

Reaseguro no proporcional: en este tipo de seguro los siniestros se reparten de acuerdo con las pérdidas que se dan efectivamente. El asegurador directo define una cuantía específica hasta la cual responde por la totalidad de las pérdidas. Esta cuantía es conocida como prioridad o deducible. Cuando las pérdidas superan dicha prioridad el reasegurador debe responder por el pago del resto de estas hasta el respectivo límite de cobertura convenido.

continúa

RECUADRO 9.9 Terminología sobre seguros y esquemas de retención y transferencia del riesgo (continuación)

Retención del riesgo: significa asumir las pérdidas potenciales o tomar el riesgo. Puede ser una estrategia consciente, resultado de un análisis de optimización financiera. El autoseguro es una estrategia de retención que consiste en tomar medidas para el control del riesgo y asumir las pérdidas que se puedan presentar.

Riesgo catastrófico: riesgo asociado a los eventos que producen las pérdidas económicas más grandes posibles y cuya naturaleza extraordinaria hace que su cobertura no esté garantizada en una póliza ordinaria.

Riesgo de base: posibilidad de pérdida como resultado de una imperfecta correspondencia entre el valor de las pérdidas probables y el pago compensatorio previsto; es decir, entre el riesgo subyacente y el valor transferido acordado.

Riesgo moral: se refiere a un incremento de la probabilidad de la pérdida por el comportamiento no preventivo e irresponsable del tomador de un contrato de transferencia de riesgos.

Selección adversa: situación que se presenta cuando no se puede distinguir entre la probabilidad de pérdida para categorías de riesgos buenos (o de baja vulnerabilidad) y malos (o de alta vulnerabilidad).

Transferencia del riesgo: acuerdo o contrato mediante el cual una parte, a cambio de una prima de riesgo, se compromete a tomar el riesgo y pagar a un cedente, durante un periodo de tiempo, las pérdidas que se pueden presentar.

Valor asegurable: corresponde en general al valor de reposición. Para el caso de planes que no sean a primer riesgo, se debe considerar como la suma asegurada establecida en la póliza. En el caso de seguros a primer riesgo, este valor corresponde al valor de los inmuebles.

Fuente: Marulanda, 2012.

Referencias bibliográficas

Banco Mundial, 2012. *Análisis de la gestión de desastres en Colombia. Un aporte para la construcción de políticas públicas*. Washington D. C.: GFDRR.

Cardona, O. D. 2009. *La gestión financiera del riesgo de desastres: instrumentos financieros de retención y transferencia para la Comunidad Andina*. Lima: Pre-decan.

Cardona, O. D.; Marulanda, M. C. 2010. *Mecanismos financieros, seguro y reaseguro contra desastres naturales en América Latina y el Caribe: experiencias recientes*. Caracas: SELA.

Cummins, D.; Mahul, O. 2008. *Catastrophe Risk Financing in Developing Countries: Principle for Public Intervention*. Washington D. C.: Banco Mundial.

Departamento Nacional de Planeación (DNP). 2005a. *Apoyo a la formulación y estructuración del programa de reducción de la vulnerabilidad del Estado frente a desastres naturales*. Bogotá: DNP.

Departamento Nacional de Planeación (DNP). 2005b. *Definición de la responsabilidad del Estado, su exposición ante desastres naturales y diseño de mecanismos para la cobertura de los riesgos residuales del Estado, Informes preparados para el Departamento Nacional de Planeación (DNP), Agencia Colom-*

biana Cooperación Internacional (ACCI) y el Banco Mundial. Bogotá: Evaluación de Riesgos Naturales ERN-AL.

Departamento Nacional de Planeación (DNP), Agencia Colombiana de Cooperación Internacional (ACCI), Banco Mundial. 2005c. *Estrategia de transferencia, retención y mitigación del riesgo sísmico en edificaciones indispensables y de atención a la comunidad del Distrito Capital de Bogotá*. Consultoría. Bogotá: Cederi-Universidad de los Andes.

Ghesquiere, F.; Mahul O. 2010. *Financial Protection of the State Against Natural Disasters: A Primer*. World Bank Research Working Paper 5429. Washington D. C.: Banco Mundial.

Inter-American Development Bank (IADB). 2010. *Aplicación del sistema de indicadores del riesgo y gestión del riesgo 2010. Informe resumido*. Washington D. C.: ERN-AL.

Marulanda, M.; Cardona, O.; Ordaz, M.; Barbat, A. 2008. *La gestión financiera del riesgo desde la perspectiva de los desastres: evaluación de la exposición fiscal del Estado y alternativas de instrumentos financieros de retención y transferencias del riesgo*. Monografías de Ingeniería Sísmica. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña (UPC).

Marulanda, M. 2012. *Modelación probabilista de las pérdidas económicas por sismo para la estimación de la vulnerabilidad fiscal del Estado y la gestión financiera del riesgo soberano*. Tesis doctoral. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña (UPC).

Organización de las Naciones Unidas (ONU). 2011. *Modelación probabilista del riesgo de desastres a nivel global: La curva híbrida de excedencia de pérdidas. Fase 1A: Colombia, México, Nepal. Documento informativo preparado para el Informe de evaluación global sobre la reducción del riesgo de desastres GAR 2011*. Ginebra: EIRD-ONU, ERN-AL

Secretaría Distrital de Hacienda (SDH). 2006. *Estimación de pérdidas económicas para diferentes escenarios de riesgo en edificaciones públicas y privadas en Bogotá y análisis económico del riesgo residual en el Distrito Capital de Bogotá*. Bogotá: SDH, Fonade, MAVDT, Banco Mundial y Consorcio ODC-Ingeniar-ITEC.

Secretaría de Hacienda Distrital (SDH). 2007a. *Propuesta de estrategia de aseguramiento de largo plazo*

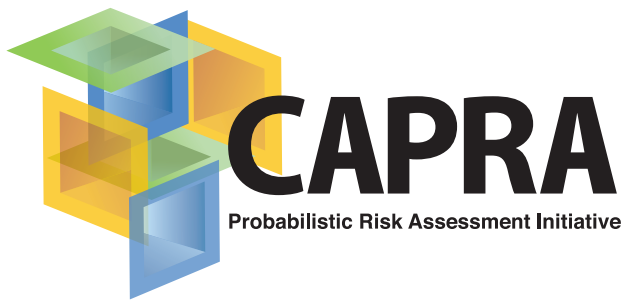
de las edificaciones públicas distritales de la ciudad de Bogotá D. C., ante la ocurrencia de desastres naturales. Bogotá: ODCA-Ingeniar-ITEC (Unión Temporal)

Secretaría de Hacienda Distrital (SDH). 2007b. *Propuesta de estrategia de aseguramiento masivo de edificaciones privadas localizadas en la ciudad de Bogotá D. C., ante la ocurrencia de desastres naturales*. Bogotá: ODCA-Ingeniar-ITEC.

Torres, A. M., 2011. *Análisis de la gestión del riesgo en Colombia: consultas con relación al análisis de la estrategia financiera para realizar la gestión de administración del riesgo de desastres con el fin de disminuir la vulnerabilidad fiscal del Estado*. Bogotá.

Zuloaga, D.; Salgado, M.; Cardona, O. D.; Yamin, L. 2012. *Implications on Seismic Risk Assessment for Bogotá as a Result of the Consideration of a New Seismic-Tectonic Source Interpretation for Colombia*. Bogotá: Universidad de los Andes.





Iniciativa CAPRA: Evaluación Probabilista del Riesgo de Desastres

La primera etapa de CAPRA se inició en enero de 2008 como una alianza entre el Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (Cepredenac), la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (ISDR) de las Naciones Unidas, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Grupo de Gestión del Riesgo de Desastres del Banco Mundial para América Latina y el Caribe. En esta fase se desarrollaron los módulos de software que integran la actual plataforma CAPRA (*Probabilistic Risk Assessment*).

CAPRA es una herramienta modular, de libre uso, gratuita y de código abierto que sirve para evaluar riesgos relacionados con múltiples amenazas. Es una plataforma de cálculo de riesgo que integra las bases de datos sobre elementos expuestos y sus funciones de vulnerabilidad física empleando un método probabilista. CAPRA evalúa el riesgo en términos de daños físicos y realiza un cálculo aproximado de las pérdidas económicas y humanas directas asociadas a los daños que se pueden presentar. CAPRA utiliza un módulo de visualización con su Sistema de Información Geográfica para facilitar el cálculo del riesgo de



desastres derivado de terremotos, tsunamis, huracanes, inundaciones, deslizamientos y volcanes. De igual forma, la plataforma utiliza un enfoque multiamenaza que permite a los usuarios determinar el riesgo acumulado, resultado de considerar más de una amenaza y analiza varias clases de parámetros de intensidad para caracterizar tales amenazas. El Consorcio de consultoría Evaluación de Riesgos Naturales-América Latina (ERN-AL), integrado por firmas de Colombia, España y México, desarrolló la plataforma de software CAPRA y ha impartido capacitación en los países beneficiarios. El Fondo Mundial para la Reducción y Recuperación de Desastres (GFDRR, por su sigla en inglés), el Fondo Español para América Latina y el Caribe, el Banco Interamericano de Desarrollo y el Banco Mundial han brindado apoyo financiero para la implementación de esta iniciativa.

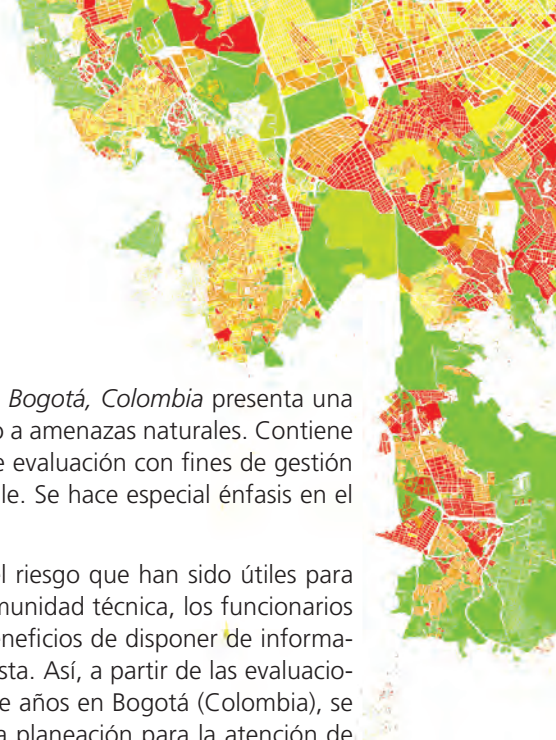
En la segunda etapa se implementaron Proyectos de Asistencia Técnica (TAP, por su sigla en inglés) para el desarrollo de capacidades de gobiernos nacionales y subnacionales, mediante la modelación del riesgo en sitios específicos para atender las necesidades de gestión de di-

ferentes instituciones y gobiernos. Se llevó a cabo un proceso de capacitación y a la vez de generación de información para la definición de políticas de reducción del riesgo. A través de alianzas con instituciones públicas, redes de universidades y asociaciones científicas se promueve una comunidad de expertos y usuarios del CAPRA.

Durante la segunda etapa se implantó el CAPRA en Chile, Costa Rica, Colombia, El Salvador, Panamá y Perú, y en la actualidad se está extendiendo a países del Sur de Asia, como Bangladesh, Bhutan, India, Nepal, Pakistan, Sri Lanka y Tailandia.

La Iniciativa CAPRA cuenta con un portal de conocimiento (www.ecapra.org) donde se pueden encontrar los módulos de software, tutoriales para su uso y aprendizaje y ejemplos de su utilización en diversos países de América Latina y el Sur de Asia. El portal cuenta con una comunidad de expertos en evaluación probabilista del riesgo y se pueden consultar y visualizar publicaciones y videos relacionados con el tema.





El libro *Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre. El caso de Bogotá, Colombia* presenta una descripción resumida de la modelación probabilista del riesgo de desastre asociado a amenazas naturales. Contiene tanto las bases conceptuales como el uso de los resultados de diferentes casos de evaluación con fines de gestión del riesgo en el marco de la planificación socioeconómica y el desarrollo sostenible. Se hace especial énfasis en el caso sísmico y el riesgo que se deriva de inundaciones y deslizamientos urbanos.

El objetivo de esta publicación es ilustrar una serie de casos reales de análisis del riesgo que han sido útiles para implementar acciones de gestión del riesgo de desastres, con el fin de que la comunidad técnica, los funcionarios públicos y los tomadores de decisiones relacionados con el tema conozcan los beneficios de disponer de información relevante y apropiada de evaluación del riesgo desde la perspectiva probabilista. Así, a partir de las evaluaciones de riesgo basadas en ejemplos reales desarrollados durante los últimos quince años en Bogotá (Colombia), se pueden proponer alternativas óptimas de prevención y mitigación, una adecuada planeación para la atención de emergencias y el análisis de alternativas de retención y transferencia de riesgo con fines de protección financiera.

Finalmente, se espera que esta publicación contribuya a incentivar el uso de estas metodologías de evaluación en los países en desarrollo, con miras a generar una mayor conciencia del riesgo de desastres, teniendo como base una orientación técnico-científica que permita la valoración detallada de las amenazas, la vulnerabilidad y sus posibles consecuencias.



Global Facility for Disaster Reduction and Recovery

1818 H Street, NW
Washington, D. C. 20433, USA
Telephone: 202-458-0268
Facsimile: 202-522-3227
Web site: www.gfdrr.org

ISBN 978-958-695-840-0

