



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE CATALUÑA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DEL TERRENO,
CARTOGRÁFICA Y GEOFÍSICA



TESIS DOCTORAL

**EVALUACIÓN HOLÍSTICA DEL RIESGO SÍSMICO
EN ZONAS URBANAS Y ESTRATEGIAS PARA SU
MITIGACIÓN. APLICACIÓN A LA CIUDAD DE
MÉRIDA-VENEZUELA**

Programa de Doctorado
Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural

Autora:
Nayive Jaramillo Santana

Directoras:
Dra. Martha Liliana Carreño Tibaduiza
Dra. M^a Nieves Lantada Zarzosa

Mayo, 2014



Curso académico: 2013-2014

Acta de calificación de tesis doctoral

Nombre y apellidos
 Nayive Jaramillo Santana

Programa de doctorado
 Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural

Unidad estructural responsable del programa
 708 - Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica

Resolución del Tribunal

Reunido el Tribunal designado a tal efecto, el doctorando / la doctoranda expone el tema de la su tesis doctoral titulada ***Evaluación holística del riesgo sísmico en zonas urbanas y estrategias para su mitigación. Aplicación a la ciudad de Mérida-Venezuela.***

Acabada la lectura y después de dar respuesta a las cuestiones formuladas por los miembros titulares del tribunal, éste otorga la calificación:

NO APTO APROBADO NOTABLE SOBRESALIENTE

(Nombre, apellidos y firma)		(Nombre, apellidos y firma)	
Presidente/a		Secretario/a	
(Nombre, apellidos y firma)	(Nombre, apellidos y firma)	(Nombre, apellidos y firma)	(Nombre, apellidos y firma)
Vocal	Vocal	Vocal	Vocal

_____, _____ de _____ de _____

El resultado del escrutinio de los votos emitidos por los miembros titulares del tribunal, efectuado por la Escuela de Doctorado, a instancia de la Comisión de Doctorado de la UPC, otorga la MENCIÓN CUM LAUDE:

SÍ NO

(Nombre, apellidos y firma)		(Nombre, apellidos y firma)	
Presidente de la Comisión Permanente de la Escuela de Doctorado		Secretaria de la Comisión Permanente de la Escuela de Doctorado	

Barcelona a _____ de _____ de _____

*A mis padres Ana Nidian Santana y Mauricio Jaramillo
por su amor, apoyo incondicional, bendiciones, ser fuente de refugio e
inspiración, y sobre todo por estar aún conmigo!*

A mis hermanos: Johana, David y Yambram

A mis amadas sobrinas Katiuska y Amaranta

*Ustedes fueron y siguen siendo el motor de continuar. Son a quienes dedico esta
tesis con anhelo y espíritu de superación, espero que sean futuros profesionales
de y para Venezuela.*

Los amo!

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a mis dos directoras de tesis, las Doctoras Martha Liliana Carreño Tibaduiza y M^a Nieves Lantada Zarzosa, por su profesionalismo, capacidad de transmitir el conocimiento, apoyo, confianza en mí, paciencia y dedicación invaluable para el desarrollo de esta tesis doctoral. Y cómo se dice en la ciudad de Mérida-Venezuela: “*Dios les pague*”.

De igual forma, quiero expresar mis agradecimientos a quienes en mis inicios me respaldaron tangiblemente ante la propuesta de este proyecto de superación académica y personal:

- Agradezco al departamento de Ciencias Aplicadas y Humanísticas, de la Escuela Básica de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de Los Andes (ULA), Mérida-Venezuela, por su valioso apoyo institucional y tramitación del apoyo económico.
- Al Doctor Lluís Pujades Beneit y al Doctor Alex Barbat por su valioso apoyo institucional y articulación con este proyecto de investigación.
- Al Doctor Argimiro Castillo Gandica por su colaboración amable y desinteresada de suministro de las bases de datos de la ciudad de Mérida-Venezuela, las cuales fueron punto de partida fundamental para llevar a cabo esta investigación.

- Al gran *Maestro William Lobo Quintero*, que donde quiera que se encuentre sepa que siempre lo tendré presente, por ser un gran ejemplo a seguir, persona íntegra, moral, ética, profesional, dedicada y sobre todo amante de la ciudad de Mérida.

Por otra parte, deseo agradecer a personas que me impulsaron, de una u otra manera al desarrollo de las actividades necesarias para terminar la tesis doctoral, por ello les manifiesto mi agradecimiento:

- A los profesores e investigadores: Joaquín Alejandro Linayo Rivero, Carlos A. Sánchez, Carlos Ferrer, Jorge Carrero, Jaime Laffaille y Pedro Rivero, por su generosidad y apoyo en el suministro de información de la ciudad de Mérida-Venezuela, a través de los diferentes instrumentos esenciales de esta investigación.
- Al Doctor Juan Carlos López y a la Profesora Gisela Bastidas, por su sincera amistad, y contribución en el mejoramiento del manuscrito de esta tesis.
- A mis amigos y compañeros de despacho: el turco Utku Yasgan, el argentino Joaquín Liudat, el Catalán David Abadías, por su compañía en la Universidad Politécnica de Cataluña, el apoyo, los buenos momentos y voces de ánimo durante mi estancia en Barcelona-España.
- A mis amigas y amigos Nelly Mejía, Olga Vélez, Eunice Barrueta, Adriana Quero, Jennifer Gutiérrez, Juan Carlos Dávila, Alberto Vélez, Helbert González y Erick Muños, por su lealtad, constante compañía a pesar de la distancia física, y por ser fuentes motoras para la creatividad en las dificultades y en la celebración de triunfos.
- A la residencia Xaveriana, por ser mi hogar y refugio mientras viví en Barcelona, por permitirme conocer personas hermosas, que me dieron su mejor alegría en los momentos difíciles, y que con el pasar del tiempo siguieron apoyándome para culminar esta meta, y ellas son: las bellas xaverianas: Emilia, Conchi, Herena, María Dolores; las amigas de Colombia: Ximena Lozano y Luz Helena Bermúdez; las amigas chilenas: Alicia Zamorano y Evelyn Saavedra y la amiga polaca: Joanna Nowak.

Mérida, 09 de abril de 2014.

Nayive Jaramillo Santana.

Gràcies a Tots!

RESUMEN

Por lo general, el riesgo debido a las amenazas naturales suele valorarse en términos físicos estimando las pérdidas que podrían ocurrir. Sin embargo, al incorporar en la evaluación del riesgo aspectos como: la ausencia de desarrollo económico y social, las deficiencias en la gestión institucional, y la falta de capacidad para la respuesta y recuperación de una sociedad en caso de que un evento peligroso ocurra, se estaría evaluando el riesgo sísmico de manera integral u holística, es decir, incluyendo términos físicos y las características del contexto social.

En esta investigación se desarrollaron tres metodologías relacionadas con la evaluación y gestión del riesgo en zonas urbanas, concretamente para:

1) La evaluación numérica del riesgo sísmico desde una perspectiva holística, basada en los conjuntos difusos, que resultó de mejorar las metodologías precedentes. Dicha metodología permite evaluar de forma estandarizada la fragilidad social y la falta de resiliencia, mediante el coeficiente de agravamiento (F), el cual requiere de una serie indicadores sociales predominantes. La metodología permite aplicaciones con diferente nivel de detalle, según la cantidad de información disponible de la zona urbana.

2) La evaluación lingüística del riesgo físico multiamenaza, denominada MHARLA, por sus siglas en inglés *Multi-Hazard Risk Linguistic Assessment*, aplicable a un máximo de tres amenazas naturales. Esta se fundamenta en la lógica difusa y se apoya en información de un panel de expertos en riesgos naturales.

3) Proponer planes de acción que ayuden a los actores sociales encargados en la toma de decisiones en la gestión de riesgo, a formular estrategias para disminuir el riesgo sísmico holístico o total basándose en un Análisis Morfológico (AM).

Para mostrar la aplicación de las metodologías, se evaluó para la ciudad de Mérida, Venezuela, su riesgo total sísmico y el riesgo físico multiamenaza, y se definieron las estrategias a seguir para su mitigación. Adicionalmente se aplicó la primera metodología a la ciudad de Barcelona, España.

La evaluación numérica del Riesgo Físico sísmico (RF) en la ciudad de Mérida, Venezuela, resultó en promedio un nivel *Bajo* para la intensidad de VIII y un nivel *Alto* para la intensidad

de IX. El índice *RF* de la ciudad de Barcelona-España resultó en promedio un nivel *Muy Bajo* para la intensidad de VI y un nivel *Bajo* para el caso de intensidad VII.

El contexto social de la ciudad de Mérida generó un incremento de un grado mayor en el nivel de riesgo total sísmico respecto al nivel de riesgo físico sísmico (*RF*). Siendo el riesgo total sísmico en promedio nivel *Medio* y nivel *Muy Alto* para las intensidades de VIII y IX, respectivamente.

La ciudad de Barcelona, España, en promedio presentó un nivel de agravamiento *medio*, similar al de la ciudad de Mérida, Venezuela. Sin embargo, en este caso la influencia del contexto social por distrito en la ciudad de Barcelona fue baja, ya que en la mayoría de los distritos se mantuvo el mismo nivel de riesgo para los índices de riesgo físico sísmico y riesgo total sísmico.

En la ciudad de Mérida, Venezuela, se estimó con la metodología MHARLA el riesgo físico considerando simultáneamente dos amenazas: sísmica y movimientos en masa. La comparación entre las evaluaciones lingüística (a través de MHARLA) y numérica (para intensidad IX) obtenidas para el riesgo físico sísmico en la ciudad de Mérida, Venezuela, permitió en cierto modo validar la metodología lingüística para el caso particular de amenaza sísmica, ya que los resultados obtenidos presentaron niveles de riesgo muy similares.

Las metodologías propuestas y los resultados obtenidos en este trabajo son útiles para establecer en cualquier zona urbana sus posibles riesgos desde una perspectiva tanto física como holística, debido a la amenaza sísmica, y el riesgo físico multiamenaza, para luego establecer acciones que permitan ayudar a los programas de mitigación del riesgo.

Palabras clave: *Riesgo sísmico urbano, vulnerabilidad social, fragilidad social, falta de resiliencia, riesgo multiamenaza, indicadores sociales, evaluación holística del riesgo sísmico, reducción del riesgo.*

ABSTRACT

The risk coming from natural hazards is usually assessed in physical terms by estimating the losses they may cause. Nevertheless, the risk assessment can involve such aspects as the lack of economic and social development, management deficiencies and inability of the society to respond and recover in case of a hazard event.

The present research evaluates the seismic risk in a comprehensive or holistic way, namely, including the physical terms and characteristics of a social context. Specifically three methodologies are developed with regards to the assessment and management of risk in urban areas:

- 1) The numerical assessment of the seismic risk from a holistic perspective, based on fuzzy sets, which resulted from improving prior methodologies. This methodology allows assessing in a standardized manner the social fragility and lack of resilience, by means of the coefficient of aggravation (F), which requires a series of prevailing social indicators. The methodology allows applying it at different detail levels, regarding the amount of information available in the urban area.
- 2) The Multi-Hazard Risk Linguistic Assessment (*MHARLA*), which can be applied to a maximum of three natural hazards. This methodology is based on fuzzy logic and supported by the information provided by experts on natural hazards.
- 3) The proposal of action plans that help social actors responsible for making decisions on risk management to reduce risk. This methodology is based on a holistic evaluation and a Morphological Analysis (*AM*).

In order to show the application of these methodologies, the total seismic risk and multi-hazard physical risk were assessed for the city of Mérida, Venezuela, and their future mitigation strategies were defined. Additionally, the first methodology was applied to the city of Barcelona, Spain.

The numerical evaluation of the Physical Seismic Risk (RF) in the city of Mérida, Venezuela, was on average *Low* and *High* for an intensity of VIII and IX respectively. The RF index of the city of Barcelona, Spain, showed on average *Very Low* for an intensity of VI and *Low* for level VII.

The social context of the city of Mérida led to a greater increase in the total seismic risk level compared to the seismic physical risk level (*RF*). The total seismic risk is on average at a *Medium* and *Very High* level for VIII and IX intensities respectively.

The city of Barcelona, Spain, showed on average a *Medium* level of aggravation, similar to city of Mérida, Venezuela. Nevertheless, in this case the influence of social context by districts in the city of Barcelona was low, as most of the districts maintained the same level of risk for the physical seismic risk and total seismic risk.

The physical risk in the city of Mérida (Venezuela) was estimated using the MHARLA methodology. The following two hazards were simultaneously considered while using MHARLA, namely: seismic and mass movement hazards. The comparison between the linguistic (using MHARLA) and numerical (for an intensity of IX) assessments obtained for the physical seismic risk, allowed validating somewhat the linguistic methodology for the particular case of seismic hazard, since the results showed similar risk levels.

The suggested methodologies, and results obtained in this work, are useful to assess from a physical or holistic perspective the potential risks in any urban area. In addition they can help to establish the actions plans for risk reduction.

Keywords: *Urban seismic risk, social vulnerability, social fragility, lack of resilience, multi-hazard risk, social indicators, holistic assessment of seismic risk, reduced risk.*

RESUM

En general, el risc degut a les amenaces naturals es sol valorar en termes físics tot estimant les pèrdues que podrien ocórrer. No obstant, en incorporar a la avaluació del risc aspectes com ara: l'absència de desenvolupament econòmic i social, les deficiències en la gestió institucional, i la manca de capacitat per respondre i recuperar-se d'una societat en cas que un esdeveniment perillós ocorri, s'estaria avaluant el risc sísmic de manera integral o holística, és a dir, incloent-hi termes físics i les característiques del context social.

En aquesta recerca es van desenvolupar tres metodologies relacionades amb l'avaluació i gestió del risc en zones urbanes, concretament per:

1) L'avaluació numèrica del risc sísmic des d'una perspectiva holística, basada en els conjunts difusos, que va resultar de millorar les metodologies precedents. Aquesta metodologia permet avaluar de forma estandarditzada la fragilitat social i la falta de resiliència, mitjançant el coeficient d'agreuament (F), el qual requereix d'una sèrie d'indicadors socials predominants. La metodologia permet aplicacions amb diferent nivell de detall, segons la quantitat d'informació disponible de la zona urbana.

2) L'avaluació lingüística del risc físic multi-amença, anomenada MHARLA, per les seves sigles en anglès *Multi-Hazard Risk Linguistic Assessment*, aplicable a un màxim de tres amenaces naturals. Aquesta es fonamenta en la lògica difusa i es recolza en l'opinió d'experts en riscos naturals.

3) Proposar plans d'acció que ajudin als actors socials encarregats de la presa de decisions en la gestió del risc, a formular estratègies per disminuir el risc. Es basa en l'avaluació holística del risc i en un Anàlisi Morfològic (AM).

Per mostrar l'aplicació de les metodologies, es va avaluar el risc total sísmic i el risc físic multi-amença per a la ciutat de Mérida (Veneçuela), i es van definir les estratègies a seguir per a la seva mitigació. Addicionalment es va aplicar la primera metodologia a la ciutat de Barcelona, Espanya.

L'avaluació numèrica del Risc Físic sísmic (RF) a la ciutat de Mérida, va resultar de mitjana en un nivell *Baix* per a una intensitat de VIII i en un nivell *Alt* per a una intensitat de IX. L'índex

RF de la ciutat de Barcelona (Espanya) va resultar de mitjana en un nivell *Molt Baix* per a una intensitat de VI i en un nivell *Baix* per a una intensitat de VII.

El context social de la ciutat de Mérida va generar un increment d'un grau major en el nivell de risc total sísmic respecte al nivell de risc físic sísmic (*RF*). Sent el risc sísmic total de mitjana d'un nivell *Mig* i d'un nivell *Molt Alt* per a unes intensitats de VIII i IX, respectivament.

La ciutat de Barcelona va presentar de mitjana un nivell d'agreuament *Mig*, similar al nivell de la ciutat de Mérida. No obstant, en aquest cas la influència del context social per districte a la ciutat de Barcelona va ser baixa, ja que a la majoria dels districtes es va mantenir el mateix nivell de risc pels índexs de risc físic sísmic i risc total sísmic.

A la ciutat de Mérida, Veneçuela, es va estimar el risc físic fent servir la metodologia MHARLA tot considerant simultàniament dues amenaces: l'amenaça sísmica i el lliscament en massa. La comparació entre les avaluacions lingüística (mitjançant el MHARLA) i numèrica (per a una intensitat IX) obtingudes pel risc físic sísmic a la ciutat de Mérida, va permetre en certa manera de validar la metodologia lingüística pel cas particular d'amenaça sísmica, ja que els resultats obtinguts van presentar nivells de risc molt similars.

Les metodologies proposades, i els resultats obtinguts en aquest treball, són útils a l'hora d'avaluar en qualsevol zona urbana els seus possibles riscos des d'una perspectiva tant física com holística; addicionalment, ajudaran a establir accions que permetin mitigar el risc.

Paraules clau: *Risc sísmic urbà, vulnerabilitat social, fragilitat social, manca de resiliència. Risc multi-amenaça, Indicadors socials, avaluació holística del risc sísmic, reducció del risc.*

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos de la investigación	4
1.2 Estructura del documento de tesis.....	5
2. ESTADO DEL ARTE DE LA EVALUACIÓN HOLÍSTICA DEL RIESGO SÍSMICO EN ZONAS URBANAS	7
2.1 Introducción al riesgo sísmico	7
2.2 Evaluación del riesgo sísmico parte física	10
2.2.1 Daño en las edificaciones.....	14
2.2.2 Daño en líneas vitales	17
2.2.3 Estimación de víctimas	20
2.3 Evaluación del riesgo físico debido a multiamenaza.....	22
2.3.1 HAZUS	23
2.3.2 CAPRA	25
2.4 Evaluación del contexto social.....	28
2.4.1 Dimensiones de vulnerabilidad y metodologías para evaluarlas	30
2.4.2 Estambul+5 (2001).....	33
2.4.3 Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM).....	35
2.5 Evaluación holística del riesgo sísmico	36
2.6 Teoría de conjuntos difusos-sistema de inferencia	47
2.6.1 Reglas del tipo Si-Entonces	47

2.6.2	Mecanismo de razonamiento o inferencia propuesto por Mamdani	48
2.7	Metodologías de apoyo en la toma de decisiones	53
2.7.1	Proceso analítico jerárquico	54
2.7.2	Nivel de determinación	55
2.7.3	Análisis morfológico.....	56
3	APORTE METODOLOGICO EN LA EVALUACIÓN HOLÍSTICA DEL RIESGO SÍSMICO EN ZONAS URBANAS	61
3.1	Introducción	61
3.2	Datos requeridos para realizar la evaluación	62
3.3	Formulación del riesgo físico sísmico	63
3.4	Coeficiente de agravamiento.....	70
3.4.1	Proceso de selección de los indicadores de contexto.....	70
3.4.2	Funciones de transformación de indicadores sociales a factores contribuyentes al coeficiente de agravamiento.....	77
3.4.3	Formulación del coeficiente de agravamiento	83
3.5	Formulación del índice de riesgo total sísmico.....	86
4.	EVALUACION LINGÜÍSTICA DEL RIESGO FÍSICO MULTIAMENAZA(MHARLA)	91
4.1	Criterio de evaluación lingüístico del riesgo físico.....	92
4.2	Variables de entrada.....	98
4.3	Adecuaciones correspondientes al mecanismo de inferencia tipo Mamdani.....	99
4.3.1	Reglas del tipo Si-Entonces	100
4.4	Resumen del procedimiento de la metodología MHARLA.....	110
4.5	Ejemplo de aplicación de la metodología MHARLA.....	111
5.	TOMA DE DECISIONES A PARTIR DE UNA EVALUACIÓN HOLÍSTICA DEL RIESGO SÍSMICO	119
5.1	Estrategias que ayudan a reducir el riesgo físico sísmico.....	119
5.2	Estrategias que ayudan a reducir el coeficiente de agravamiento.....	124
6.	APLICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS PROPUESTAS.....	137
6.1	Evaluación holística del riesgo sísmico para Mérida-Venezuela.....	137
6.1.1	Contexto geográfico y geológico	137
6.1.2	Evaluación del riesgo sísmico físico.....	144
6.1.3	Evaluación del contexto social.....	166

6.1.4	Evaluación del riesgo total sísmico.....	174
6.2	Comparación de la evaluación de riesgo sísmico entre Barcelona-España y Mérida-Venezuela	176
6.3	Evaluación del riesgo multiamenaza para la ciudad de Mérida.....	180
6.4	Análisis y discusión de resultados	187
6.5	Estrategias de reducción de riesgo para la ciudad de Mérida	193
7.	CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	199
7.1	Conclusiones relacionadas con las metodologías propuestas	199
7.1.1	Metodología de evaluación del contexto social de una zona urbana.....	199
7.1.2	Metodología de evaluación del riesgo físico multiamenaza	201
7.1.3	Toma de decisiones a partir de la evaluación holística del riesgo sísmico	201
7.2	Conclusiones relacionadas con la aplicación de las metodologías propuestas	203
7.3	Futuras líneas de investigación	205
7.4	Recomendaciones para el caso de estudio	205
	REFERENCIAS	207
	ANEJO A: INDICADORES SOCIALES	
	ANEJO B: EVALUACIÓN LINGÜÍSTICA DEL RIESGO FÍSICO	
	ANEJO C: ESTRATEGIAS PARA MEJORAR EL CONTEXTO SOCIAL DE ZONAS URBANAS	

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

Tabla 2-1: Estados de daño según la escala macrosísmica EMS-98 (Musson et al., 1998; Lantada, 2007).....	15
Tabla 2-2: Relación entre las escalas de daño de los métodos de análisis de riesgo físico (FEMA, 1999; Lantada, 2007; Vacareanu et al., 2004).	18
Tabla 2-3: Parámetros de la función de distribución lognormal (FEMA, 1999).	19
Tabla 2-4: Escala de las comparaciones por pares en el proceso analítico jerárquico, basado de Saaty (1980).....	54
Tabla 2-5: Valores de CI_{random} para diferentes tamaños de matriz (nxn) (Saaty, 1980).....	55
Tabla 2-6: Etapas del proceso iterativo en el análisis morfológico, basado en Ritchey (2011b) y Ritchey Consulting AB. (2003).	60
Tabla 3-1: Límites mínimos y máximos de riesgos para descriptores de riesgo físico sísmico.....	68
Tabla 3-2: Pesos de ponderación (WF_{RFij}) para factores contribuyentes al riesgo físico sísmico (F_{RFij}).	69
Tabla 3-3: Matriz de comparación de pares para los factores contribuyentes del Riesgo Físico Sísmico.	69

Tabla 3-4: Resumen sobre el número de indicadores para cada una de las distintas fuentes más aceptadas mundialmente en el estudio del contexto social.....	71
Tabla 3-5: Indicadores inicialmente seleccionados.....	73
Tabla 3-6: Códigos de los indicadores inicialmente seleccionados.	75
Tabla 3-7: Nivel de determinación (D) para veinte indicadores medidores del contexto social, resultantes de aplicar la metodología del criterio de dependencia.....	76
Tabla 3-8: Indicadores con nivel de determinación positivo.	77
Tabla 3-9: Límites de los rangos de los indicadores y dirección de crecimiento para las funciones de transformacion.	78
Tabla 3-10: Rangos para cada nivel del coeficiente de agravamiento.	84
Tabla 3-11: Matriz de comparación de pares para trece factores contribuyentes al agravamiento pertenecientes a los indicadores más representativos que definen el contexto social (caso general).	84
Tabla 3-12: Pesos de participación de los factores contribuyentes al agravamiento para n= 13 (caso general)	85
Tabla 3-13: Matriz de comparación de pares para las seis categorías que definen el contexto social (caso por categorías).....	85
Tabla 3-14: Pesos de participación de los factores contribuyentes al agravamiento por categoría que definen el contexto social.....	85
Tabla 3-15: Rangos de valores para cada nivel de riesgo (físico- R_{Fi} - y total- R_{total}).....	87
Tabla 3-16: Niveles de riesgo total correspondiente a los niveles de RF y F.	88
Tabla 4-1: Rango de valores numéricos por los descriptores compactos de riesgo físico para una escala lingüística de cinco niveles	95
Tabla 4-2: Valores de riesgo físico correspondientes a transformar porcentajes de riesgo físico con nivel de pertenencia igual a 0.50.	102
Tabla 4-3: Relaciones numéricas aproximadas de equivalencia entre los niveles que definen el riesgo físico.	103
Tabla 4-4: Consecuencias de las reglas del tipo Si-Entonces cuando existen dos tipos de amenazas naturales (H_1 y H_2) actuando en una zona urbana.	105
Tabla 4-5: Consecuencias de las reglas del tipo SI-ENTONCES cuando existen 3 tipos de amenazas (H_1 , H_2 y H_3) actuando en una zona urbana.	108
Tabla 5-1: Modelo morfológico para disminuir el riesgo físico sísmico de una zona urbana.	120

Tabla 5-2: Matriz de consistencia del análisis morfológico para disminuir el riesgo físico sísmico en una zona urbana.....	121
Tabla 5-3: Estrategias que ayudan a disminuir el descriptor Área destruida.....	122
Tabla 5-4: Estrategias que ayudan a disminuir los descriptores de riesgo físico fallecidos. .	123
Tabla 5-5: Estrategias que ayudan a disminuir los descriptores de riesgo físico personas que se quedan sin hogar.....	123
Tabla 5-6: Estrategias que ayudan a disminuir los descriptores de riesgo físico daño en el sistema de agua potable.....	124
Tabla 5-7: Estrategias que constituyen el grupo 1 de identificación del contexto social.....	125
Tabla 5-8: Estrategias que constituyen el grupo 2 de estrategias de capacitación.....	126
Tabla 5-9: Estrategias que constituyen el grupo 3 de estrategias de desarrollo socio-económico.....	126
Tabla 5-10: Estrategias que constituyen el grupo 4 de estrategias de desarrollo físico.....	127
Tabla 5-11: Estrategias que constituyen el grupo 5 de mejora de la gobernabilidad.....	128
Tabla 5-12: Modelo morfológico para disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.....	129
Tabla 5-13: Matriz de consistencia del análisis morfológico para disminuir el coeficiente de agravamiento (F) en una zona urbana.....	131
Tabla 5-14: Estrategias recomendadas para aumentar el indicador F1 con el propósito de disminuir el coeficiente de agravamiento (F) de una zona urbana.....	134
Tabla 6-1: Población del municipio Libertador según el censo 2001 de Venezuela y estimación para el año 2010.....	143
Tabla 6-2: Porcentaje de cada tipología de edificación por parroquia en áreas sin efectos locales (basado en Castillo, 2005).....	147
Tabla 6-3: Matriz de tipología de edificación para la ciudad de Mérida según Castillo (2005) y su relación con la escala EMS-98 y el trabajo de Laffaille (1996).....	148
Tabla 6-4: Matrices de probabilidad de daño para las tipologías de edificación del caso de estudio.....	150
Tabla 6-5: Porcentaje de área destruida para el caso de estudio para intensidad sísmica de VIII y IX.....	150
Tabla 6-6: Sectorización del sistema de acueductos de la ciudad de Mérida (Astorga, 2011).....	152
Tabla 6-7: Porcentaje de roturas de tuberías de agua por zonas de presión y parroquias que contienen.....	154

Tabla 6-8: Daño en el sistema de agua potable (en roturas/km) por parroquias para las intensidades de VIII y IX.	154
Tabla 6-9: Sistemas de vialidad de la ciudad de Mérida-Venezuela.....	156
Tabla 6-10: Probabilidades para el estado de daño sd para vialidad tipo Hrd1 y Hdr2.	159
Tabla 6-11: Parámetros para estimar víctimas para el caso de estudio a media noche ($M_2=0.80$).	160
Tabla 6-12: Descriptores de riesgo físico sísmico Fallecidos y Heridos por parroquias de la ciudad de Mérida-Venezuela para las intensidades sísmicas de VIII y IX.	162
Tabla 6-13: Factores contribuyentes al riesgo sísmico físico para un escenario de intensidad IX en las parroquias de la ciudad de Mérida-Venezuela.	165
Tabla 6-14: Indicadores sociales existentes en el caso de estudio.	167
Tabla 6-15: Matriz de comparación de pares para once factores contribuyentes al agravamiento que definen el contexto social del caso de estudio.	168
Tabla 6-16: Pesos de participación (WFindicadorj) de los factores contribuyentes al agravamiento.	168
Tabla 6-17: Valores de los indicadores sociales predominantes para el caso de estudio.....	169
Tabla 6-18: Factores contribuyentes al agravamiento del contexto social del caso de estudio.	173
Tabla 6-19. Valores del coeficiente de agravamiento por las parroquias de la ciudad de Mérida-Venezuela.	174
Tabla 6-20: Calculo del coeficiente de agravamiento (F) en los distritos de Barcelona - España.	177
Tabla 6-21: Comparación de evaluación lingüística y numérica de los niveles de riesgo sísmico físico.	182
Tabla 6-22: Niveles de riesgo físico según la evaluación lingüística basado en expertos.	186
Tabla 6-23: Estimación del costo total de pérdida económica por parroquias de la ciudad de Mérida-Venezuela e intensidad VIII y IX.	191
Tabla 6-24: Nivel de desempeño de las 20 estrategias para la gestión del riesgo para el año 2010.	193

FIGURAS

Figura 2-1. Curvas de Fragilidad para: a) Tanque de almacenamiento de agua potable, y b) Subestación de electricidad de bajo voltaje (115kV) (FEMA, 1999).	19
Figura 2-2. Niveles de análisis de HAZUS-MH (Cowdin y Leep, s.f.).	23
Figura 2-3. Modelos de HAZUS-MH, (FEMA_graphics, 2010).	24
Figura 2-4. Pantallas de los software: a) CAPRA-GIS, b) CAPRA WWJ, (CAPRA, 2012) y c) Modelo Probabilista de Riesgo y algunas aplicaciones de ERN-AL (Cardona et al., 2011).	27
Figura 2-5. Modelo propuesto para la conceptualización de la vulnerabilidad del contexto dentro de evaluación del riesgo, (Roberts et al., 2009).	32
Figura 2-6. Componentes del modelo conceptual para cuantificar la vulnerabilidad, (Roberts et al., 2009).	33
Figura 2-7. Marco teórico del primer enfoque holístico de evaluación y gestión del riesgo de desastre, planteado por Cardona (2001) y Carreño et al. (2005).	37
Figura 2-8. Componentes, indicadores, descriptores, índices, y sus ponderaciones para la ciudad de Bogotá (Cardona, 2001).	38
Figura 2-9. Nueva versión de la metodología de la evaluación holística y gestión del riesgo de desastres, por Cardona, y actualizado por Carreño (2006).	42
Figura 2-10. Funciones de transformación para obtener los factores de riesgo físico sísmico, F_{RFi} , (Carreño, 2006).	45
Figura 2-11. Funciones de transformación para obtener los factores de agravamiento por fragilidad social (F_{FSi}), (Carreño, 2006).	46
Figura 2-12. Funciones de transformación para obtener los factores de agravamiento por falta de resiliencia (F_{FRi}), (Carreño, 2006).	46
Figura 2-13. Esquema para el cálculo del riesgo total ($USRi$), expresando los factores de riesgo físico (F_{RFi}), de fragilidad social (F_{FSi}), y de falta de resiliencia (F_{FRi}) con sus respectivos pesos (W_{RFi} , W_{FSi} , W_{FRi}), (Carreño, 2006).	47
Figura 2-14. Mecanismo de razonamiento según método Mamdani, basado en Yager y Filev (1994).	51
Figura 2-15. Uniones de relaciones difusas, basado en Cerrada y Rodríguez (2001).	51
Figura 2-16. Proceso típico que se involucra en un modelo difuso, donde: F es la salida difusa, y, Y^* es la salida numérica o crisp.	53
Figura 2-17. Conectividad empírica entre un bloque de parámetros (Ritchey, 2011a).	58
Figura 2-18. Campo morfológico de referencia para $N=6$	59

Figura 2-19. Matriz de consistencia transversal (CCM) para el campo morfológico dado en la Figura 2-18.....	59
Figura 3-1. Función de transformación de un indicador de daño físico.....	64
Figura 3-2. Diagrama descriptivo de la clasificación de factores contribuyentes al riesgo físico.	65
Figura 3-3. Función de transformación del descriptor de daño físico sísmico: a) personas que se quedan sin hogar; b) daño medio en el sistema de vialidad, a factor contribuyente del riesgo físico sísmico.	67
Figura 3-4. Funciones de Transformación para indicadores de la categoría Vivienda (C1): a) Indicador V1, b) Indicador V2.	79
Figura 3-5. Funciones de Transformación para indicadores de la categoría Desarrollo social y erradicación de la pobreza (C2): a) Indicador DS5, b) Indicador DS6....	80
Figura 3-6. Función de Transformación para el indicador G1 de la categoría Gobernanza (C4).....	80
Figura 3-7. Funciones de Transformación para indicadores de la categoría Ordenamiento Territorial (C3): a) Indicador O2, b) Indicador O2, c) Indicador O3.....	81
Figura 3-8. Funciones de transformación de indicadores de la Categoría Falta de Resiliencia (C5): a) Indicador F1, b) Indicador F2, c) Indicador F3.....	82
Figura 3-9. Funciones de transformación de indicadores de la categoría Demografía (C6): a) Indicador D1; b) Indicador D2.	83
Figura 3-10. Indicadores por categoría contribuyentes al coeficiente de agravamiento.....	86
Figura 4-1. Función de transformación del descriptor de riesgo físico (D _{ji}) a factor mensurable de riesgo físico (FRF _{ji}).	93
Figura4-2. Variables lingüísticas para definir cinco niveles de riesgo físico, N _j , j=1 hasta 5: N1, Nivel Muy Bajo (azul); N2, Nivel Bajo (verde); N3, Nivel Medio (amarillo); N4, Nivel Alto (naranja); N5, Nivel Muy Alto (rojo).	96
Figura 4-3. Función de transformación del % de R _F del dominio de las variables lingüísticas a un valor numérico de riesgo físico.	97
Figura 4-4. Flujo grama de la metodología MHARLA.....	99
Figura 4-5. Proceso de inferencia de la metodología MHARLA.....	99
Figura 4-6. Porcentajes de riesgo físico de las variables lingüísticas para el α -corte=0.50. .	102
Figura 4-7. Consecuencia de la regla Si-Entonces para los antecedentes satisfechos: m= 3 amenazas naturales que afectarán una zona urbana y presentan nivel de riesgo físico N2, N3 y N4.	107

Figura 4-8. Entradas del nivel de riesgo físico mediante la variable lingüística para la amenaza a) H1 y b) H2.....	112
Figura 4-9. Tercer paso para establecer la consecuencia si el cociente entre los valores numéricos de los límites superior de las entradas de riesgo físico es menor a 3.....	114
Figura 4-10. Consecuencia de Regla tipo Sí-Entonces cuando se satisfacen los antecedentes: $m=2$ y niveles de riesgo físico bajo y medio.	115
Figura 4-11. Salida difusa (F(Y)) para el nivel de riesgo físico multiamenaza en una zona urbana que se ve amenazada por dos amenazas naturales y éstas generarían niveles de riesgo físico bajo y medio, respectivamente.	115
Figura 4-12. Salida difusa F(y) del nivel de riesgo físico (área gris) y las salidas numéricas de porcentaje de riesgo físico, desfusificados (líneas verticales con flechas).	116
Figura 6-1. Mapa político-territorial de Venezuela, y de la ciudad de Mérida, contenida en 12 de las parroquias del municipio libertador del estado Mérida (Rebotier, 2006).....	138
Figura 6-2. Zonas sísmicas de Venezuela.	141
Figura 6-3. Fallas de Venezuela.	141
Figura 6-4. Distribución porcentual de las tipologías en la ciudad de Mérida según la BTM, Building Typology Matrix de Risk-UE, para el estudio de a) Castillo (2005); b) la presente investigación.	145
Figura 6-5. Distribución porcentual de las siete tipologías predominantes por parroquia de la ciudad de Mérida-Venezuela.	145
Figura 6-6. Parroquias afectadas por efectos de sitio.....	146
Figura 6-7. Funciones de vulnerabilidad media semi-empíricas por tipología de edificación en la ciudad de Mérida para el índice de vulnerabilidad (V_i) más probable (Castillo, 2005).....	149
Figura 6-8. Distribución aproximada del sistema de acueductos de la ciudad de Mérida según las zonas de presión (Astorga, 2011).	152
Figura 6-9. Número estimado de roturas en tuberías para las 10 zonas de sectorización del sistema de acueducto de la ciudad de Mérida para distintas intensidades sísmicas según Astorga (2011).....	153
Figura 6-10. Número de roturas por kilometro de longitud de tubería para un escenario de intensidad IX.	155

Figura 6-11. Categorización de la vialidad matriz de la ciudad de Mérida-Venezuela. 0: Avenidas, 2: vías colectoras, 3: vías locales.	157
Figura 6-12. Curvas de Fragilidad para a) Vías Arteriales Principales (Hrd1) y b) Vías arteriales secundarias, vías colectoras y vías locales (Hrd2).....	158
Figura 6-13. Distribución de víctimas por parroquia para una intensidad de VIII.	161
Figura 6-14. Distribución de víctimas por parroquia para una intensidad de IX.	161
Figura 6-15. Cantidad total de personas que se quedan sin hogar (Homeless) para la intensidad sísmica VIII y IX.	163
Figura 6-16. Descriptor de riesgo físico sísmico asociado a las personas que se quedan sin hogar (Homeless) por parroquias de la ciudad de Mérida-Venezuela, para intensidades de VIII y IX.	164
Figura 6-17. Riesgo físico sísmico para los escenarios de intensidad sísmica: VIII y IX.	166
Figura 6-18. Zonas con mayor susceptibilidad a movimientos en masa en las parroquias de Mérida-Venezuela (polígonos rojos).	171
Figura 6-19. Densidades de población en el área metropolitana de Mérida-Venezuela (Rebotier, 2006).....	172
Figura 6-20. Riesgo total sísmico para el caso de estudio.	175
Figura 6-21. Riesgo físico sísmico en distritos de la ciudad de Barcelona (España).....	178
Figura 6-22. Riesgo total sísmico en distritos de la ciudad de Barcelona-España.	179
Figura 6-23. Riesgo físico sísmico y valor de pertenencia para cada parroquia en valor numérico (evaluación lingüística).	181
Figura 6-24. Riesgo físico debido a movimientos en masa y valor de pertenencia para cada parroquia en valor numérico (evaluación lingüística).....	184
Figura 6-25. Riesgo físico multiamenaza y valor de pertenencia para cada parroquia en valor numérico (evaluación lingüística).	185
Figura 6-26. Riesgo físico para diferentes amenazas naturales: H1, sísmica; H3, movimientos en masa; H1_IX, sísmica numérica para intensidad IX; y multiamenaza (H1+H3).	187
Figura 6-27. Coste económico del daño estructural por parroquia para la intensidad de VIII y IX.	192
Figura 6-28. Estrategias recomendadas y más convenientes para disminuir el coeficiente de agravamiento en la ciudad de Mérida.	196

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Generalmente, el riesgo se suele valorar en términos físicos debido a que la vulnerabilidad social es muy difícil de cuantificar. Por otro lado, el nivel de riesgo de una sociedad está relacionado con sus niveles de desarrollo y su capacidad para afrontarlos. Para realizar un análisis de riesgo físico se deben seguir tres pasos: i) estimar la amenaza o peligro, ii) evaluar la vulnerabilidad y, iii) estimar el riesgo para obtener las pérdidas esperadas en un periodo de tiempo de exposición determinado (pérdidas económicas y de vidas, entre otras). Sin embargo, si se incorporan en la evaluación del riesgo físico los siguientes aspectos: la ausencia de desarrollo económico y social, las deficiencias en la gestión institucional, y la falta de capacidad para la respuesta y recuperación de una sociedad en caso de que un evento peligroso ocurra, se estaría evaluando el riesgo sísmico de manera integral u holística, es decir, incluyendo términos físicos y de vulnerabilidad social.

Por ende, en la actualidad la comunidad internacional es consciente de que los esfuerzos de mitigación o reducción del riesgo de desastre deben integrarse sistemáticamente en las políticas, en los planes y los programas de desarrollo sostenible y en la reducción de la pobreza, recibiendo el apoyo de la cooperación y de la asociación a nivel local, regional, nacional e internacional. Razón por la cual es preciso aumentar los esfuerzos por dotar a las comunidades y a los países de la capacidad necesaria para controlar el riesgo y reducirlo, como lo recomiendan organizaciones, proyectos y gobiernos a diferentes niveles (Cardona,

2003; EIRD, 2004; FEMA, 2010; G.I.R.S.T, 2009; HAZUS, 2010; Mouroux y Le Brun, 2006; RADIUS, 2000, entre otros).

Para poder establecer las variables que interactúan en el riesgo sísmico se presenta una pequeña comparación de dos eventos sísmicos relativamente recientes y significativos. El terremoto de 27 de febrero de 2010 en Chile que fue de 8,8 grados en la escala de Richter y aproximadamente 500 veces más fuerte que el terremoto que sufrió Haití el 12 de enero de 2010, este último terremoto fue de magnitud 7 en la escala de Richter. Pero la cifra de muertos fue mayor en el país caribeño por varios órdenes de magnitud.

La diferencia en los daños físicos y pérdidas de vidas en ambos eventos sísmicos se debe a diversas razones, entre otras: a) *Peligrosidad*: Chile es un país sísmico, registra el mayor terremoto de la historia, con 9.5 grados en Valdivia en 1960. En su territorio suelen ocurrir terremotos con cierta periodicidad, al menos uno cada diez años, a diferencia de Haití donde hace 240 años no ocurría un terremoto. b) *Calidad de las construcciones*: Chile tiene normas legales de construir con especificaciones antisísmicas, lo que le permitió tener construcciones diseñadas para soportar la peligrosidad natural sísmica. Mientras que la isla caribeña presentó una precariedad de construcciones para soportar dicha amenaza. c) *Diferencia económica*: Chile, en comparación con Haití, es un país rico, mucho mejor organizado y mejor preparado para responder a la problemática que generan los sismos en centros poblados porque tiene mayor capacidad económica. d) *Calidad de profesionales preparados*: No basta ser un país sísmico, también hay que estar preparado para la catástrofe, y uno de los elementos importantes de Chile ha sido la calificación de los profesionales del área. Este elemento permitiría mejor asesoría en la construcción de edificios y viviendas, y también en la ubicación de las mismas considerando los movimientos telúricos. Un elemento claramente diferenciador con Haití.

Esta serie de comparaciones permiten evidenciar que la problemática que generan una amenaza sísmica en zonas urbanas es una situación compleja, ya que involucra aspectos de diferentes naturalezas, como: la peligrosidad en sí misma (magnitud, intensidad, frecuencia, entre otros aspectos que la definan), la vulnerabilidad física en las construcciones y la vulnerabilidad social.

Por ende, es importante poder evaluar dichos aspectos para evitar tanto daños físicos como pérdidas de vidas, y en la medida de lo posible lograr que los habitantes de las zonas urbanas que estarán expuestos a amenazas naturales se preparen para emplear su ingenio y recursos tanto económicos como humanos para vivir en armonía con las amenazas naturales y así evitar, en lo posible, los riesgos que éstas les generen.

Así que, aún falta mucho por hacer, ya que la actual formación cívica, educacional, ética, las leyes (códigos) y la riqueza económica no han sido suficientes, para evitar los catastróficos daños físicos que se evidencian en los eventos naturales. Al respecto, conviene precisar que si bien las amenazas siempre estarán presentes y por ende, el riesgo, también somos responsables de su construcción. Nuestro reto es aprender a convivir con el peligro natural, minimizando nuestras vulnerabilidades y reduciendo el riesgo asociado.

A pesar de que la mayor responsabilidad en este proceso es competencia del Estado en su condición de garante de la seguridad de los ciudadanos, se debe insistir en que esta labor preventiva no sólo es materia del Estado, sino que, los ciudadanos en general (investigadores, profesionales, políticos, líderes familiares y comunales, entre otros) están en la obligación de preservar las condiciones para que la sociedad no se encuentre expuesta a mayores amenazas ni se incremente su vulnerabilidad.

Así, es necesario, y casi una obligación, la divulgación de los resultados, de trabajos que permitan estimar los riesgos, ante el público en general para promover el conocimiento por parte de la comunidad y los cuales les permitirán tomar las previsiones adecuadas del caso.

La mayoría de iniciativas y proyectos desarrollados (UNDRO, 1980; ATC-13, 1985; Barbat et al., 1998; FEMA, 1999; RADIUS, 2000; Cardona, 2001; COVENIN, 2001; Cardona, 2003; EIRD, 2004; Castillo, 2005; Birkmann, 2006; Carreño, 2006; Lantada, 2007; CAPRA, 2010, entre otras) contribuyen a la comprensión de que existe complejidad en los problemas a enfrentar para generar estrategias y planes eficaces en la reducción del riesgo.

Por todo lo anterior, resulta importante establecer técnicas metodológicas que ayuden a los habitantes de las zonas urbanas a establecer tanto sus posibles vulnerabilidades físicas y sociales ante las amenazas naturales como su nivel de riesgo, para que luego puedan establecer acciones que mitiguen los posibles riesgos. Así que, en esta tesis se plantea contribuir a dicha problemática proponiendo tres metodologías. Dos metodologías de evaluación de riesgo tanto desde diferentes perspectivas (física y holística) como debido a diferentes amenazas naturales. Estas evaluaciones, servirán, entre otras cosas, a establecer la posible realidad de las zonas urbanas. La tercera metodología propuesta, pretende ayudar en la toma de decisiones para mitigar en lo posible los riesgos sísmicos que se pueden presentar en una zona urbana. Para tal fin, se plantaron los objetivos del apartado 1.1 y se expresa la estructura del documento final de la tesis doctoral en el apartado 1.2.

1.1 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivos Generales:

1. Proponer una mejora metodológica para la evaluación holística del riesgo sísmico en zonas urbanas.
2. Proponer una metodología para evaluar el riesgo físico multiamenaza en zonas urbanas.
3. Proponer una metodología para ayudar a definir estrategias que permitan disminuir el riesgo sísmico identificado en una evaluación holística en zonas urbanas.

Objetivos específicos:

- a) Revisar y analizar las metodologías de evaluación holística del riesgo existentes en la bibliografía con el fin de poder extraer las que mejor se adapten a zonas urbanas, concentrándose en el riesgo debido a la amenaza sísmica.
- b) Llevar a cabo, teniendo en cuenta estudios previos, una mejora metodológica en la evaluación holística del riesgo sísmico, para:
 - Mejorar la evaluación del contexto social mediante una metodología estándar que pueda ser aplicable a cualquier zona urbana.
 - Identificar y clasificar de manera más adecuada los mejores indicadores que describen el contexto social de zonas urbanas según los tratados mundiales más aceptados.
 - Formular una manera de normalizar los resultados de la evaluación.
- c) Crear un instrumento tipo encuesta para obtener información de expertos sobre daños físicos de los elementos de una zona urbana expuestos a una amenaza natural determinada.
- d) Crear una herramienta informática que permita procesar información aportada por expertos en una determinada amenaza natural para obtener el riesgo físico debido ésta.
- e) Desarrollar una metodología, fundamentada en la lógica difusa y apoyada en información de un panel de expertos en riesgo, para evaluar de manera lingüística el riesgo físico multiamenaza.
- f) Proponer una metodología basada en el análisis morfológico para la reducción del riesgo sísmico en zonas urbanas contemplando el contexto social. Se pretende que dicha metodología sirva de apoyo en el proceso de toma decisiones de reducción de riesgo por parte de las autoridades pertinentes.
- g) Aplicar las diferentes metodologías propuestas al caso de estudio, ciudad de Mérida-Venezuela, para evaluar tanto el riesgo sísmico desde una perspectiva holística como el riesgo físico multiamenaza y establecer estrategias que ayudarán a las autoridades locales a mitigar el riesgo.

Con los objetivos anteriores este trabajo permitiría abrir nuevos enfoques para analizar y resolver la problemática que generan las amenazas naturales al interactuar con los elementos expuestos de una zona urbana.

1.2 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO DE TESIS

El documento de esta tesis se estructura de la siguiente forma:

El capítulo uno describe brevemente la problemática y se plantean los objetivos de la investigación. Para lo cual se requiere de fundamentos teóricos, los cuales se agrupan en el segundo capítulo.

En el capítulo segundo, se describen los proyectos mundiales, orientados a la evaluación del riesgo físico sísmico en zonas urbanas, como los desarrollados en Estados Unidos (RADIUS, HAZUS), en Europa (RISK-UE), y en América Latina (CAPRA), y algunas de las metodologías de estimación de los daños físicos debido a una amenaza sísmica, como daño en edificaciones, daños en líneas vitales y estimación de víctimas. Luego, se presentan las metodologías que permiten evaluar numéricamente el riesgo físico debido a diferentes amenazas (Hazard-MH y CAPRA). También, se describe la evaluación del contexto social y los indicadores sociales reconocidos globalmente y formulados en diferentes conferencias o convenciones de las Naciones Unidas. Por otra parte, se explican metodologías precedentes de la evaluación holística del riesgo sísmico. Además, se presentan algunos aspectos de la teoría de conjuntos difusos y metodologías de apoyo en la toma de decisiones.

El capítulo tercero, detalla el aporte metodológico en la evaluación holística de riesgo sísmico en una zona urbana, destacándose una metodología que permite evaluar y estandarizar el contexto social en una zona urbana, ya que éste puede agravar significativamente el riesgo físico sísmico, también se presenta una alternativa de expresar los resultados numéricos mediante etiquetas lingüísticas.

El capítulo cuarto, detalla una nueva metodología desarrollada para evaluar el riesgo físico multiamenaza de manera lingüística en una zona urbana, denominada *MHARLA*, por sus siglas en inglés *Multi-Hazard Risk Linguistic Assessment*, aplicable a un máximo de tres amenazas. Se fundamenta en la lógica difusa y se apoya en opinión de expertos locales en amenazas naturales.

El capítulo quinto, detalla una propuesta metodológica para ayudar en la toma de decisión en la gestión de riesgo, formulando planes de acción pertinentes para disminuir o mitigar el riesgo obtenido de una evaluación holística del riesgo sísmico en zonas urbanas. Dicha metodología se fundamenta en el análisis morfológico y permite formular planes de

acción tanto para mejorar cada uno de los indicadores que estiman la vulnerabilidad social de una zona urbana como para disminuir cada uno de los descriptores de riesgo físico sísmico.

En el capítulo sexto, se presentan los resultados y discusión de aplicar las tres metodologías propuestas en esta investigación al caso de estudio: Ciudad de Mérida Venezuela, expresando los resultados por división administrativa que conforma la ciudad (parroquias). Adicionalmente, se aplicó la metodología propuesta para la estimación del riesgo sísmico desde una perspectiva holística a la ciudad de Barcelona-España, presentando los resultados por división administrativa que la conforma (distrito). Y, también, se obtuvo para el caso de estudio una estimación del coste económico de restituir las edificaciones dañadas debido a un desastre sísmico.

En el capítulo séptimo, se presentan, por una parte, las conclusiones generadas de todos los capítulos anteriores, por otra parte, las líneas futuras de investigación y recomendaciones para el caso de estudio.

Adicionalmente, se incluyen tres anejos: 1) Anejo A el cual contiene información asociada a indicadores que permiten definir el contexto social, por una parte, la organización y/o definición de los indicadores sociales aprobados y desarrollados por diferentes fuentes reconocidas a nivel mundial más las definiciones de los 20 indicadores sociales seleccionados inicialmente en esta investigación para medir el agravamiento social de una zona urbana, por otra parte, presenta la evaluación del agravamiento social en la ciudad de Mérida-Venezuela para diferentes combinaciones de indicadores sociales. 2) Anejo B contiene tanto el instrumento como el código fuente de la herramienta computacional, que se desarrollaron para estimar de manera lingüística el riesgo físico en una zona urbana debido a una determinada amenaza natural, basado en la opinión de expertos locales; Además incluye los valores numéricos de descriptores de riesgo físico sísmico requeridos, en esta tesis, para una evaluación numérica del riesgo físico sísmico en la ciudad de Barcelona-España. Finalmente, 3) Anejo C presenta las estrategias que ayudarán a mejorar cada indicador social predominante que define el contexto social de una zona urbana.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE DE LA EVALUACIÓN HOLÍSTICA DEL RIESGO SÍSMICO EN ZONAS URBANAS

2.1 INTRODUCCIÓN AL RIESGO SÍSMICO

Riesgo es una palabra “compleja” que tiene como esencia los conceptos de vulnerabilidad y amenaza, razón de las confusiones más frecuentes en su empleo. De ahí que, en el contexto de la gestión del riesgo y en este trabajo se adoptaran las acepciones de Cardona (2003) para definir dichos conceptos.

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

Por otra parte, la población, las propiedades, las actividades económicas, incluyendo los servicios públicos, que están expuestos a un peligro natural en un área dada, constituyen *los elementos en riesgo (E)*. La *vulnerabilidad (V)* se entiende, en general, como un factor de riesgo interno que matemáticamente está expresado como la predisposición de que el sujeto o sistema expuesto sea afectado por el fenómeno que caracteriza la amenaza, y además representa una falta de resiliencia para recuperarse posteriormente. Y, la *resiliencia* es la

capacidad de un ecosistema, sociedad o comunidad de absorber un impacto negativo o de recuperarse una vez haya sido afectada por un fenómeno peligroso (potencial o latente amenaza) (Cardona, 2003).

Así, *riesgo* es un concepto que describe de manera tanto cualitativa como cuantitativa el grado potencial de afectación de elementos de un sistema que presentan algún grado de vulnerabilidad, susceptibilidad a ser dañados, y del “funcionamiento” del mismo, una vez que son expuestos a una amenaza durante un periodo de tiempo determinado (Cardona, 2003).

Para comprender el concepto de riesgo físico sísmico veamos los casos de los sismos, relativamente, recientes: el de Haití, 12 de enero de 2010, y el de Chile, 27 de febrero de 2010. La magnitud del terremoto de Chile fue mucho mayor que la de Haití, lo cual implica una descarga de energía también mucho mayor. Sin embargo, en Haití, el impacto del mencionado evento fue muchísimo mayor que en el caso de Chile; en Haití, el número de víctimas fatales fue de más de 800000; colapsó un altísimo porcentaje de las edificaciones de la ciudad de Puerto Príncipe. Después del evento, la resiliencia observada ha sido muy baja, la población sigue sufriendo graves perturbaciones de la vida social y económica, esta situación da cuenta de cómo el riesgo físico sísmico se ve afectado por un factor de agravamiento relacionado con el contexto social. En Chile, muchas obras civiles sufrieron diferentes niveles de daño, pero nunca llegó a ser un porcentaje significativo de colapso en relación al total de las obras civiles, la cantidad de víctimas fatales fue menor a 1000 personas; hubo una capacidad de resiliencia muy alta por lo que los daños colaterales fueron minimizados.

Las diferencias en las consecuencias de estos dos eventos, en lugares con contextos sociales muy diferentes dejan clara la importancia del contexto social como elemento primordial tanto sobre la vulnerabilidad física como en la social del sistema, que son elementos importantes del riesgo. La interacción de una amenaza sísmica con la vulnerabilidad física de zonas urbanas es un proceso complejo de valorar y cuantificar, pero una vez logrado permite conocer el riesgo físico sísmico que sufriría una determinada zona urbana. Asimismo, el riesgo total sísmico en una zona urbana determinada se debe a la interacción del riesgo físico sísmico con el contexto social de ésta, provocando que el riesgo total sísmico sea, en muchos casos, mayor al riesgo físico sísmico.

Los resultados de la evaluación del riesgo sísmico en las zonas urbanas, se podrá representar mediante mapas de escenarios de riesgo, desde diferentes disciplinas y enfoques. Expresando, entre otras, la cuantificación de víctimas, el número de personas que pierden su hogar, el valor económico de las consecuencias del evento sísmico, las áreas destruidas para el enfoque de riesgo *físico*. Desde un enfoque *holístico o integral* la evaluación del riesgo

sísmico involucra la ausencia de desarrollo económico y social, las posibles debilidades para absorber el impacto del terremoto, las deficiencias en la gestión institucional, la falta de resiliencia o falta de capacidad para la respuesta en caso de emergencia.

Así, la *fragilidad social* es la predisposición del nivel de marginalidad y segregación social del asentamiento humano, así como sus condiciones de desventaja y debilidad relativa a factores socio-económicos (Carreño, 2006).

El esfuerzo de recabar información de la ocurrencia, tiempo, frecuencia, lugares, magnitud, intensidad, velocidad de propagación y otras características físicas y mecánicas de la amenaza sísmica, ha permitido el desarrollo de tecnologías capaces de medir directa e indirectamente dichas propiedades. De igual manera, se ha hecho un esfuerzo tremendo en el caracterizar características del riesgo sísmico como las relacionadas con las amenazas y las vulnerabilidades de los sistemas. Se han desarrollado metodologías y software que permiten evaluar de la manera más acertada posible el riesgo debido a amenazas naturales, en especial aquellas que se desatan producto de eventos sísmicos. Pero, igual falta mucho por hacer para evitar, en lo posible, los saldos negativos que han dejado los terremotos en las zonas urbanas.

A continuación se exponen los objetivos propuestos por la tendencia actual de aumento de resiliencia en el marco de acción de Hyogo.

En la Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres que se celebró en Kobe, Hyogo (Japón), del 18 al 22 de enero de 2005, se aprobó el Marco de Acción para 2005-2015: Aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres (en adelante el *Marco de Acción*). La Conferencia constituyó una oportunidad excepcional para promover un enfoque estratégico y sistemático de reducción de la vulnerabilidad a las amenazas y los riesgos, y puso de relieve la necesidad, señalando los medios, de aumentar la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres.

Los objetivos trazados en el *Marco de Acción* son (Hyogo, 2005): a) Concluir el examen de la Estrategia de Yokohama y su Plan de Acción con el fin de actualizar el marco de orientación para la reducción de desastres en el siglo XXI; b) Determinar actividades específicas encaminadas a asegurar el cumplimiento de las disposiciones pertinentes del Plan de Aplicación de las Decisiones de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible sobre vulnerabilidad, evaluación de los riesgos y gestión de actividades en casos de desastre; c) Intercambiar las mejores prácticas y experiencias para fomentar la reducción de los desastres en el contexto de la consecución del desarrollo sostenible y determinar las deficiencias y los problemas; d) Cobrar más conciencia sobre la importancia de las políticas de reducción de desastres, y así facilitar y promover su aplicación; e) Aumentar la fiabilidad y la

disponibilidad de información adecuada sobre los desastres destinada al público y a los organismos de gestión de desastres en todas las regiones, como se establece en las disposiciones pertinentes del Plan de Aplicación de las Decisiones de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible celebrada en Johannesburgo.

2.2 EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO: PARTE FÍSICA

En este apartado se describen algunos proyectos destacados, a nivel mundial, orientados a la evaluación del riesgo físico sísmico en zonas urbanas, como RADIUS, HAZUS (desarrollados en Estados Unidos), RISK-UE (desarrollado a nivel europeo) y CAPRA (desarrollado inicialmente a nivel de América Latina y en la actualidad se desarrolla como una plataforma de software de código abierto para la evaluación de riesgos). Finalmente, se explicarán algunas de las metodologías de estimación de los daños físicos debido a la amenaza sísmica, como daños en edificaciones, daños de las líneas vitales y estimación de víctimas.

RADIUS

El proyecto RADIUS (*Risk Assessment tools for Diagnosis of Urban Areas against Seismic Disasters*) fue promovido por la secretaría de la *International Decade for Natural Disaster Reduction* (IDNDR) que tuvo lugar en la década de los noventa y fue llevado a cabo bajo los auspicios de las Naciones Unidas, entre los años 1996 y 1999. Su objetivo principal fue promover actividades que mitigasen el riesgo de desastre en áreas urbanas, básicamente en países en vías de desarrollo. El estudio se centró en nueve ciudades vulnerables a tsunamis, terremotos o deslizamientos de tierras, distribuidas por todo el mundo, concretamente en las ciudades de Addis Ababa en Etiopía; Antofagasta en Chile; Bandung en Indonesia; Guayaquil en Ecuador; Izmir en Turquía; Skopje en Macedonia, Tashkent en Uzbekistán; Tijuana en México y Zigong en China (RADIUS, 2000).

RADIUS formuló y logró los objetivos siguientes: 1) Desarrollar escenarios de daño sísmico y planes de gestión de riesgo sísmico en las nueve ciudades seleccionadas. 2) Desarrollar herramientas prácticas para la evaluación de riesgo sísmico en áreas urbanas. 3) Aumentar el conocimiento sobre riesgo sísmico en las comunidades donde fue implantado el proyecto. 4) Promover el intercambio de información para la mitigación del riesgo sísmico en diferentes ciudades, de manera que, como resultado a largo plazo, RADIUS ha establecido una red mundial de expertos en terremotos que apoyan el trabajo continuo de la evaluación comparativa de los riesgos sísmicos urbanos.

En RADIUS se empleó el instrumento de categorización y evaluación propuesto en el ATC-13, el cual se derivó a partir de juicio de expertos, para formular las matrices de probabilidad de daño de las diferentes estructuras. En el ATC-13 las estructuras se clasifican según las propiedades y características de ingeniería sísmica, en 78 clases (de las cuales, 40 clases corresponden a las edificaciones; y el resto de clases se reparte en estructuras como presas, túneles, tanque de almacenamiento, puentes, carreteras, tuberías, grúas, torres, para equipamiento, otras estructuras). También el ATC-13 clasificó las estructuras según su función social en 35 clases, distinguiéndose las funciones: residencial (tres clases), comercial (7), industrial (8), para la agricultura (1), para la minería (1), gubernamental (2), educación (1), servicio de transporte (4), servicios públicos (5), comunicación –radio y tv- (1), control de inundaciones (1), religiosa y sin fines de lucro (1) (ATC-13, 1985).

HAZUS

El programa HAZUS comenzó a desarrollarse en los años noventa por la Agencia Federal de Manejo de Emergencias (su acrónimo inglés: FEMA), junto con el *National Institute of Buildings Sciences*, NIBS, y continúa aun desarrollándose. Fue publicado por primera vez en 1997, y su nombre se origina de abreviar *Hazards United States*, HAZUS-97 (HAZUS, 2010). El objetivo de este programa fue evaluar las pérdidas potenciales por amenazas naturales en las ciudades de los Estados Unidos, sin embargo, actualmente, cuenta con la posibilidad de adaptarse a la gestión de emergencias en todo el mundo (FEMA, Federal Emergency Management Agency, 2010). HAZUS fue creado como un proceso que incluyó la revisión del estado de conocimiento de los métodos de estimación de las pérdidas debido a los terremotos, seguido por la metodología y el desarrollo de software y de pruebas piloto.

HAZUS-97 fue actualizado posteriormente hasta convertirse en lo que hoy se conoce como versiones de mantenimiento, llamadas, HAZUS-MH (*Multihazard Loss Estimation Methodology*, HAZUS), por incluir amenazas múltiples (MH). La versión HAZUS-MH fue publicado por primera vez por FEMA en el año 2004. Su cuarta actualización, HAZUS-MH MR4, llegó a estar disponible en octubre de 2009 (NIBS, 2010).

HAZUS actualmente posee un programa de software de aplicación en los Estados Unidos, desarrollado y distribuido por FEMA, que permite estimar las potenciales pérdidas en edificaciones e infraestructura debido a los terremotos, a las inundaciones fluviales y costeras, y a los vientos huracanados, llamado HAZUS®MH (NIBS, 2010; FEMA, 2010; HAZUS, 2010). En el apartado 2.3 se explicará con mayor detalle.

RISK-UE

El proyecto Risk-UE (*An advanced approach to earthquake RISK scenarios with applications to different European towns*) fue llevado a cabo con el objetivo de desarrollar y homogeneizar metodologías avanzadas de evaluación del riesgo sísmico que permitieran incorporar las características de los edificios, del patrimonio cultural y de las sociedades urbanas típicas de Europa (Mouroux et al., 2004).

Risk-UE desarrolla y aplica metodologías homogéneas y avanzadas para el estudio de la amenaza, de la vulnerabilidad y del riesgo sísmico en áreas urbanas europeas. Esta iniciativa se centra en los edificios actuales e históricos, las líneas vitales y la organización social y funcional, es decir, el sistema urbano propio de la ciudad. Se debe destacar que el proyecto involucró a las autoridades municipales con responsabilidad en la protección civil y en la gestión del riesgo y se aplicó a siete ciudades europeas: Barcelona-España, Bitola-FYROM (Macedonia), Bucarest-Rumania, Catania-Italia, Niza-Francia y Sofía-Bulgaria (Mouroux et al., 2004).

El reporte final de proyecto RISK-UE se organizó en módulos o *workpackages* (WP), los cuales se han publicado a lo largo de la primera década del siglo XXI. Destacándose los relacionados con: a) el inventario o base de datos y tipologías de los edificios (Lungu, et al., 2001); b) el estudio de vulnerabilidad de los edificios (Milutinovic y Trendafiloski, 2003); c) los escenarios de riesgo sísmico (Vacareanu et al., 2004).

Finalmente, se puede decir que RISK-UE permite la evaluación del riesgo sísmico físico de edificaciones, mediante las metodologías de primer nivel (LM1) y/o de segundo nivel (LM2), Milutinovic y Trendafiloski (2003). La metodología del índice de vulnerabilidad o LM1 se basa en el modelo de vulnerabilidad implícita (matrices cualitativas de daño) incluidas en la Escala Macrosísmica Europea (EMS-98) y considera la amenaza a través de la escala de intensidad EMS-98. En definitiva, LM1 tiene el propósito de definir las clases de vulnerabilidad, los índices de vulnerabilidad y desarrollar las matrices de probabilidad de daño por tipología estructural; y es un método uniparamétrico o macrosísmico, el cual procede del ámbito de la Sismología. Mientras que, la metodología LM2 o metodología basada en el espectro de capacidad es un método multiparamétrico o espectral, el cual procede del ámbito de la Ingeniería Sísmica. LM2 se basa en dos modelos o funciones para definir la vulnerabilidad de las edificaciones, tales como el Modelo de Capacidad (mide la resistencia) y el Modelo de Fragilidad (mide el daño). LM2 requiere para la acción sísmica espectros de respuesta para la zona de estudio.

CAPRA

La Evaluación Probabilista de Riesgo (CAPRA, por sus siglas en inglés de *Comprehensive Approach for Probabilistic Risk Assessment*) es una plataforma de información para apoyar la toma de decisiones en la gestión del riesgo ante desastres naturales. Liderado por CEPREDENAC¹ y en colaboración con los gobiernos de la región Centroamericana, la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD), financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Banco Mundial. CAPRA es desarrollado por el consorcio Evaluación de Riesgos Naturales América Latina, ERN-AL, (CAPRA, 2010).

En el marco del proyecto CAPRA, se han desarrollado una serie de módulos de software para el cálculo y definición de amenazas naturales, vulnerabilidad, exposición y riesgo físico de zonas urbanas. Estos módulos constituyen un sistema integral de modelación probabilista de riesgos naturales en el país que se analice, enfocado a la gestión del riesgo de desastre por medio de formulaciones teóricas modernas, que representan el estado del arte en modelación de fenómenos naturales recurrentes. En CAPRA se podrá realizar un análisis probabilístico del riesgo físico: sísmico y de otras diferentes amenazas naturales (como tsunamis, huracanes, inundaciones, deslizamientos y volcanes) a las que se puede exponer una zona urbana, como se describirá en el apartado 2.3.

En resumen, la mayoría de las iniciativas y/o proyectos citados anteriormente contribuyen a la comprensión de que existe complejidad en los problemas a enfrentar para generar estrategias y planes eficaces en la reducción del riesgo. Por lo cual, es de vital importancia la generación de conciencia en los distintos sectores de la sociedad e incluir el trabajo interdisciplinario y multisectorial. Además, surge la necesidad de adaptación de las metodologías y/o técnicas existentes para la determinación y control del riesgo a las características y condiciones de las ciudades y asentamientos, donde su aplicación sea requerida, o inclusive de generar otras más acordes. No obstante, existe una utopía, o “realidad”, de crear un modelo único de evaluación del riesgo de terremoto a nivel mundial, como lo expresa el proyecto *Global Earthquake Model, GEM*, (Sanderson, 2010), en el cual se señala que parte de la investigación futura del GEM se centrara en la tarea de generar algunos índices de vulnerabilidad social e índice de resiliencia a desastres en zonas afectadas por terremotos, es decir que el GEM muestra indicios de considerar el contexto social a través de dichos índices (GEM, 2006).

A continuación se detalla las metodologías que permiten estimar los daños físicos en zonas urbanas, como los daños tanto en edificaciones (apartado 2.2.1) como en las líneas vitales

¹ Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central es un organismo regional de carácter intergubernamental, perteneciente al Sistema de Integración Centro Americano - SICA- como Secretaría Especializada.

(apartado 2.2.2), más las metodologías que permiten evaluar los diferentes tipos de víctimas (apartado 2.2.3) debido a una amenaza sísmica.

2.2.1 DAÑO EN LAS EDIFICACIONES

En el método del índice de vulnerabilidad (LM1) (Milutinovic y Trendafiloski, 2003) se emplea la escala macrosísmica EMS-98, la cual considera seis grados o estados de daño: *Sin daño* (D0); *Leve* (D1); *Moderado* (D2); *Severo* (D3); *Extensivo* (D4) y *Completo* (D5), ver Tabla 2-1. Dicha metodología permite la evaluación de la vulnerabilidad sísmica para los estándares de construcción de la matriz de clasificación de edificios (*BTM, Building Typology Matrix*). La matriz *BTM* agrupa por clases los edificios con una tipología y comportamiento estructural similar. Una vez definida la *BTM* se desarrolla modelos de predicción de daño y pérdidas para cada tipología. Dicha clasificación se realizó en base a una serie de parámetros del edificio que intervienen en el grado de daño y pérdidas: a) Parámetros estructurales, que afectan a la capacidad estructural y a la respuesta del edificio; b) Nivel de diseño sísmico (*code level*); c) Sistema estructural base (material y estructura); d) Altura del edificio.

Por otra parte, la *BTM* de Risk-UE contiene 23 clases de edificios, agrupados por su tipología estructural y material de construcción: 10 de mampostería, 7 de hormigón armado, 5 de estructura metálica, y uno con estructura de madera.

La metodología LM1 de RISK-UE permite adecuar el índice de vulnerabilidad en caso de la tipología del edificio que no se identifica directamente en la matriz de tipología de edificación (Milutinovic y Trendafiloski, 2003), estos índices oscilan entre un valor de cero (0) y uno (1), siendo los de valores más cercanos a uno (1) los correspondientes a los edificios más vulnerables, mientras que los valores cercanos a cero (0) corresponden a los menos vulnerables; es decir, a aquellos edificios diseñados con un alto grado de protección sísmica. El índice de vulnerabilidad definido como V_I^* representa el valor más probable o plausible, mientras que los índices V_I^- y V_I^+ definen el intervalo plausible del índice de vulnerabilidad y, los índices V_I^{min} y V_I^{max} son los límites inferior y superior de los índices de vulnerabilidad que se consideran posibles.

La metodología del índice de vulnerabilidad LM1 (Milutinovic y Trendafiloski, 2003) considera la estimación del índice de vulnerabilidad como el primer paso en la estimación de daños. El siguiente paso es estimar el grado de daño medio (μ_D) en las diferentes tipologías de edificación para un determinado índice de vulnerabilidad (V_i) e intensidad sísmica (I), por medio de la función semi-empírica propuesta por Giovinazzi y Lagomarsino (2002), dada en la ecuación 2-1.

Tabla 2-1: Estados de daño según la escala macrosísmica EMS-98 (Musson et al., 1998; Lantada, 2007).

Clasificación del daño en edificios de mampostería no reforzada		Clasificación del daño en edificios de hormigón armado	
	Grado 1: Daño leve (<i>slight</i>) Sin daño estructural; daño no estructural leve: Grietas finas en muy pocas paredes. Caída de pequeños trozos del yeso o enlucido. En muy pocos casos se produce la caída de piedras sueltas de las partes altas del edificio.		Grado 1: Daño leve (<i>slight</i>) Sin daño estructural; leve daño no estructural: Grietas finas en el yeso sobre los elementos estructurales en la base de las paredes. Grietas en las paredes de separación y de relleno.
	Grado 2: Daño moderado (<i>moderate</i>) Daño estructural leve; daño no estructural moderado: Grietas en muchas paredes. Caída de trozos bastante grandes del yeso.		Grado 2: Daño moderado (<i>moderate</i>) Daño estructural leve; daño no estructural moderado: Grietas en las columnas, vigas y muros estructurales. Grietas en las paredes de relleno. Caída de trozos de yeso y de mortero de las juntas de las paredes.
	Grado 3: Daños sustanciales a severos (<i>heavy</i>) Daño estructural moderado, daño no estructural severo: Grietas largas y extensas en casi todos los muros. Caída de tejas. Fractura de las chimeneas en la línea del techo; fallo de los elementos individuales no estructurales (particiones, frontones).		Grado 3: Daño severo (<i>heavy</i>) Daño estructural moderado; considerable daño no estructural: Roturas en las columnas y en las juntas viga-columna a nivel del suelo. Deformación del acero de refuerzo. Grandes grietas en las paredes de relleno y caída de paneles de relleno aislados.
	Grado 4: Daño muy severo o Extensivo (<i>very heavy</i>) Daño estructural severo; daño no estructural muy severo: Roturas graves en los muros. Derrumbe estructural parcial de suelos y techos.		Grado 4: Daño muy severo o Extensivo (<i>very heavy</i>) Daño estructural severo; daño no estructural muy severo: Grandes grietas en los elementos estructurales con fallos a compresión del hormigón; fallo de las uniones de las vigas. Deformación de las columnas. Colapso de algunas columnas o de algún piso superior.
	Grado 5: Destrucción (<i>Collapse</i>) Daño estructural muy severo: Colapso total o casi total del edificio.		Grado 5: Destrucción (<i>destruction or collapse</i>) Daño estructural muy severo: Colapso del primer piso o partes del edificio.

$$\mu_D = 2.5 \cdot \left(1 + \tanh \left(\frac{I + 6.25 \cdot Vi - 13.1}{2.3} \right) \right) \quad 2-1$$

Al graficar el grado de daño medio, μ_D , versus diferentes intensidades (I) permite obtener curvas que se interpretan como la media (semi-empírica) de las funciones de vulnerabilidad para las diferentes tipologías de construcción consideradas en la ciudad a estudiar. El tercer paso es obtener los elementos de las matrices de daños por tipología de edificación, donde el proyecto Risk-UE (Milutinovic y Trendafiloski, 2003; Giovinazzi, 2005) considera la hipótesis de la distribución binomial para la distribución de los estados de daño pero prefiere utilizar la distribución Beta para su representación, dado que esta última distribución es continua y, al depender de dos parámetros, se considera más versátil.

La función de densidad de probabilidad $p_\beta(x)$ de la distribución beta, en el intervalo $[a,b]$ es dada en la ecuación 2-2.

$$p_\beta(X) = \frac{\Gamma(t)}{\Gamma(q)\Gamma(t-q)} \frac{(x-a)^{q-1}(b-x)^{t-q-1}}{(b-a)^{t-1}} \text{ para } a \leq x \leq b \quad 2-2$$

Donde x es una variable continua, que varía entre los límites del intervalo de definición a y b , t y q son los parámetros de la distribución, y Γ es la función gamma. La probabilidad de que se iguale o exceda un nivel de daño x , $P_\beta(X)$, viene definida por la integral, entre a y x , de la función de densidad de probabilidad $p(x)$ β ; como se indica en la ecuación 2-3.

$$P_\beta(X) = \int_a^x p_\beta(\varepsilon) d\varepsilon \quad 2-3$$

Para los 6 grados o estados de daño, incluyendo el estado de daño nulo, se toma $a=0$ y $b=6$ de forma que la probabilidad del estado de daño k ($k=0, 1, \dots, 5$) se expresa por la ecuación 2-4.

$$P_k = P_\beta(k + 1) - P_\beta(k) \quad 2-4$$

El parámetro t , que está relacionado con la dispersión de la distribución, se toma igual a 8 y se ajusta el parámetro q de forma que las probabilidades de la ecuación 2-4, definidas a

partir de la distribución Beta de parámetros t y q (ecuación 2-2), sean equivalentes a las correspondientes a una distribución binomial. La ecuación 2-5 define la relación entre los parámetros t , q y μ_D (Milutinovic y Trendafiloski, 2003; Giovinazzi, 2005).

$$q = t * (0.07 \cdot \mu_D^3 - 0.052 \mu_D^2 + 0.2875 \cdot \mu_D) \quad 2-5$$

De esta forma, la peligrosidad es definida mediante la intensidad macrosísmica I , y la vulnerabilidad definida mediante el índice de vulnerabilidad V_i y daño definido mediante el índice o factor de daño μ_D , y los elementos de las matrices de probabilidad de daños por tipología de edificación para cada determinado nivel de daño k , P_k , se obtiene de la ecuación 2-4.

2.2.2 DAÑO EN LÍNEAS VITALES

Las líneas vitales son importantes para el funcionamiento de los centros urbanos; entre ellas se encuentran, entre otros, los sistemas: de agua potable, de electricidad, de gas natural y de transporte. Estos sistemas pueden ser afectados en su funcionamiento bajo una acción sísmica. Para evaluar el nivel de daño en las líneas vitales debido a acciones sísmicas se cuenta con diferentes metodologías como las propuestas en Hazus (FEMA, 1999) y RiskUE (Monge et al., 2003). En el caso específico del daño en el sistema de agua potable también se cuenta con la metodología propuesta por PAHO (1998).

La metodología de Hazus a través de curvas de fragilidad permite obtener la probabilidad de daño en los sistemas o componentes de los sistemas de líneas vitales. Las curvas de fragilidad se generan a partir de la superposición que la probabilidad de alcanzar o exceder un determinado estado de daño, el cual sigue una distribución lognormal. Por lo tanto, para una aceleración PGA (α) y un estado de daño (ED_i), esta probabilidad se puede obtener mediante la ecuación 2-6.

$$P[ED \geq ED_i/S_d] = \left[\Phi \left\{ \frac{1}{\beta_{ED_i}} * \ln \left(\frac{\alpha}{\overline{\alpha}_{d,ED_i}} \right) \right\} \right] \quad 2-6$$

Donde: $\overline{\alpha}_{d,ED_i}$ es el valor medio de la aceleración PGA para el cual la estructura alcanza el umbral del estado de daño ED_i , β_{ED_i} es la desviación estándar del logaritmo natural de esta aceleración y $\Phi\{ \}$ es la función de distribución normal estándar acumulada. El

subíndice “i” representa los cuatro estados discretos de daño considerados por HAZUS, esto es: leve (i = 1), moderado (i = 2), severo (i = 3) y completo (i = 4), ver Tabla 2-2.

Para calcular las probabilidades a partir de la función de distribución Φ de la ecuación 2-6, es necesario definir $\overline{\alpha_{d,ED_i}}$ y β_{ED_i} para cada estado de daño, en Hazus-99 se propone estos valores para diferentes componentes de las líneas vitales. A manera de ejemplificar, en la Tabla 2-3 y Figura 2-1, se muestran los parámetros y las curvas de fragilidad para tanques de almacenamiento de agua potable y para una subestación eléctrica de bajo voltaje (115kV).

De acuerdo con la escala macrosísmica EMS-98, en Risk-UE, se considera seis grados o estados de daño para métodos de análisis de riesgo sísmico físico uniparamétricos o macrosísmicos (por ejemplo, metodología del índice de vulnerabilidad); mientras que en los métodos de análisis multiparamétricos o espectrales (por ejemplo, Método del espectro de capacidad) utiliza una clasificación simplificada según cinco estados de daño, estos últimos niveles de daño se consideran similar a los grados de daño utilizados en HAZUS. El establecimiento de equivalencias entre los estados de daño de ambos métodos no es trivial y diversos expertos han establecido diferentes correlaciones.

En esta investigación se han adoptado los estados de daño y las equivalencias tal como se muestran en la Tabla 2-2 (Lantada, 2007; FEMA, 1999; Vacareanu et al., 2004).

Tabla 2-2: Relación entre las escalas de daño de los métodos de análisis de riesgo físico (FEMA, 1999; Lantada, 2007; Vacareanu et al., 2004).

	Método de análisis de riesgo uniparamétrico de Risk-UE	Método de análisis de riesgo multiparamétrico de Risk-UE y en las metodologías de Hazus
Estado de Daño	0. Sin daño	0. Sin daño
	1. Leve	1. Leve
	2. Moderado	2. Moderado
	3. Severo	3. Severo
	4. Extensivo	4. Completo
	5. Completo	

Tabla 2-3: Parámetros de la función de distribución lognormal (FEMA, 1999).

Estado de Daño	Tanques de almacenamiento de agua		Subestación eléctrica de bajo voltaje (115kV)	
	Valor Medio de PGA(g)	Desviación estándar (β)	Valor Medio de PGA(g)	Desviación estándar (β)
Leve (ED1) <i>Slight /minor</i>	0.24	0.55	0.15	0.70
Moderado (ED2) <i>Moderate</i>	0.52	0.7	0.29	0.55
Severo (ED3) <i>Extensive</i>	0.95	0.6	0.45	0.45
Colapso (ED4) <i>Complete</i>	1.64	0.7	0.90	0.45

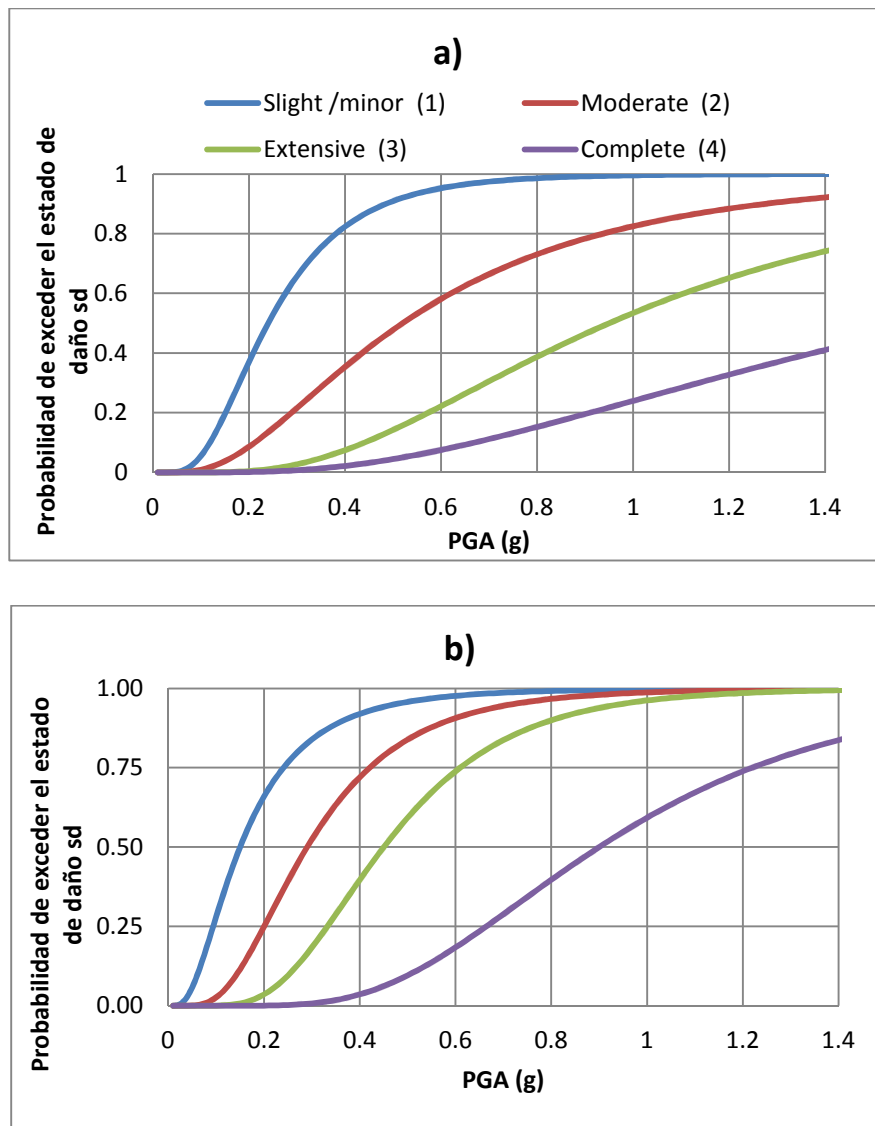


Figura 2-1. Curvas de Fragilidad para: a) Tanque de almacenamiento de agua potable, y b) Subestación de electricidad de bajo voltaje (115kV) (FEMA, 1999).

Hazus también permite obtener curvas de fragilidad para diferentes elementos que constituyen las líneas vitales tipo sistema de vialidad, como: carreteras principales, carreteras secundarias, puentes, entre otros.

2.2.3 ESTIMACIÓN DE VÍCTIMAS

Cabe destacar que existen diferentes propuestas que permiten estimar las víctimas en una zona urbana debido a una amenaza natural sísmica. De forma general, todas ellas estiman que la ocurrencia de víctimas humanas, como consecuencia de la acción sísmica, está directamente relacionada con el daño físico sufrido por las edificaciones en las que la población habita.

Por ejemplo, el modelo de Ben-Chieh y Chang-Tseh (1981), considera como datos la densidad poblacional, la intensidad del evento sísmico y hace distinción si el evento ocurre en el día o en la noche. El modelo del ATC-13 (1985), a diferencia del modelo de Coburn y Spence (1992) adoptado por Risk-UE, no considera la hora en que ocurre el evento, y le da más peso a los estados de daño leves, siendo éstos más significativos en zonas urbanas con una baja peligrosidad sísmica. Los modelos donde intervino Smardjieva y Badal (2002) se han basado en la experiencia de algunos terremotos ibéricos y consideran como datos de entrada, únicamente, la magnitud sísmica del evento en la zona urbana a estudiar y la densidad poblacional de ésta.

Los datos básicos para la estimación de las víctimas según el modelo de Coburn y Spence (1992) son: las probabilidades de ocurrencia de los estados de daño y la densidad; la distribución de la población en el instante en que ocurre el terremoto, el número de personas que hay en cada edificio afectado, lo que a su vez depende del número de habitantes y del número de viviendas. Para más detalle sobre la distribución de víctimas en función del tipo de edificio, del tipo de terremoto y del momento en que éste ocurre, ver también Vacareanu et al. (2004).

Muertos y Heridos

Según Coburn y Spence (1992) considera que el total de muertos (K) resultantes debido a un determinado terremoto en una zona urbana, puede expresarse como la suma algebraica de las víctimas debido: a daños no estructurales (k'); a daños estructurales (k_{sm}) y a las amenazas subsecuentes al terremoto (k_2).

La variable k_2 no es frecuente estimar, pero cuando se presenta domina el total de fallecidos K . La variable k' es dominante para los estados de daño leves, y es exageradamente variable y difícil de predecir. Mientras que, la contribución de k_{sm} en el total de fallecidos K puede ser controlable y el factor predominante debido a la destrucción en las edificaciones que generará un terremoto (Coburn y Spence, 1992).

En esta investigación se ha adoptado el modelo propuesto por de Coburn y Spence (1992), para determinar el número de personas fallecidas y heridas. En el cual se distinguen tres tipos de heridos: a) heridos leves, b) heridos que requieren hospitalización y, c) heridos graves. Es incuestionable que los heridos graves, también requieren hospitalización y, muy probablemente, cuidados especiales o intensivos para asegurar su supervivencia.

Según el modelo seleccionado el número de víctimas debido a los daños en las edificaciones para un terremoto dado y del momento en que éste ocurre se expresa como k_{sm} , definido en la ecuación 2-7.

$$k_{sm} = C \cdot \{M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \cdot [M_4 + M_5 \cdot (1 - M_4)]\} \quad 2-7$$

Donde:

C es número de edificios colapsados y se obtiene multiplicando el número de edificios de la clase considerada por la correspondiente probabilidad de colapso.

M_1 es el número de personas que residen en cada edificio.

M_2 es el porcentaje de ocupación en cada edificio.

M_3 es el porcentaje de ocupantes del edificio que quedan atrapados por su colapso.

El producto $M_1 \cdot M_2 \cdot M_3$ es el número de personas que el terremoto ha dejado atrapadas dentro del edificio dañado.

M_4 y M_5 son los parámetros que permiten estimar la distribución de los diferentes tipos de víctimas. Concretamente, para cada tipo de víctima.

M_4 define el porcentaje de las personas atrapadas que sufrirán cada tipo de víctima con determinado tipo de daño.

M_5 representa la mortalidad post-terremoto, es decir que tendrá valor nulo en el cálculo de las víctimas tipo heridos, y tendrá valores mayores a cero cuando se determine las víctimas fallecidas.

Personas que se quedan sin hogar (homeless)

Otro aspecto importante en la evaluación multidisciplinar del riesgo sísmico es estimar el número de personas que quedan sin hogar (“*homeless*”), debido a que será necesario habilitar espacios para alojarlas durante un determinado período de tiempo y a su vez permitirá diseñar estrategias y planes de emergencia.

En esta investigación para estimar el número de hogares arruinados y el número de personas que no pueden seguir viviendo en ellos, se adopta la formulación dada en la ecuación 2-8 (Vacareanu et al., 2004; Lantada, 2007). Donde se considera una vivienda arruinada o inhabitable cuando su nivel de degradación impide su uso normal como hogar, considerando los estados de daño del método del espectro de capacidad (que considera cuatro estados de daño más el nulo) (Tabla 2-2), se estima que el noventa por ciento (90%) de las viviendas que se hallan en edificios que sufren daño severo y que el cien por ciento (100%) de las que pertenecen a edificios con daño completo quedarán inhabitables. Tomando en cuenta esta consideración, el número de personas de un edificio i de una tipología t que quedarían sin hogar ($N_{psh_{it}}$), se define mediante la ecuación 2-8.

$$N_{psh_{it}} = N_{pv_{it}} * N_{viv_{it}} * \left[0.9 * P_{it(severo)} + P_{it(completo)} \right] \quad 2-8$$

Donde: $N_{pv_{it}}$ es el número de personas por vivienda en el edificio i de la tipología t ; $N_{viv_{it}}$ es el número de viviendas del edificio i ; $\left[0.9 * P_{it(severo)} + P_{it(completo)} \right]$ define la probabilidad de que las viviendas que estén en un edificio i de la tipología t queden inutilizadas.

En el caso general de una zona de estudio donde existen Net edificios de cada tipología t y Nt tipologías, el número total de personas sin hogar N_{Tps} vendrá dado por la integral o suma de la ecuación 2-8 para todas las tipologías y para todos los edificios de cada tipología, como se expresa en la ecuación 2-9.

$$N_{Tps} = \sum_{t=1}^{Nt} \sum_{i=1}^{Net} N_{psh_{it}} = \sum_{t=1}^{Nt} \sum_{i=1}^{Net} N_{pv_{it}} * N_{viv_{it}} * \left[0.9 * P_{it(severo)} + P_{it(completo)} \right] \quad 2-9$$

Por otro lado, el mayor o menor acierto en la predicción de este importante número (N_{Tps}) dependerá de la cantidad de información disponible en cada aplicación y de la habilidad del analista para estimar cada uno de los términos que intervienen en la estimación.

2.3 EVALUACIÓN DEL RIEGO FÍSICO DEBIDO A MULTIAMENAZA

Para evaluar el riesgo físico debido a diferentes amenazas se cuenta con metodologías como las propuestas en Hazus-MH, y en CAPRA, las cuales se describen a continuación.

2.3.1 HAZUS

En HAZUS-MH se puede trabajar en tres diferentes niveles de análisis: el primer nivel emplea serie de datos nacionales (referido a Estados Unidos) y se utiliza únicamente para análisis regionales; el segundo nivel permite sustituir esos datos nacionales por datos locales logrando resultados más refinados y específicos para los análisis de las comunidades; el tercer nivel permite cambiar las relaciones funcionales, logrando que los usuarios puedan suministrar sus propias técnicas para el estudio de condiciones específicas, como se muestra en la Figura 2-2.

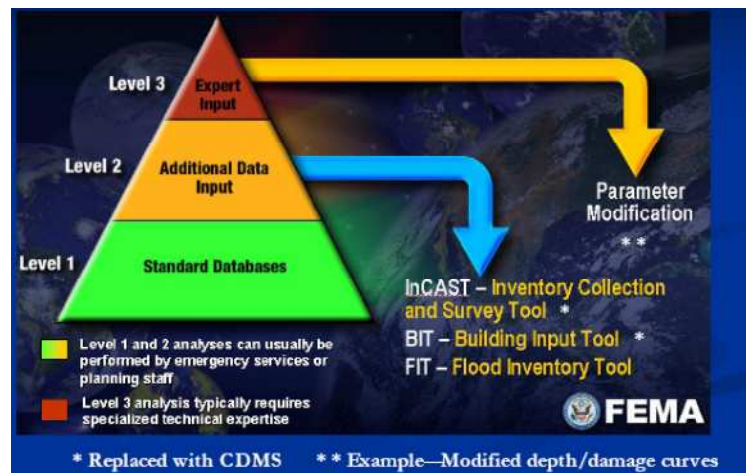


Figura 2-2. Niveles de análisis de HAZUS-MH (Cowdin y Leep, s.f.).

En HAZUS-MH se juntan conocimientos ingenieriles con la última tecnología de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para producir estimaciones de los daños relacionados con el riesgo de "antes" o "después" que se produce un desastre. Estas estimaciones, pretenden ser utilizadas para informar la toma de decisiones en todos los niveles de gobierno (local, regional y nacional), proporcionando una base razonable para el desarrollo de la mitigación, preparación, respuesta y recuperación de los planes y las políticas para evaluar los riesgos debido a inundaciones, a terremotos y a los huracanes (FEMA, 2010; HAZUS, 2010).

HAZUS-MH posee para cada amenaza un modelo de evaluación del riesgo, según su naturaleza (por inundaciones, por terremotos, por huracanes), los cuales se incluyen en módulos de software (FEMA, 2010). Del mismo modo, HAZUS-MH permite incluir en la evaluación diferentes tipos de pérdidas y/o daños tanto directos como indirectos, según los alcances de cada modelo y amenaza (ver Figura 2-3).

HAZUS-MH Models				
	Earthquake Ground Motion Ground Failure	Flood Frequency Depth Discharge Velocity	Hurricane Winds Pressure Missile Rain	
Direct Damage				
General Building Stock	■	■	■	■
Essential Facilities	■	■	■	■
High Potential Loss Facilities	■			
Transportation Facilities	■	■		
Lifelines	■	■		
Induced Damage				
Fire Following	■			
Hazardous Materials Sites	■			
Debris Generation	■	■		■
Direct Losses				
Cost of Repairs/Replacement	■	■	■	■
Income Loss	■	■	■	■
Crop Damage		■		
Casualties	■	Generic Output		
Shelter and Recovery Needs	■	■		■
Indirect Losses				
Supply Shortages	■	■		
Sales Decline	■	■		
Opportunity Costs	■	■		
Economic Loss	■	■		

Figura 2-3. Modelos de HAZUS-MH, (FEMA_graphics, 2010).

El módulo HAZUS-MH de terremoto contiene un modelo que permite estimar las pérdidas y daños causados por terremotos en edificios, en instalaciones esenciales, en el transporte y en las líneas de servicio público, basándose en ATC-13 (1985), FEMA-154 (2002), FEMA 155 (2002), entre otros. También aborda la generación de escombros de las construcciones, de incendios después de un terremoto, de las víctimas, de los requisitos de los refugios. Además, permite el análisis individual de los edificios para medir los efectos de las distintas medidas de mitigación (FEMA, 2010).

El módulo HAZUS-MH de inundación contiene un modelo que es capaz de: evaluar las inundaciones fluviales y costeras, estimar las posibles pérdidas y daños de los edificios, instalaciones esenciales, puentes, vehículos y los cultivos agrícolas. También se ocupa de la cantidad de desechos de construcciones que se generarán, así como los requisitos de refugios, y permite el análisis de la capacidad de presas/diques (FEMA, 2010; HAZUS, 2010).

El módulo HAZUS-MH para huracanes permite, a los usuarios de las regiones del Atlántico, de Hawái y la Costa del Golfo de los Estados Unidos, estimar los posibles daños y pérdidas de los edificios e instalaciones esenciales debido a los vientos de huracanes, también permite estimar las necesidades de refugio, y la cantidad de escombros debido a los árboles y construcciones (FEMA, 2010).

Por otra parte, cabe recordar que para el estudio del riesgo por desastre de los Estados Unidos se inició y se desarrolló HAZUS, no obstante, existe un considerable interés en la comunidad internacional tanto en la aplicación de la metodología HAZUS de estimación de daños y pérdidas, como de la aplicación del software para uso internacional. Por ello, el NIBS junto con FEMA han generado una posibilidad de evaluar las medidas que deben tomarse

para desarrollar una versión internacional aplicables de HAZUS. Para lo cual, las naciones interesadas tendrían que efectuar algunos pasos como parte de un estudio de viabilidad para la solicitud internacional de HAZUS, que se describen a continuación:

- Primer paso, determinar la viabilidad de la creación de las regiones de estudio dentro de HAZUS para otros países. Una "zona de estudio" es el área geográfica básica que se utiliza en HAZUS para la estimación de la pérdida. El desarrollo para otros países de HAZUS requiere la investigación de datos que pueden ser utilizados para rellenar las capas de datos, de los límites provinciales y otros límites jurisdiccionales.
- Segundo paso, determinar los datos y los métodos para caracterizar las amenazas (los terremotos, inundaciones, ciclones y otros peligros).
- Tercer paso, desarrollar una base de datos de inventario que sea compatible con el desarrollo HAZUS. Es decir, será necesaria la categorización de la demografía, la tipología de edificios, de servicios esenciales (hospitales, policía, bomberos, escuelas), de instalaciones de alto riesgo (represas, centrales nucleares), de transporte y líneas de servicio, de víctimas, de refugio, y de los metadatos, entre otras.

Otra consideración, es cómo modificar los parámetros del modelo en HAZUS, tales como las funciones de los daños, las funciones de restauración, relaciones de los daños, y los valores económicos de reemplazo a fin de reflejar el comportamiento de los edificios y los sistemas de línea vitales, en otros países. Los datos de números y tipos de víctimas como los requisitos de refugios de los acontecimientos recientes deben ser evaluados para formar parte de las modificaciones de los parámetros HAZUS. Una última tarea para los usuarios internacionales de HAZUS es la preparación de manuales de apoyo para orientar a los usuarios, incluidos los manuales técnicos y de usuario. También, pueden surgir las tareas de modificación de las aplicaciones del software, si el caso lo amerita (FEMA, 2010).

2.3.2 CAPRA

La iniciativa CAPRA surge como una necesidad para el completo entendimiento del riesgo de desastres en países Centroamericanos (Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá). Se concibe principalmente como una herramienta para la correcta comunicación, entendimiento y gestión del riesgo, haciendo uso de metodologías robustas para la evaluación de riesgos naturales, involucrando tecnologías computacionales y de comunicación de avanzada para la socialización de las amenazas naturales y sus posibles efectos.

Uno de los principales objetivos de CAPRA es la creación de una plataforma de software abierto que permita la modelación de los componentes previos al análisis de riesgos (amenaza, exposición y vulnerabilidad), y el cálculo probabilista del riesgo a partir de dichos insumos. El núcleo de esta plataforma es CAPRA-GIS, un sistema de información geográfica orientado al cálculo probabilista de riesgos.

La metodología CAPRA aplica los principios de evaluación probabilista de riesgo a las amenazas naturales como huracanes, terremotos, actividad volcánica, inundaciones, tsunamis y deslizamientos; permitiendo por lo tanto un lenguaje común para medir y comparar riesgos, aún en los casos futuros de riesgo climatológico asociados con el cambio climático. Además, en CAPRA se accederá de manera abierta por internet para obtener los resultados de los análisis desarrollados en formato SIG (Sistemas de Información Geográfica).

Para la evaluación de la amenaza, y la definición de la exposición y su vulnerabilidad, se desarrollaron programas independientes que permiten realizar las modelaciones pertinentes de manera compatible con CAPRA-GIS, conformando así un sistema integral de evaluación de riesgos naturales, que emplea metodologías acordes con el estado del conocimiento, presentadas de manera amigable y de fácil utilización.

ERN-AL desarrolló módulos para la evaluación de la peligrosidad (o amenaza), de la vulnerabilidad y del riesgo, los cuales se detallan a continuación (CAPRA, 2010):

- Módulo de evaluación de amenazas: permiten la generación de escenarios estocásticos, colectivamente exhaustivos y mutuamente excluyentes, que representan las condiciones de amenaza de una región. Entre los programas de computación desarrollados para la evaluación de la peligrosidad, se cuenta con: *CRISIS 2007*, programa de cálculo de amenaza sísmica y por tsunami; *ERN-Huracán*, programa de cálculo de amenaza por huracán; *ERN-LluviaNH*, programa de cálculo de amenaza por lluvias intensas, *ERN-Deslizamiento*, programa de cálculo de amenaza por deslizamientos; *ERN-Inundación*, programa de cálculo de amenaza por inundaciones; y *ERN-Volcán*, programa de cálculo de amenaza volcánica.
- Módulo de vulnerabilidad: este software permite la definición de curvas de vulnerabilidad, en los formatos requeridos para el análisis de riesgo. El programa computacional de creación y edición de funciones de vulnerabilidad es *ERN-Vulnerabilidad*. Además este software permite la gestión de bibliotecas, el uso de archivos en formato .fvu basados en xml, exportación e importación de curvas de vulnerabilidad definido por los puntos. Otro módulo importante creado por CAPRA es el definido como *Exposición*, en el cual se encuentran herramientas web

desarrolladas para la recopilación básica de los datos de activos que estarán expuestos, en términos de la ubicación geográfica de éstos, su geometría y una serie de características primordiales de los elementos de exposición.

- **Módulo de riesgo:** Es un sistema de cálculo del riesgo, que permite la visualización de los resultados de los módulos de amenaza, y la creación de proyectos de cálculo de riesgo. El programa de visualización y cálculo de Riesgo usa sistemas de información geográfica y se denomina *CAPRA-GIS*. Además la plataforma CAPRA manipula un software OpenSource como visor de mapas, llamado CAPRA WWJ, el cual utiliza herramientas de visualización de NASA-World Wind Java SDK ® engine para los diferentes formatos de archivos de dicha plataforma: formato *.AME* para peligrosidad, formato *shapefile* con extensión *.SHP* para bases de exposición, entre otros, (CAPRA, 2012). En la Figura 2-4 se muestra el ambiente grafico de los programas de riesgo y la estructura general de la plataforma CAPRA y algunas aplicaciones.

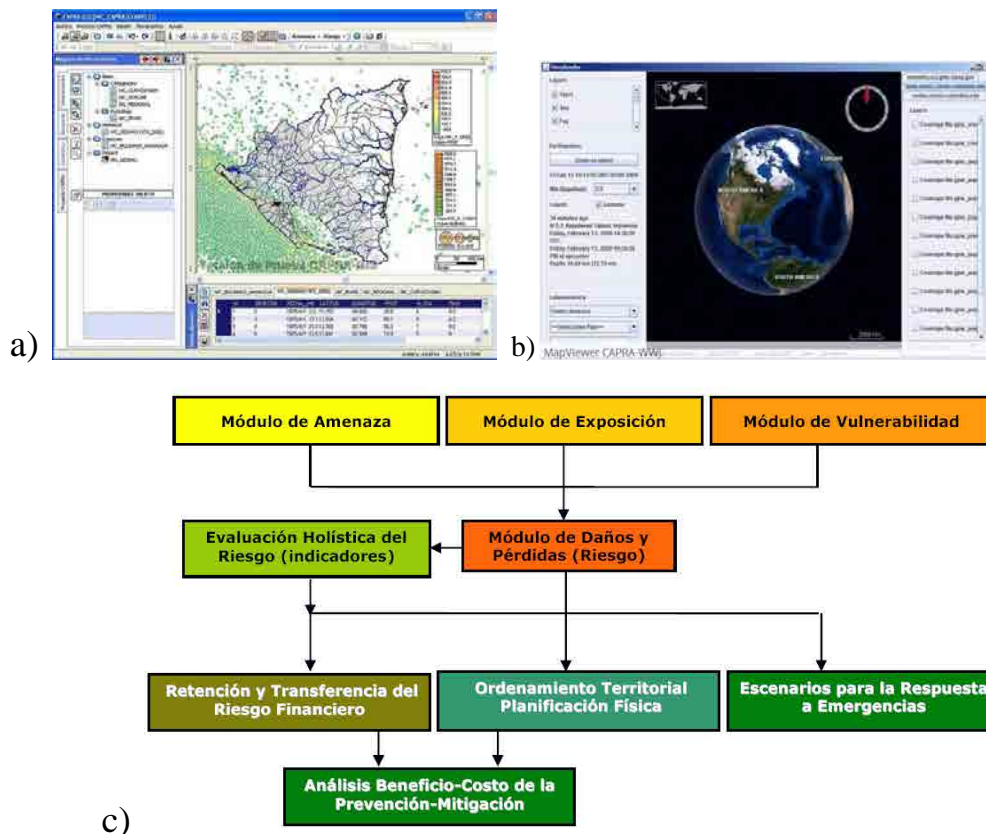


Figura 2-4. Pantallas de los software: a) CAPRA-GIS, b) CAPRA WWJ, (CAPRA, 2012) y c) Modelo Probabilista de Riesgo y algunas aplicaciones de ERN-AL (Cardona et al., 2011).

Los programas propuestos por HAZUS-MH y CAPRA son herramientas valiosas y de alto nivel que permiten evaluar el riesgo físico de zonas urbanas, considerando por separado cada una de las posibles amenazas naturales (terremotos, inundaciones, huracanes, entre otros) a las que se verá expuesta la zona a analizar. Además, CAPRA permite a los usuarios, una vez determinado el riesgo físico de cada amenaza, inter-relacionarlos para tener un análisis de riesgo debido a las multi-amenazas básicas.

2.4 EVALUACIÓN DEL CONTEXTO SOCIAL

Los términos relacionados con el ciudadano, los grupos sociales y la sociedad en su conjunto, así como con la cultura, la lengua, la religión, la salud y la seguridad son consideradas como parte del contexto social. La identificación y evaluación del contexto social puede ponderarse a través de las vulnerabilidades y/o fragilidades sociales, así como la falta de resiliencia en la sociedad.

La resiliencia puede tener concepciones tanto psicológicas o mecánicas como lo señala la real academia española, la cual la define como: a) “Psicol. Capacidad humana de asumir con flexibilidad situaciones límite y sobreponerse a ellas”. b) “Mec. Capacidad de un material elástico para absorber y almacenar energía de deformación”. Es importante aclarar que el término *resiliencia* es una castellanización de la palabra inglesa *resilience*, o *resiliency*, y existen varias concepciones para ésta (Kalawski y Haz, 2003). Por otra parte, la palabra resiliencia tiene su origen en el término “resilio” que significa: volver a atrás, volver de un salto, resaltar, rebotar. Sin embargo, Carpenter et al. (2001) definen resiliencia como la magnitud de las perturbaciones que se puede tolerar antes de que un sistema socio-ecológico (*Socioecological system*, SES) se mueva a una región diferente del espacio de estado controlado por un conjunto de procesos diferentes. En esta investigación se considerará resiliencia como la capacidad de un ecosistema, sociedad o comunidad de absorber un impacto negativo o de recuperarse una vez haya sido afectada por un fenómeno peligroso, como se consideró en Carreño (2006).

Usualmente se cuantifica el contexto social mediante indicadores, que representan cifras y valores que permiten describir aspectos complejos o intangibles de nuestras sociedades. Por ejemplo, el Producto Interno Bruto (PIB) o ingreso per cápita son valores que dan una idea general acerca del bienestar de la población en un país, aunque con ciertas limitantes, ya que por ejemplo el PBI no muestra completamente el bienestar de una población. Entonces, cabe preguntarse: ¿por qué se utilizan?; la razón es que tanto el PIB

como el ingreso per cápita articulan un acuerdo (o convención) respecto al bienestar. En la práctica, estos instrumentos actúan como indicadores.

Un indicador representa, de manera simplificada, una situación dada en el marco de un sistema mayor y generalmente complejo. Además de indicadores económicos, como los anteriores, se encuentran indicadores sociales, por ejemplo número de camas en hospitales por cada mil habitantes o indicadores ambientales como, por ejemplo, áreas protegidas.

A nivel mundial existen diferentes criterios y definiciones para cuantificar indicadores asociados a las vulnerabilidades sociales, éstos a su vez dependen del observador urbano que defina y/o valore los indicadores. Por ello, para identificar las tendencias mundiales en materia de indicadores urbanos como herramientas de síntesis de la complejidad urbana, que a su vez sea significativa y aplicable en la evaluación del riesgo sísmico desde una perspectiva holística, se han revisado los indicadores planteados por algunas fuentes (Estambul+5, 2001; ODM, 2003; ONU-Habitat, 2009; Carreño, 2006; Padrós, 2008).

Un Observatorio Urbano según UN-Hábitat (2010), puede ser un centro de investigación gubernamental o institución pública o privada que se designa como agente de cuyo seguimiento se desarrollan herramientas para la formulación de políticas a través de procesos de consulta. A manera de ejemplo tenemos el observador urbano de Chile² donde se podrá obtener a diferentes escalas (extensión espacial: local, regional, y nacional) de los indicadores organizados en áreas temáticas, como demografía, economía, edificación y uso del suelo, infraestructura, inversión y gestión pública, medio ambiente urbano, percepción ciudadana, servicios, sociedad, transporte, vivienda.

Las Naciones Unidas (UN) desde su origen, en el año 1946, hasta la actualidad ha permitido la generación de información urbana a través de conferencias significativas. Por citar algunas: a) En Estocolmo, Suecia, en junio de 1972, se origino el plan de acción para el medio ambiente humano; b) en Vancouver, Canadá, en mayo de 1976 se realizó la primera conferencia mundial sobre asentamientos humanos, conocida posteriormente como Hábitat I; c) en Ginebra, Suiza, en junio de 1987, se define desarrollo sostenible, a través del informe de la comisión mundial sobre el medio ambiente y desarrollo “Nuestro futuro común”; d) en Yokohama, Japón, en mayo de 1994, se realizó la primera conferencia mundial sobre la reducción de desastres, generando un viraje porque se enfatizó en las ciencias sociales; e) en Estambul, Turquía en el año 1996, se realizó la segunda conferencia de las Naciones Unidas sobre los asentamientos humanos (Hábitat II), recogiendo las directrices para la creación de asentamientos humanos sostenibles durante el siglo XXI; f) En 1997 se creó el protocolo de

² Observatorio Urbano ministerio de vivienda y urbanismo del Gobierno de Chile, Disponible en <http://www.observatoriourbano.cl/index.asp>.

Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (CMNUCC), acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de gases que causen el calentamiento global; g) El 8 de septiembre del año 2000 los 189 miembros de las Naciones Unidas adoptaron la llamada Declaración del Milenio basada en conferencias mundiales durante el decenio de 1990, la cual presenta un fuerte compromiso con el derecho al desarrollo, la paz y la seguridad, la igualdad de género, la erradicación de las numerosas dimensiones de la pobreza y el desarrollo humano sostenible, y se propuso los ocho objetivos de desarrollo del milenio y los indicadores que permitirían medir el logro de dichos objetivos, además estos indicadores sufrieron modificaciones en el año 2008; h) En New York, en junio de 2001, se retoma las conclusiones y logros del Hábitat II y se establecen los indicadores en lo que se luego se llamó indicadores en Estambul+5.

En el apartado 2.4.1 se mostrará un breve resumen de los diferentes criterios y definiciones para cuantificar al contexto social. Del amplio espectro de las conferencias de las Naciones Unidas, en el apartado 2.4.2 y 2.4.3 se describen los indicadores planteados en lo que actualmente se conoce como Estambul+5 (2001) y Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), respectivamente.

2.4.1 DIMENSIONES DE VULNERABILIDAD Y METODOLOGÍAS PARA EVALUARLAS

La vulnerabilidad urbana se genera de forma diferente en las escalas de la persona, la familiar, lo comunitario, la ciudad, las instituciones, entre otros. Históricamente, el enfoque de la vulnerabilidad a nivel de ciudad ha estado basado en la infraestructura física por encima de la social, como se ha reflejado en las metodologías de evaluación de riesgo en zonas urbanas planteadas en los proyectos HAZUS, RISK-UE y CAPRA, descritos en los apartados 2.2 y 2.3. Sin embargo, este enfoque está empezando a cambiar, gracias a que las autoridades reconocen la importancia de otros aspectos: la seguridad en la red social (incluyendo el apoyo a los ancianos y las personas sin hogar), el acceso a una buena calidad de educación y salud, y la aplicación y creación de normas de construcción, entre otros.

Por otra parte, la mercantilización de la vida urbana significa que, a diferencia de los contextos más rurales, se requiere dinero para satisfacer incluso las necesidades más básicas (agua, alimentos y refugio). Esto limita la capacidad de los más “vulnerables” y pobres para acumular activos, y para protegerse a sí mismos de los peligros. También hace que sea difícil recuperarse de los desastres, ya que al evaluar las pérdidas por el impacto en los activos acumulados, como por ejemplo la vivienda, hace que irremediamente se retrase el desarrollo. Además, debido a que la urbanización que está ocurriendo a un ritmo tan rápido

hace que los gobiernos en general no sean capaces de mantener un buen ritmo en la gestión del riesgo de desastres.

Además, las inundaciones, los terremotos y los impactos del cambio climático es probable que causen más muertes y daños en ciudades de rápido crecimiento con una alta exposición a los peligros naturales. El crecimiento industrial traerá consigo riesgos más tecnológicos.

La identificación y reducción de la vulnerabilidad no es tarea fácil en una época de rápida urbanización. Sin embargo, para algunos autores se han propuesto diferentes modelos de interpretar las vulnerabilidades, desde modelos simples a muy complejos (Cutter, 1996; Cardona, 2001; Villagrán De León, 2006; Birkmann, 2006; Roberts et al., 2009).

Diferentes grupos de investigación de todo el mundo proponen varios puntos de vista sobre la vulnerabilidad, lo cual es indicativo del hecho de que este campo sigue siendo difícil de definir. Sin embargo, aunque en un principio no era un objetivo de describir la vulnerabilidad en términos de elementos básicos, dos tendencias están surgiendo desde la última década del siglo XIX (Villagrán De León, 2006): a) El desarrollo de modelos que explican la vulnerabilidad y su dinámica en términos de las causas fundamentales que conducen a ella (como los de Cutter, 1996; Roberts et al., 2009), y b) El desarrollo de indicadores o índices que pueden permitir rastrear a través de los años la vulnerabilidad para comparar los países, ciudades, o las sociedades (como los propuestos en Cardona, 2001; Carreño, 2006; los diferentes modelos recopilados en Birkmann, 2006, de Oliveira, 2009).

Por otra parte, la evaluación de la vulnerabilidad se ha asociado con la vulnerabilidad a la pobreza, la cual puede ser entendida mediante dos partes: una, la falta de derecho y dos, el incierto bienestar, como lo expresó Guimarães (2007).

En base a la literatura común de las ciencias sociales sobre la vulnerabilidad, pero con carencias en la literatura de ciencia naturales, Villagrán de León (2006) plantea que se debe considerar para la vulnerabilidad: i) Las pérdidas tangibles versus intangibles (y las vulnerabilidades relacionadas); ii) Método teórico versus controlado para la medición de la vulnerabilidad; iii) El proceso y receptor considerado; iv) La dependencia de tipo de amenaza; v) La dependencia de la magnitud de la amenaza; vi) La vulnerabilidad relativa frente a la absoluta (esto último requiere puntos de referencia como una herramienta de medición, pero puede ser considerado como una escala lineal); vii) ¿Se basa la evaluación en los resultados históricos? (Si existe inclusión/exclusión de los eventos extremos, y la calidad de los reportes de los resultados polarizados); viii) Personificación Implícita (por ejemplo, el uso de proxies) versus explícita (por ejemplo, utilizando directamente los datos representativos); ix)

Consideración separada de la forma de la amenaza; x) La sencillez, la robustez y la capacidad de repetición (temporal y en otras escalas) del cálculo; y la xi) Capacidad de subir o bajar la escala del modelo (aplicación razonablemente a varias escalas a considerar). Mientras que Roberts et al. (2009) consideran que ha de tenerse en cuenta en un marco conceptual de la evaluación de la vulnerabilidad: La discriminación entre escala y nivel; la exposición versus la vulnerabilidad (no siempre es clara la división); la distinción entre vulnerabilidad y factores de vulnerabilidad; y la discriminación entre pobreza y vulnerabilidad.

La Vulnerabilidad es un concepto abstracto, mientras que los factores de vulnerabilidad son ideas u objetos concretos (Roberts et al., 2009). Por lo general las consecuencias a corto plazo de un evento están dominadas por la exposición física, mientras que las consecuencias a largo plazo están dominadas por los factores del campo metafísico (ver Figura 2-5). Una mayor comprensión de la vulnerabilidad, sin embargo, requiere un examen más detallado de los factores de vulnerabilidad, el contexto local, y el campo metafísico. Un modelo conceptual de la cuantificación de la vulnerabilidad de la inclusión de estos elementos ha sido desarrollado para ayudar a esta comprensión (ver Figura 2-6). El modelo puede ser considerado como un módulo que encaja en el modelo conceptual más general de riesgo (ver Figura 2-5).

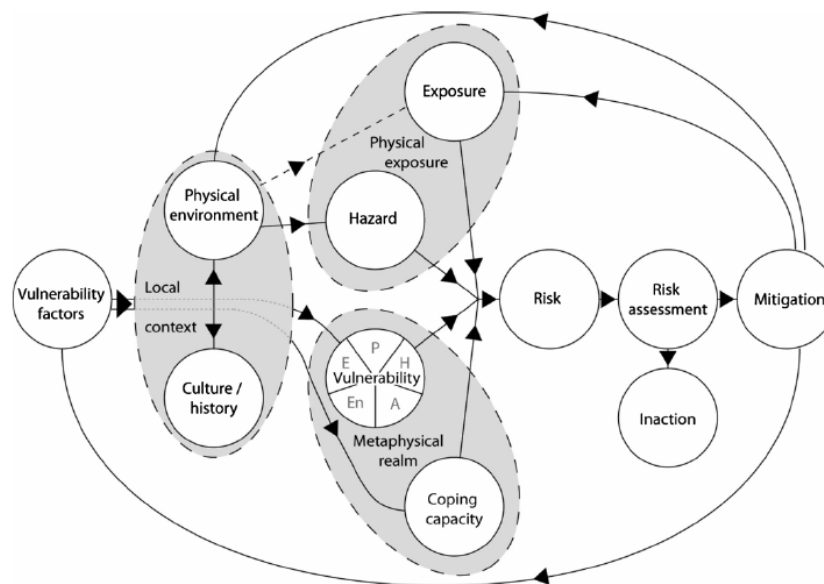


Figura 2-5. Modelo propuesto para la conceptualización de la vulnerabilidad del contexto dentro de evaluación del riesgo, (Roberts et al., 2009).

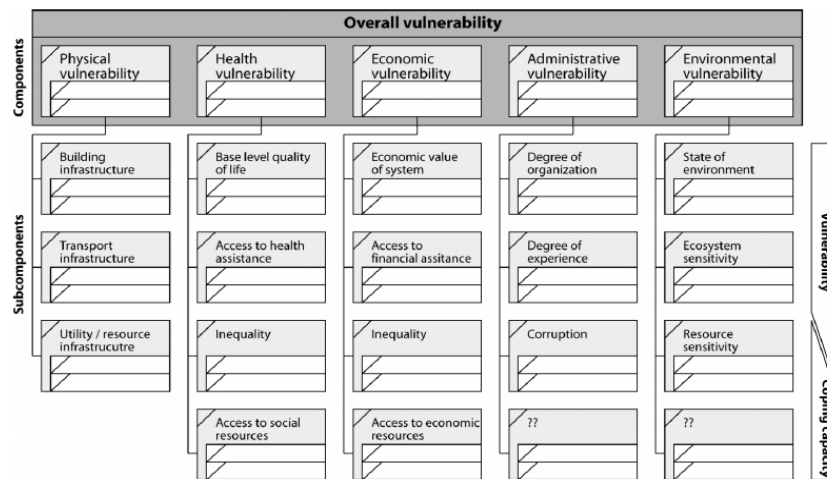


Figura 2-6. Componentes del modelo conceptual para cuantificar la vulnerabilidad, (Roberts et al., 2009).

Se puede decir que, es común identificar en la vulnerabilidad las siguientes características: a) Multi-dimensional (por ejemplo, física, social, económico, ambiental, institucional y factores humanos definen la vulnerabilidad); b) Dinámica (cambios de vulnerabilidad a través del tiempo); d) Dependencia de la escala (la vulnerabilidad puede ser expresado en diferentes escalas- a la comunidad, a país); e) El sitio específico (cada lugar que tenga su propio enfoque). Como en este trabajo se pretende realizar una evaluación holística del riesgo sísmico en zonas urbanas es necesario considerar las componentes de la vulnerabilidad y combinación de métodos cualitativos y cuantitativos que han empleado las ciencias sociales, y así lograr evaluar la vulnerabilidad del contexto social de forma integral.

2.4.2 ESTAMBUL+5 (2001)

Desde las últimas décadas del siglo XX, se han generado conferencias mundiales que han marcado un antes y un después en el enfoque de las problemáticas emanadas de los asentamientos urbanos. Siendo pionera la Conferencia Mundial del Hábitat (Hábitat I), celebrada en la ciudad de Vancouver, Canadá en 1976. La aportación principal de esta conferencia fue la creación de la Comisión de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos y su secretariado: el Centro de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (CNUAH-Hábitat, ONU Hábitat o UN-Hábitat) con sede en Nairobi, Kenya. Hábitat I también permitió un aumento en la sensibilidad de los administradores y forjadores de políticas frente a los problemas de los asentamientos urbanos, así como a identificar y evaluar soluciones prácticas para los mismos.

La segunda Conferencia de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (Hábitat II), celebrada del 3 al 14 de junio de 1996, en Estambul, Turquía, tuvo como propósito tratar dos temas de importancia global: vivienda digna para todos y asentamientos humanos sostenibles en un mundo en creciente proceso de urbanización. Durante los veinte años que transcurrieron entre las conferencias I y II del Hábitat se efectuaron otras diferentes conferencias mundiales, sobre las cuales Hábitat II reafirmó sus resultados y los desarrolló en una agenda para los asentamientos humanos, llamada la Agenda Hábitat, y aprobó la declaración de Estambul como reflejo de los compromisos de los Estados para la solución de los problemas abordados en la Conferencia. En la Agenda de Hábitat (plan de acción mundial) se recoge las directrices para la creación de asentamientos humanos sostenibles durante el siglo XXI, teniendo en cuenta, entre otras, su relación con el medio ambiente, los derechos humanos, el desarrollo social, los derechos de la mujer, la población y otros temas anexos. En la declaración de Estambul se destacan siete prioridades principales dentro del Programa Hábitat: pautas de consumo y producción insostenibles, particularmente en los países industrializados, cambios demográficos insostenibles, las personas sin hogar, el desempleo, la falta de infraestructura y servicios básicos, la intensificación de la inseguridad y de la violencia, y el aumento de la vulnerabilidad frente a desastres.

Cinco años después de la conferencia Hábitat II (en junio de 2001) se realizó, en la ciudad de Nueva York, una sesión Especial de la Asamblea General de Naciones Unidas, que se denominó Estambul +5, con el fin de revisar y evaluar la aplicación de la Agenda de Hábitat.

Como resultado de la asamblea, la CNUAH (Hábitat) ha elaborado un sistema de indicadores para medir el desempeño y las tendencias en las áreas principales seleccionadas y para medir los avances en la implementación de la Agenda Hábitat. Los indicadores se clasifican en seis capítulos y se subclasifican en veinte áreas principales del Formato Universal de presentación de informes de Estambul +5. El sistema está constituido por un conjunto de veintitrés indicadores clave y nueve listas de datos cualitativos, ver Tabla A.1 del anejo A, (ONU-Habitat, 2009; Padrós, 2008).

Los indicadores clave o principales, comprenden indicadores que son importantes para la política y también fáciles de recolectar, y son números, porcentajes e índices; mientras que los datos cualitativos o listas de comprobación, aportan una evaluación de las áreas que no se pueden medir fácilmente en términos cuantitativos. Esta evaluación consiste en preguntas de auditoría que por lo general se acompañan de cuadros de verificación para respuestas de “Sí” o “No”. Por otra parte, los indicadores dan un cuadro amplio de las ciudades, el cual, en

conjunción con otros indicadores que pueden ser seleccionados por los países, aportará una base cuantitativa y comparativa con respecto a la condición de las ciudades y revelará el progreso encaminado al logro de los objetivos urbanos.

En la Agenda Hábitat cada indicador se describe mediante un conjunto de datos mínimos con explicación sobre los siguientes aspectos: *Importancia* de cada indicador para el análisis de las condiciones urbanas y las tendencias en su significado; *Definiciones adoptadas* por el CNUAH de acuerdo con las normas internacionales, a fin de facilitar las comparaciones de datos, en lo posible; *Metodología* para obtener y recolectar los datos, específicamente en lo referente a fuentes de información, como también para calcular los resultados; *Formas y métodos* para tomar en consideración el Género con respecto a cada indicador; *Nivel de recolección* para saber si cada indicador se debe recolectar a nivel de país o a nivel de ciudad; *Vínculo entre los indicadores* a fin de relacionar el análisis del resultado de cada indicador con otros, por ejemplo la violencia urbana (dato cualitativo 2) se podría relacionar con los indicadores clave: tasa de delincuencia (9), hogares pobres (10) y desempleo (22) (ONU-Habitat, 2009).

2.4.3 OBJETIVOS DE DESARROLLO DEL MILENIO (ODM)

Los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) se originaron como resultado de las diversas cumbres internacionales celebradas durante la década de los noventa (90's), y se consolidaron en el año 2000 al celebrarse la Cumbre del Milenio, donde 189 estados miembros de la ONU firmaron la Declaración del Milenio [A/RES/55/2] comprometiéndose a erradicar la pobreza extrema en todas sus formas y favorecer el desarrollo para el año 2015. Esta cumbre ha sido la única que establece un acuerdo global con metas e indicadores cuantificables a la multiplicidad de compromisos firmados por los países. Así mismo, estableció formas de medición para evaluar sus avances y cumplimiento.

Por ello, los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) definidos como indivisibles y sinérgicos se estructuran en ocho (8) objetivos generales; cada objetivo dispone de una o varias metas a satisfacer, siendo en total dieciocho (18) metas; a su vez, cada meta dispone de un conjunto de indicadores acorde con ésta y el objetivo a cumplir, siendo en total cuarenta y ocho indicadores (48) para medir el progreso entre 1990 y 2015. En la Tabla A.2 del anejo A se muestra los objetivos, metas e indicadores incluidos en los ODM para el año 2003, (ONU-Habitat, 2009).

En la Cumbre Mundial del 2005 se acordó agregar 4 nuevas metas al marco de monitoreo vigente a la fecha, que permitieran una mejor supervisión cuantitativa de los objetivos ya planteados. Se relevaron los temas de empleo productivo, acceso a servicios de salud reproductiva, acceso a tratamiento para el VIH y biodiversidad. La selección de los nuevos indicadores relativos a estas metas fue encargada al Grupo *Inter-Agencial y Expertos en Indicadores ODM* (IAEG). El IAEG presentó el Nuevo Marco Oficial de Monitoreo para los Objetivos de Desarrollo del Milenio en la Asamblea General en su 62ª Sesión en 2007, el cual será utilizado para reportar anualmente a la Asamblea General y se espera sirva para el seguimiento de los ODM en todos los asuntos oficiales. Dicho marco, vigente a partir de enero del 2008 contiene 21 metas y 60 indicadores reenumerados correlativamente de acuerdo a los respectivos objetivos y metas. Además, algunas metas e indicadores fueron eliminados y otros reformulados, cómo se observa en la Tabla A.3 del anejo A, donde se presenta la nueva numeración y correspondencia con la antigua numeración (ONU-Habitat, 2009).

2.5 EVALUACIÓN HOLÍSTICA DEL RIESGO SÍSMICO

Por otra parte, si se incluyen conjuntamente términos físicos y de vulnerabilidad social en la evaluación del riesgo sísmico de zonas urbanas, se plantearía un enfoque integral u holístico de la evaluación de dicho riesgo, como se explica en las investigaciones pioneras de Cardona (2001). En dicho trabajo se desarrolló un marco conceptual y un modelo de análisis de riesgo sísmico de una ciudad desde una perspectiva holística. El modelo se construyó para guiar la toma de decisiones en la gestión de riesgos, ayudar a identificar zonas críticas de la ciudad y su vulnerabilidad. Este modelo ha ido sufriendo modificaciones para ser cada vez más versátil y robusto, como lo expresa Carreño (2006) y Marulanda et al. (2009).

Desde la perspectiva holística, el riesgo sísmico requiere de una evaluación multidisciplinar que estudie el daño físico esperado (el tipo o número de víctimas y las pérdidas económicas), la falta de capacidad de una sociedad para reponerse ante un evento catastrófico (falta de resiliencia) y la fragilidad social (Carreño, 2006). Así que en el enfoque holístico de la evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas es de vital importancia cuantificar el contexto social.

El daño físico esperado, el número o tipo de víctimas y las pérdidas económicas, se consideran como los efectos directos, o efectos de primer orden, ocasionados en una zona urbana cuando un evento catastrófico impacta sobre ésta; mientras que las condiciones relacionadas con la falta de resiliencia y la fragilidad social son considerados como origen de efectos de segundo orden, pues favorecen a un aumento de los efectos directos.

Este modelo, en su primera presentación, considera las variables de riesgo “duro” y “blando” del centro urbano (ver Figura 2-7), teniendo en cuenta la exposición, las características, socio-económicas de las diferentes zonas de la ciudad y su capacidad de resistir desastres o su grado de resiliencia desde diferentes disciplinas profesionales (Cardona y Barbat, 2000). En la Figura 2-7 se observa que, desde esta perspectiva holística el riesgo (R) es una función de las amenazas (H_i) teniendo en cuenta las intensidades potenciales (I) de los fenómenos y de los factores (ϵ_i) de la vulnerabilidad (V) en un período de tiempo t . Por lo tanto, El riesgo es función de los daños potenciales (D) del contexto material (*riesgo duro*) y de las fragilidades socioeconómicas (F) y de la falta de resiliencia ($-R$) del contexto social (*riesgo blando*); contextos que constituyen el sistema socio-técnico propenso a desastres.

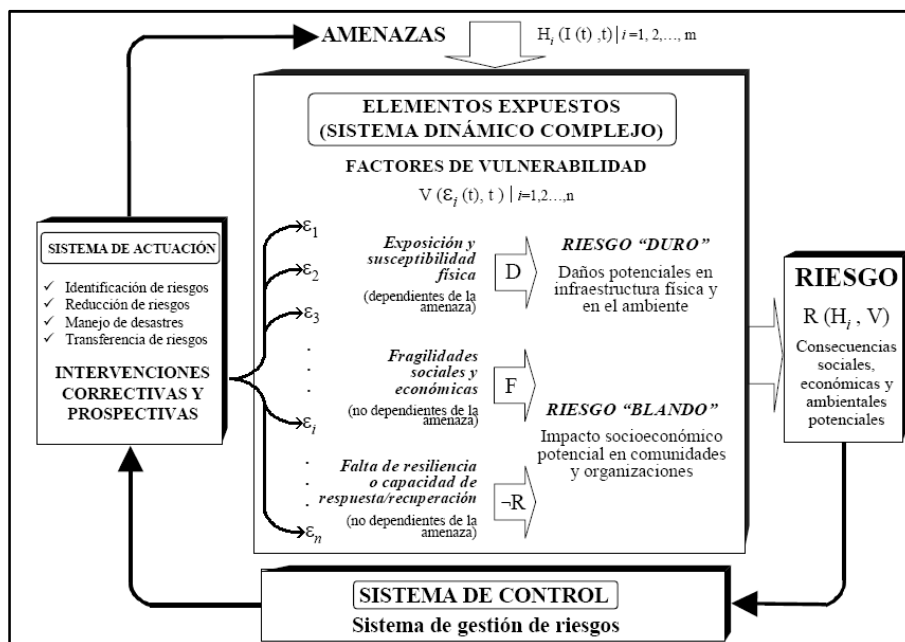


Figura 2-7. Marco teórico del primer enfoque holístico de evaluación y gestión del riesgo de desastre, planteado por Cardona (2001) y Carreño et al. (2005).

Para la modelización del riesgo sísmico bajo el enfoque holístico o integral, Cardona (2001) formuló un índice de riesgo físico (IR_H) a partir de las estimaciones de los escenarios de daños por sismo, que son el resultado de la convolución de la amenaza y la vulnerabilidad física. Por otra parte, se propuso un índice de riesgo del contexto (IR_s) a partir de la estimación de un descriptor de amenaza sísmica relativa (H_s) y de su convolución con un descriptor de vulnerabilidad del contexto (V_s) basado en indicadores de exposición (E_v), fragilidad social (F_v) y resiliencia (R_v); como se muestra en la Figura 2-8.

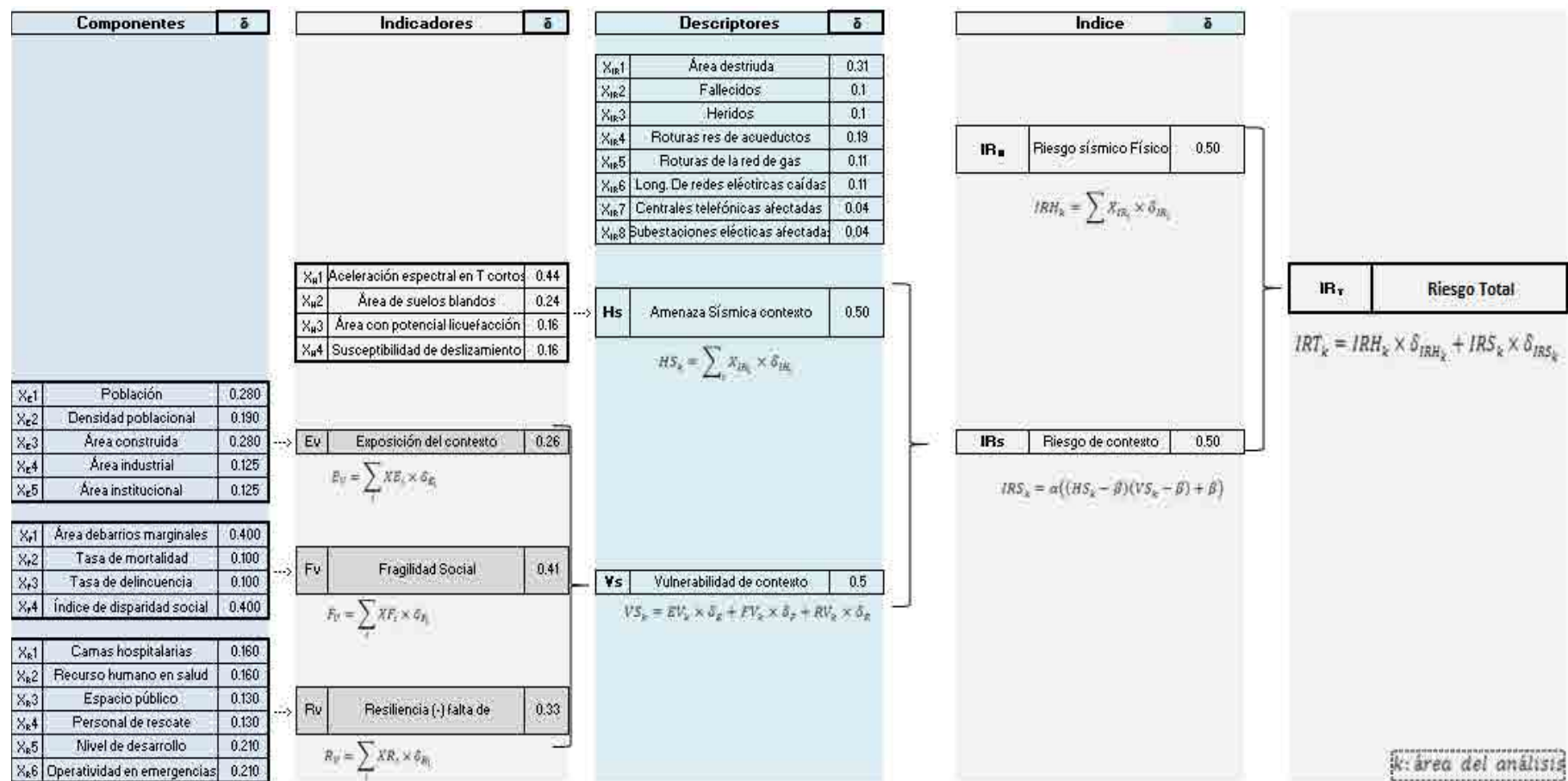


Figura 2-8. Componentes, indicadores, descriptores, índices, y sus ponderaciones para la ciudad de Bogotá (Cardona, 2001).

La metodología inicial, de Cardona (2001), para la estimación holística y relativa del riesgo sísmico urbano parte de la identificación de unas unidades de análisis, k , que son las áreas³ para las cuales se determina el índice de riesgo total, IRT_k , que se obtiene mediante la ecuación 2.10.

$$IRT_k = IRH_k \times \delta_{IRH_k} + IRS_k \times \delta_{IRS_k} \quad \mathbf{2-10}$$

Donde: IRH_k es el índice de riesgo sísmico físico (duro), que está basado en descriptores obtenidos de los estimadores de las pérdidas potenciales urbanas que pueden causar los futuros eventos sísmicos; IRS_k es un índice de riesgo sísmico de contexto (blando), obtenido del valor escalado del producto de los descriptores de amenaza sísmica y de vulnerabilidad del contexto; y δ_{IRH_k} y δ_{IRS_k} son los factores de participación de cada índice para cada área del análisis, k .

El índice de riesgo sísmico físico, IRH_k , viene dado por la sumatoria del producto de cada indicador i (X_{IR_i} , obtenido de la información de los escenarios de pérdidas) y su respectivo factor de participación (δ_{IR_i}) para cada área de análisis, k , como se expresa en la ecuación 2.11.

$$IRH_k = \sum X_{IR_i} \times \delta_{IR_i} \quad \mathbf{2-11}$$

El índice de riesgo sísmico del contexto, IRS_k , se puede estimar, mediante la ecuación 2.12.

$$IRS_k = \alpha((HS_k - \beta)(VS_k - \beta) + \beta) \quad \mathbf{2-12}$$

Donde: HS_k es el descriptor de la amenaza sísmica del contexto, VS_k es el descriptor de la vulnerabilidad del contexto y, Cardona (2001) define α , α y β como constantes de visualización a los que se les asignan los valores de 0,8 y 4, respectivamente⁴.

El descriptor de amenaza sísmica del contexto, HS_k , es definido como la sumatoria del producto de cada indicador i (X_{IH_i} , obtenido a partir de un estudio de microzonificación sísmica urbana) y su respectivo factor de participación (δ_{IH_i}) para cada área de análisis, k ; es decir según la ecuación 2.13.

³ Áreas que conforman un centro urbano como: distritos, localidades, alcaldías menores o barrios.

⁴ Valores arbitrarios que permiten que los resultados se puedan representar en gráficos de barras con valores siempre positivos.

$$HS_k = \sum_i X_{IH_i} \times \delta_{IH_i} \quad 2-13$$

El descriptor de la vulnerabilidad de contexto, VS_k , se definió, mediante la ecuación 2.14.

$$VS_k = EV_k \times \delta_E + FV_k \times \delta_F + RV_k \times \delta_R \quad 2-14$$

Donde: EV_k , FV_k , RV_k son indicadores de exposición, fragilidad social y falta de resiliencia, respectivamente, y δ_E , δ_F , δ_R son sus factores de participación para cada área de análisis k , se entiende que para cada unidad k el descriptor de vulnerabilidad se calcula, mediante la ecuación 2.15.

$$VS_k = \left(\sum_i XE_i \times \delta_{E_i} \right) \times \delta_{E_k} + \left(\sum_i XF_i \times \delta_{F_i} \right) \times \delta_{F_k} + \left(\sum_i XR_i \times \delta_{R_i} \right) \times \delta_{R_k} \quad 2-15$$

Siendo XE_i , XF_i , XR_i los valores de los indicadores i que componen la exposición, la fragilidad social y la falta de resiliencia, respectivamente, y δ_{E_i} , δ_{F_i} y δ_{R_i} son sus participaciones para cada indicador i y para cada área de análisis k .

Como lo expresó Cardona (2001), los índices, los descriptores, los factores e indicadores deben definirse en base a información disponible que exista para todas las unidades de análisis. Debe evitarse el uso simultáneo de variables o indicadores que reflejen aproximadamente el mismo aspecto, dado que en el modelo aditivo las variables son mutuamente excluyentes.

Los indicadores, descriptores, factores e índices, deben ser escalados en unidades compatibles y medibles, o simplemente conmensurables, para realizar la combinación lineal de éstos. Por ello, la técnica adoptada por Cardona (2001), para realizar el escalado a unidades conmensurables se apropió de escalar con respecto a la media (\bar{X}_i) y la desviación estándar (S_i) como se indican en la ecuación 2.16.

$$X'_{ik} = \frac{X_{ik} - (\bar{X}_i - \beta S_i)}{\alpha S_i} \quad \text{ó} \quad X'_{ik} = \frac{-X_{ik} + (\bar{X}_i + \beta S_i)}{\alpha S_i} \quad 2-16$$

Donde: X'_{ik} y X_{ik} son el valor escalado y el dato inicial para la localidad k y el indicador i , respectivamente; α y β son constantes de visualización relacionadas con la media y la desviación estándar, que deben mantenerse durante todo el proceso de escalamiento.

La ecuación 2.16 cambia para el caso de los indicadores de falta de resiliencia que son inversos a la vulnerabilidad. Este proceso normaliza los indicadores expresándolos en forma relativa, es decir, que los resultados sólo pueden compararse entre ellos mismos. Además una vez que los indicadores sean conmensurables, se debe realizar su ponderación. Los factores de participación son calculados mediante el proceso analítico jerárquico (PAJ). En la Figura 2-8 se presenta el árbol de índices, descriptores e indicadores y sus respectivas ponderaciones (δ) que se utilizó en esta metodología, los cuales están de acuerdo con la información disponible para la ciudad de Bogotá, Colombia, ciudad en la cual se aplicó por primera vez esta metodología, (Cardona, 2001).

Posteriormente, Carreño (2006) modificó la metodología descrita anteriormente, eliminando los procesos de normalización (utilizando la media y desviación estándar) para cada descriptor y cada índice calculado, haciendo que los resultados obtenidos sean absolutos y no relativos, permitiendo así la comparación entre ciudades diferentes.

Con este nuevo estudio para la metodología de la evaluación holística del riesgo sísmico, la amenaza sísmica y la exposición física, han sido eliminadas. Razón por la cual, éstas ya se contemplan dentro del cálculo del riesgo físico. Además, el descriptor componente de la exposición de contexto de la densidad poblacional del modelo de Cardona, pasa a ser parte de la fragilidad social. Otro cambio en el modelo es las unidades en que se expresaban algunos de los descriptores (representadas en función de la población de la zona de estudio, y no con respecto al área, tal y como se propuso inicialmente). Finalmente, se conserva el uso de los conjuntos difusos.

Como consecuencia de lo anterior, el modelo final resultó ser más sólido; teórica y analíticamente. De esta forma la evaluación holística del riesgo sísmico se realiza a partir de variables de entrada: riesgo físico, fragilidad socio-económica y, la falta de resiliencia del centro urbano (denominados “descriptores” por Carreño (2006)). El marco teórico de la metodología y las variables mencionadas se muestran en la Figura 2-9.

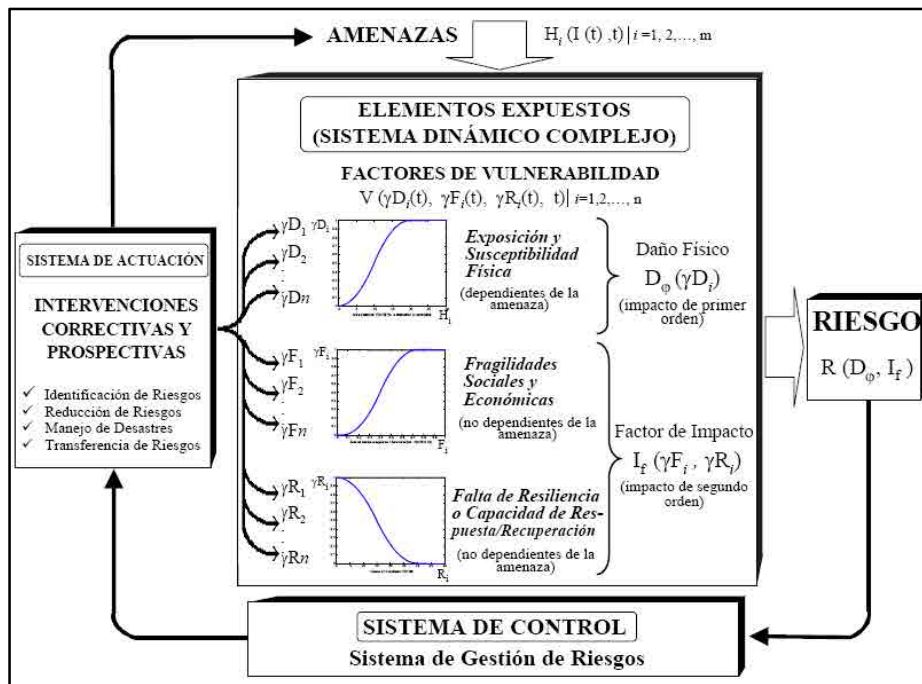


Figura 2-9. Nueva versión de la metodología de la evaluación holística y gestión del riesgo de desastres, por Cardona, y actualizado por Carreño (2006).

A continuación se explican los cálculos para el índice de riesgo total siguiendo la metodología de evaluación holística de riesgo sísmico planteada por Carreño (2006). El Riesgo Total (R_T) se expresa mediante la ecuación de Moncho⁵, ecuación 2-17.

$$R_T = R_F(1 + F) \quad 2-17$$

Donde: R_F es el *riesgo físico o impacto directo* de un evento catastrófico que golpea a una unidad de estudio; $(1 + F)$ es un factor de impacto, que depende de F que es un coeficiente de agravamiento que depende de la fragilidad socio-económica (FS) y de la falta de resiliencia del contexto (FR). Para el caso de un sismo o evento sísmico, el riesgo total puede ser llamado como el índice de riesgo sísmico urbano (USR_i) por su acrónimo inglés *Urban Seismic Risk Index*, dado en la ecuación 2-18.

$$R_T = USR_i = R_F(1 + F) \quad 2-18$$

El riesgo físico (R_F) se obtiene mediante la suma ponderada de factores de riesgo físico, como se indica en la ecuación 2.19.

⁵ Esta denominación se la dio un grupo de expertos en uno de los talleres de trabajo del proyecto BID-IDEA, realizado en Barcelona en noviembre de 2003 (Cardona, 2005).

$$R_F = \sum_{i=1}^p w_{RF_i} \times F_{RF_i} \quad 2-19$$

Donde: F_{RF_i} es el factor de riesgo obtenido usando funciones de transformación del valor bruto del descriptor de riesgo físico i ; w_{RF_i} es el peso para cada factor; y p es el número total de descriptores de riesgo físico. Los pesos deben sumar uno y se obtienen utilizando el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ).

El coeficiente de agravamiento (F) está constituido por dos tipos de factores: de fragilidad social, y de falta de resiliencia. La fragilidad social la constituyen indicadores socio-económicos de características que pueden afectar negativamente una comunidad, como mortalidad, delincuencia, disparidad social. La falta de resiliencia tiene en cuenta el inverso de indicadores positivos para una comunidad, relacionados con la capacidad de respuesta que puede tener la misma ante un desastre. De esta forma el factor de agravamiento (F) se obtiene de la suma ponderada de los factores de agravamiento por fragilidad social (F_{FS_i}) y por falta de resiliencia (F_{FR_j}), en donde cada uno de estos factores utiliza pesos (w_{FS_i} y w_{FR_j}) que toman en consideración su importancia relativa, los cuales suman uno (1) y se calculan utilizando el proceso analítico jerárquico (PAJ). Así que, F se obtiene, de la ecuación 2-20.

$$F = \sum_{i=1}^m w_{FS_i} \times F_{FS_i} + \sum_{j=1}^n w_{FR_j} \times F_{FR_j} \quad 2-20$$

Donde m y n indican el número total de descriptores para fragilidad socio-económica y para falta de resiliencia, respectivamente. Los pesos de ponderación deben cumplir la relación, dada en la ecuación 2-21.

$$\sum_{i=1}^m w_{FS_i} + \sum_{j=1}^n w_{FR_j} = 1 \quad 2-21$$

De acuerdo con los autores, de esta metodología (Carreño et al., 2005), se estima que el coeficiente de agravamiento de un evento (F) puede tomar valores desde cero hasta uno.

En conclusión, como se indicó en la Figura 2-9, el modelo de cálculo general del USR_i se obtiene siguiendo el procedimiento siguiente: conocidas tanto las variables de entrada o indicadores de daño (Di) como los indicadores de fragilidad socio-económica (Fi) y los indicadores de falta de resiliencia (Ri), estos indicadores se transforman mediante sus

respectivas funciones de transformación ($\gamma H_i, \gamma F_i, \gamma R_i$) a factores, commensurables, tanto de daño físico ($D_\phi(\gamma H_i)$) como de agravamiento ($I_f(\gamma F_i, \gamma R_i)$), los cuales se sustituyen en la ecuación 2-17 para así obtener el índice de riesgo sísmico urbano o el riesgo total, $R(D_\phi, I_f)$.

A continuación se muestran las funciones de transformación tanto para los indicadores de riesgo físico sísmico (de área destruida, muertos, heridos, daños en la red de acueducto, daños en la red de gas, redes eléctricas caídas), en la Figura 2-10; como para los indicadores de fragilidad social (área de barrios marginales/área localidad, tasa de mortalidad, tasa de delincuencia, densidad de población), en la Figura 2-11; y para los indicadores de falta de resiliencia (camas en hospitales, recursos humano en salud, espacio público, personal de rescate, nivel de desarrollo, operatividad en emergencia), en la Figura 2-12. Finalmente, en la Figura 2-13 se muestra el esquema para el cálculo del índice de riesgo sísmico total (USR_i), expresando los factores: de riesgo físico (F_{RF_i}), de fragilidad social (F_{FS_i}), y de falta de resiliencia (F_{FR_i}) definidos por Carreño (2006).

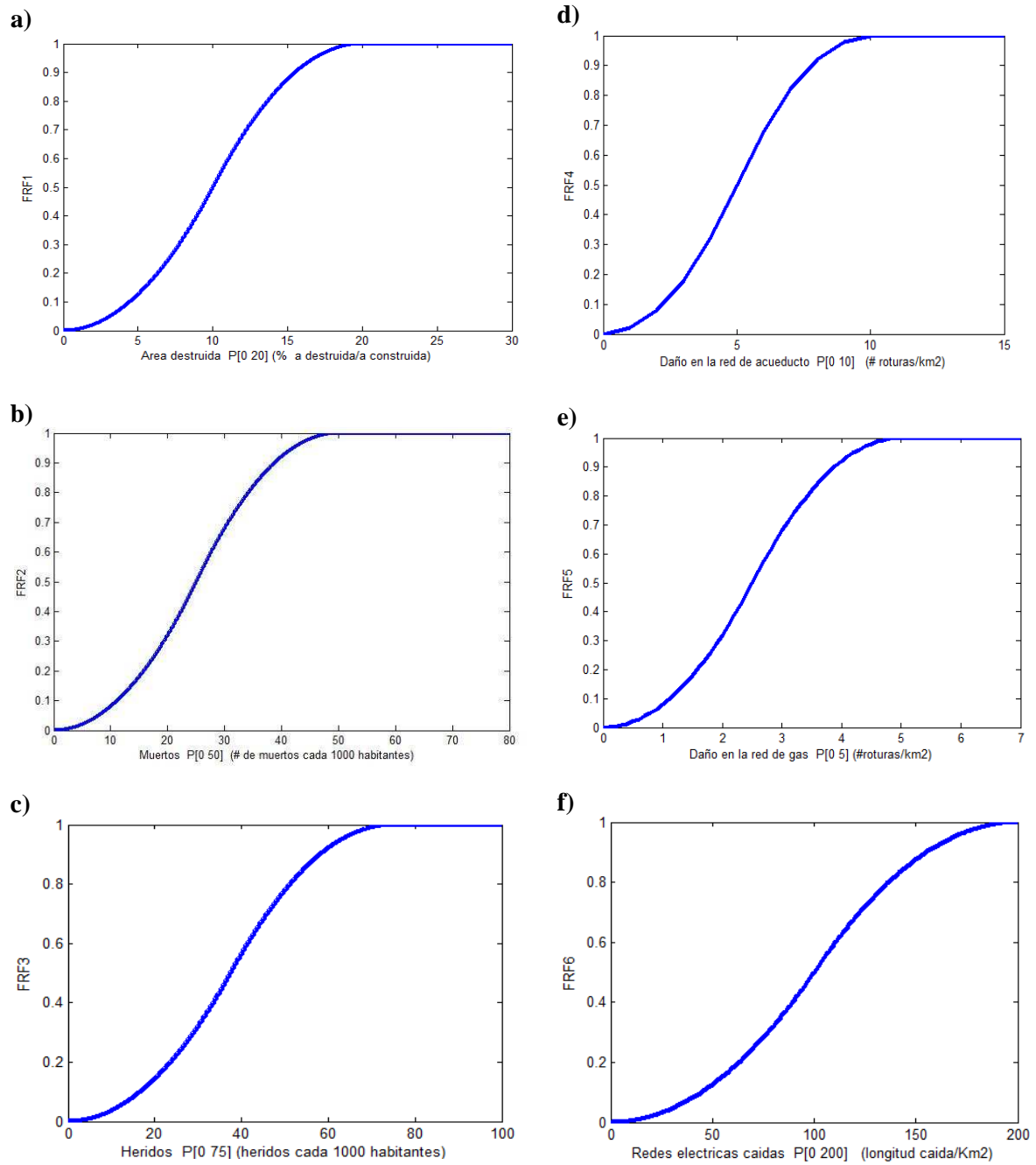


Figura 2-10. Funciones de transformación para obtener los factores de riesgo físico sísmico, FRF_i , (Carreño, 2006).

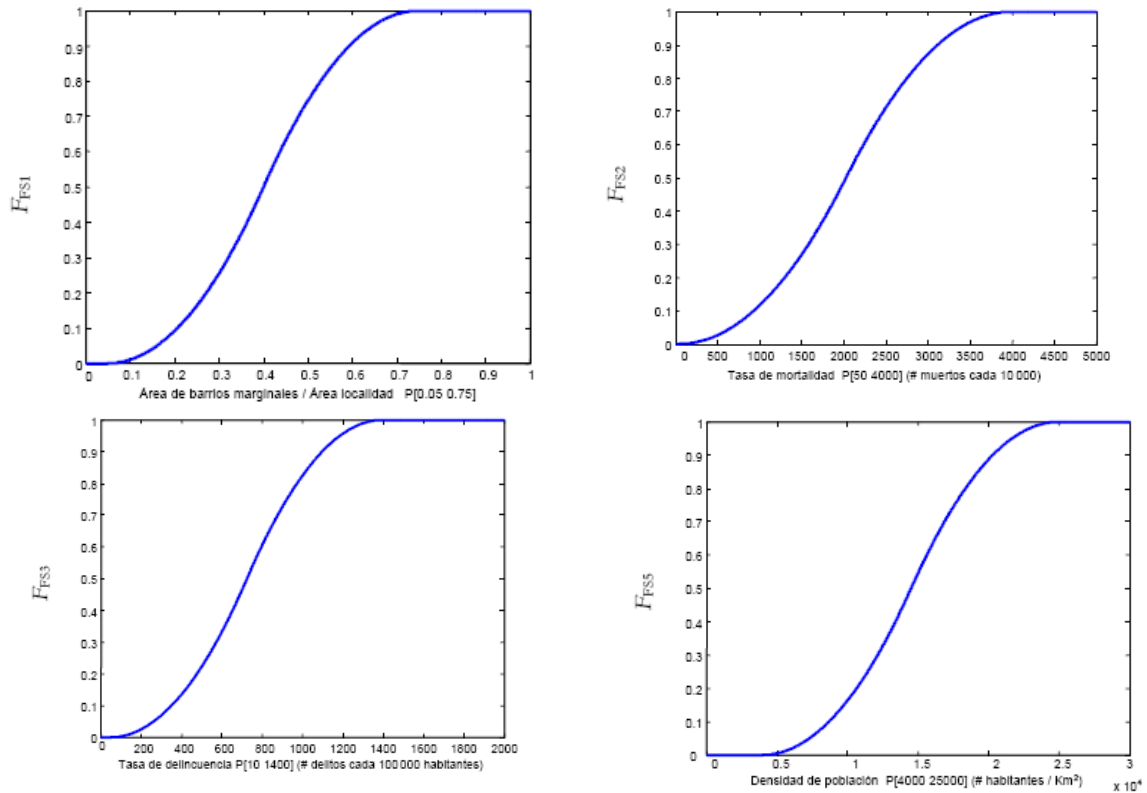


Figura 2-11. Funciones de transformación para obtener los factores de agravamiento por fragilidad social (F_{FS}), (Carreño, 2006).

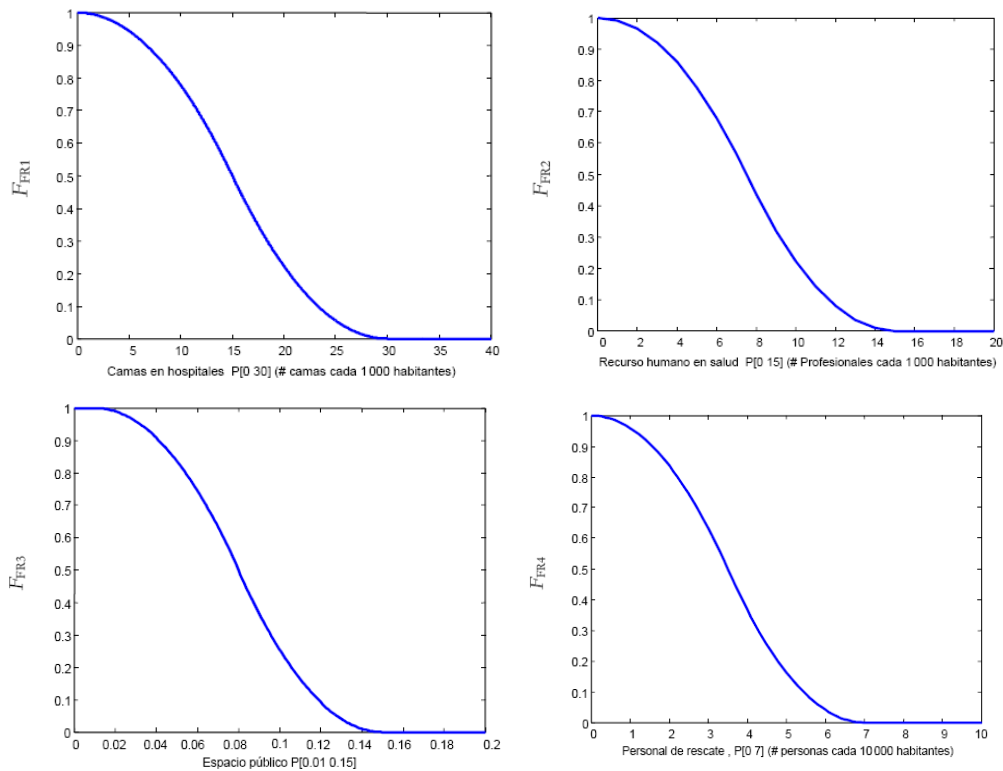


Figura 2-12. Funciones de transformación para obtener los factores de agravamiento por falta de resiliencia (F_{FR}), (Carreño, 2006).

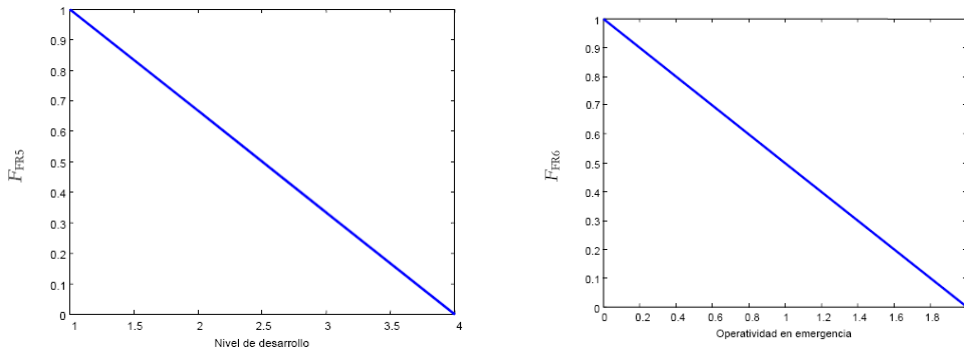


Figura 2-12 (Continuación). Funciones de transformación para obtener los factores de agravamiento por falta de resiliencia (F_{FRi}), (Carreño, 2006).

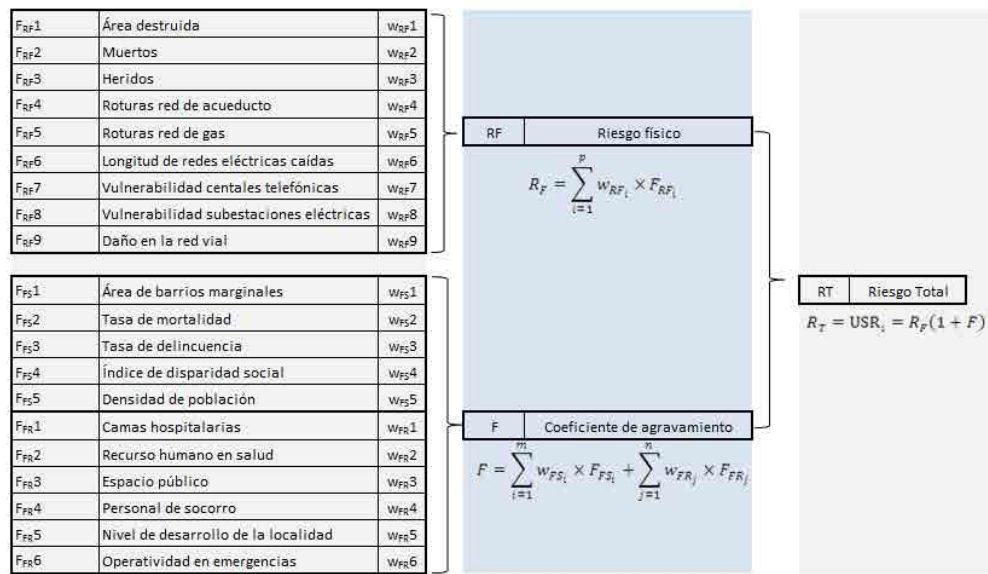


Figura 2-13. Esquema para el cálculo del riesgo total (USR_i), expresando los factores de riesgo físico (F_{RFi}), de fragilidad social (F_{FSi}), y de falta de resiliencia (F_{FRi}) con sus respectivos pesos (W_{RFi} , W_{FSi} , W_{FRi}), (Carreño, 2006).

2.6 TEORÍA DE CONJUNTOS DIFUSOS-SISTEMA DE INFERENCIA

2.6.1 REGLAS DEL TIPO SI-ENTONCES

Una de las características más resaltantes de los sistemas difusos, aparte de que pueden representar conceptos cualitativos, es el uso de una base de reglas de decisión, frecuentemente de la forma *Si-Entonces*, que en combinación con un mecanismo de razonamiento difuso, permiten de manera adecuada inferir, a partir de las entradas, las salidas del sistema (Klir y Yuan, 1995; Yager y Filev, 1994; Cerrada y Rodríguez, 2001). En tal sentido, las reglas juegan un rol importante en estos modelos por lo que es de gran valor conocerlas en sus diferentes aspectos.

Las reglas son estructuras lógicas de decisión que permiten, entre otras cosas, transformar unos “valores” de entrada conocidos como precedentes o antecedentes, en un “valor” de salida el cual se denomina consecuencia o conclusión. Los valores de entrada son premisas o condiciones que han de cumplirse.

Así, toda regla del tipo *Si-Entonces* se conforma de dos elementos esenciales: los antecedentes y las consecuencias (Yager y Filev, 1994; Cerrada y Rodríguez, 2001). Para un modelo MISO (por sus siglas en inglés: *Multiple Input-Simple Output*) la regla del tipo Si-entonces se expresa mediante la ecuación 2-22.

$$\text{Si } \underbrace{((U_1 \text{ es } B_1) \text{ y } (U_2 \text{ es } B_2) \text{ y } \dots (U_m \text{ es } B_m))}_{\text{antecedentes}} \text{ Entonces } \underbrace{(V = D)}_{\text{consecuencia}} \quad \mathbf{2-22}$$

2.6.2 MECANISMO DE RAZONAMIENTO O INFERENCIA PROPUESTO POR MAMDANI

Se define el mecanismo de razonamiento o inferencia como el proceso de obtención de un conjunto de valores (en principio difusos) para las variables de salida de un sistema, a partir de un conjunto de valores (en principio difusos) de las variables de entrada (Yager y Filev, 1994; Cerrada y Rodríguez, 2001). Para esto, se usan sobre la base de conocimiento del modelo difuso lingüístico reglas del tipo Si-Entonces, que explican el comportamiento del sistema bajo estudio.

El método de razonamiento propuesto por Mamdani (Yager y Filev, 1994) para obtener la salida de un modelo basado en reglas estrictamente difusas, está sustentado en la superposición de las salidas de cada una de las reglas que compone el modelo difuso para una determinada entrada, dándole de este modo una naturaleza constructiva al modelo.

Cada regla del tipo *Si-Entonces* con una única entrada ($U = B_i$) y una única salida ($V = D_i$), como se indica en la ecuación 2-23.

$$\text{Si } \underbrace{U = B_i}_{\text{antecedente}} \text{ entonces } \underbrace{V \text{ es } D_i}_{\text{consecuencia}} \quad \mathbf{2-23}$$

Es expresada como una relación difusa R_i , la cual es interpretada como una intersección de los conjuntos difusos B_i y D_i , como se muestra en la ecuación 2-24.

$$R_i = B_i \cap D_i \quad \mathbf{2-24}$$

Donde: R_i es definida sobre el espacio Cartesiano $X \times Y$. La función de membresía de este conjunto difuso R_i está definida por la intersección de las funciones de membresía (μ) de los conjuntos difusos B_i y D_i , como se indica en la ecuación 2-25.

$$\mu_{R_i}(x, y) = \mu_{B_i}(x) \wedge \mu_{D_i}(y) \quad 2-25$$

Según el método de Mamdani, la agregación de las reglas se lleva a cabo como la unión de las relaciones difusas individuales, esto es dado en la ecuación 2-26.

$$R = \bigcup_{i=1}^m R_i \quad 2-26$$

De este modo, la función de pertenencia del conjunto difuso R está dada por la ecuación 2-27.

$$\mu_R(x, y) = \bigvee_{i=1}^m \mu_{R_i}(x, y) = \bigvee_{i=1}^m (\mu_{B_i}(x) \wedge \mu_{D_i}(y)) \quad 2-27$$

Donde el símbolo $\bigvee_{i=1}^m$ representa una función de unión o agregación, y el símbolo \wedge representa la intersección.

Igualmente, dado un conjunto difuso A de entrada, la función de membresía del conjunto difuso de salida F, según la regla de inferencia máx-min se expresa en la ecuación 2-28.

$$\begin{aligned} \mu_F(y) &= \bigvee_x [\mu_A(x) \wedge \mu_R(x, y)] = \bigvee_x \left[\bigvee_{i=1}^m (\mu_A(x) \wedge \mu_{R_i}(x, y)) \right] \\ &= \bigvee_{i=1}^m \left[\bigvee_x (\mu_A(x) \wedge \mu_{B_i}(x) \wedge \mu_{D_i}(y)) \right] \\ &= \bigvee_{i=1}^m \left[\left[\bigvee_x (\mu_A(x) \wedge \mu_{B_i}(x)) \right] \wedge \mu_{D_i}(y) \right] \\ &= \bigvee_{i=1}^m \left[\tau_i \wedge \mu_{D_i}(y) \right] \end{aligned} \quad 2-28$$

Donde: τ_i denota la posibilidad condicional de B_i dado A. El valor de τ_i representa el grado de disparo o umbral de la i-ésima regla y es una medida de la relevancia de la misma y se expresa por la ecuación 2-29.

$$\tau_i = \nu_x \left(\mu_A(x) \wedge \mu_{B_i}(x) \right) \quad \mathbf{2-29}$$

El procedimiento descrito para obtener el conjunto difuso de salida inferido por un modelo lingüístico SISO (por su denotación en inglés *Single Input-single Output*), usando el método de Mamdani, a partir de conjuntos difusos de entrada, se resume en el siguiente algoritmo (Yager y Filev, 1994; Cerrada y Rodríguez, 2001):

1. Para cada regla del modelo difuso:
 - a) Calcular el grado de disparo τ_i de la i -ésima regla, mediante la ecuación 2-29, si la entrada es un conjunto difuso A .
 - b) Encontrar el conjunto difuso F_i , dado como salida por la i -ésima regla, según la ecuación 2-30.

$$F_i(y) = \tau_i \wedge \mu_{D_i}(y) \quad \mathbf{2-30}$$

2. Obtener la agregación de cada salida $F_i(y)$, mediante la ecuación 2-31.

$$F(y) = \nu_{i=1}^m F_i(y) \quad \mathbf{2-31}$$

En la Figura 2-14 se ilustra la aplicación de este algoritmo, esto es: Tomando como variable de entrada la variable difusa, con función de pertenencia $A(x)$, triángulo morado de la Figura 2-14a, se calculan los valores detonantes, τ_i , de las i -ésimas reglas, del tipo *Si-Entonces* que presentan: simple entrada (variable difusa con función de pertenencia $B_i(x)$ -ver Figura 2-14b y Figura 2-14d) y simple salida (variable difusa con función de pertenencia $D_i(y)$ -ver Figura 2-14c y Figura 2-14e). En este caso i varía de 1 a 2. Luego, se obtienen las salidas intermedias F_i , representadas, aquí, mediante triángulos truncados a nivel τ_i , imágenes de color naranja oscuro en Figura 2-14c y Figura 2-14e. Posteriormente, se realiza la agregación de las salidas intermedias F_i , resultando así la salida total difusa con función de pertenencia $F(y)$, dada en la Figura 2-14f.

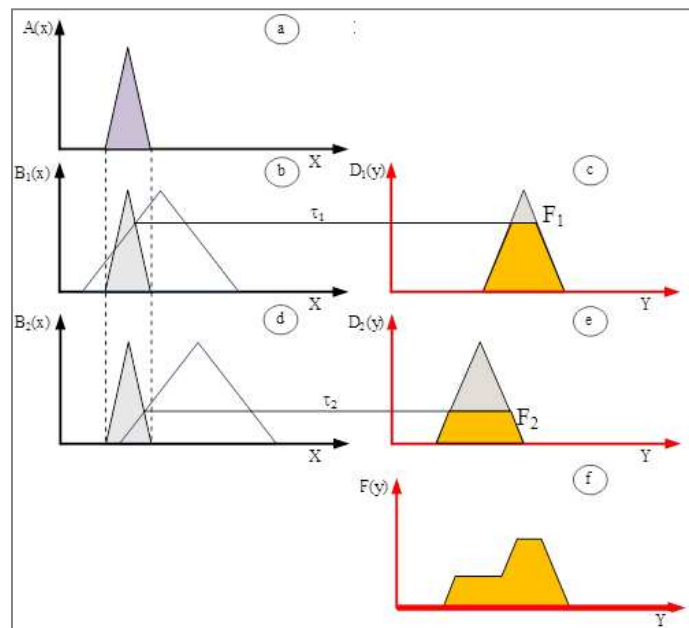


Figura 2-14. Mecanismo de razonamiento según método Mamdani, basado en Yager y Filev (1994).

Geoméricamente, el conjunto de reglas que conforman el modelo lingüístico configuran una región difusa sobre el producto cartesiano $X \times Y$. En el método constructivo propuesto por Mamdani, esta relación R del modelo es obtenida a partir de la unión de todas las relaciones difusas R_i dadas por cada regla que componen el modelo, como se ilustra en la Figura 2-15.

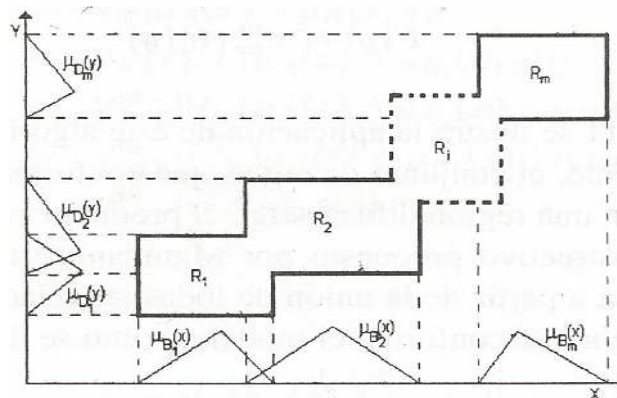


Figura 2-15. Uniones de relaciones difusas, basado en Cerrada y Rodríguez (2001).

Mayor información sobre este procedimiento puede encontrarse en Yager y Filev (1994). A continuación, se tratará el método constructivo propuesto por Mamdani para el

procedimiento de inferencia para modelos MISO, el cual no es más que una extensión del caso SISO utilizado anteriormente para ilustrar dicho mecanismo de inferencia.

En los modelos MISO dados por X , el operador “ \cap ” en los antecedentes de las reglas se interpreta como una intersección difusa. Así, la relación difusa R_i asociada a cada regla no es más que una intersección difusa entre los conjuntos difusos del antecedente y del consecuente. Esto se expresa mediante la ecuación 2-32.

$$R_i = B_{i1} \cap \dots \cap B_{ir} \cap D_i \quad 2-32$$

Donde R_i es definida sobre el espacio del producto cartesiano $X_1 \times \dots \times X_r \times Y$. La función de membresía de ese conjunto difuso R_i está definida por la ecuación 2-33.

$$\mu_{R_i}(x_1, \dots, x_r, y) = \mu_{B_{i1}}(x) \wedge \mu_{B_{ir}}(x) \wedge \mu_{D_i}(y) \quad 2-33$$

La agregación de las relaciones difusas $R_i, \forall i = 1, \dots, m$, se obtiene a partir de la unión difusa de las relaciones difusas individuales, mediante la ecuación 2-34.

$$R = \bigcup_{i=1}^m R_i = \bigcup_{i=1}^m B_{i1} \cap \dots \cap B_{ir} \cap D_i \quad 2-34$$

Según esto, la función de membresía de la relación difusa R está dada por la ecuación 2-35.

$$\mu_R(x_1, \dots, x_r, y) = \bigvee_{i=1}^m \mu_{R_i}(x_1, \dots, x_r, y) = \bigvee_{i=1}^m \mu_{B_{i1}}(x) \wedge \mu_{B_{ir}}(x) \wedge \mu_{D_i}(y) \quad 2-35$$

Ahora bien, dados los conjuntos difusos de entrada A_1, \dots, A_r , asociados a cada variable difusa de la entrada U_i , el conjunto difuso de la salida F inferido por el modelo, es obtenido a partir de una extensión del procedimiento desarrollado para el caso SISO, exhibe la función de membresía en la ecuación 2-36.

$$F(y) = \bigvee_{i=1}^m \left[\tau_i \wedge \mu_{D_i}(y) \right] \quad 2-36$$

Donde τ_i denota el grado de disparo de la i -ésima regla, y viene dado por la ecuación 2-37.

$$\tau_i = \left(\left(\bigvee_{x_i} [\mu_{A_1}(x_1) \wedge \mu_{B_{i1}}(x_1)] \right) \wedge \dots \wedge \left(\bigvee_{x_i} [\mu_{A_r}(x_{r1}) \wedge \mu_{B_{ir}}(x_r)] \right) \right) \quad \text{2-37}$$

Un algoritmo similar al dado en el caso SISO, resume el mecanismo de inferencia para modelos MISO y es:

1. Para cada regla del modelo difuso, y dado un conjunto de valores difusos para las variables de entrada:
 - a. Se calcula el grado de disparo τ_i de la i -ésima regla mediante la ecuación 2-37, si las entradas son conjuntos difusos A_1, \dots, A_r .
 - b. Se encuentra el conjunto difuso F_i , dado como salida por la i -ésima regla, según la ecuación 2-30.
2. Se obtiene la agregación $F(y)$ de cada salida F_i , mediante la ecuación 2-36.

Correlativamente, en algunos casos, los valores difusos que generan como salidas los modelos lingüísticos puede resultar de poca utilidad práctica, por lo que es necesario someter dichos valores difusos a un proceso ulterior denominado “desfusificación”, con el fin de generar valores puntuales (numéricos o *crisp*) de dichas variables de salida.

En la literatura existen varios métodos de desfusificación, entre otros están: el método del Centro del área o Centroide (COA), el método de la Media del Máximo (MOM), el método de desfusificación BADD, el método del máximo más grande (LOM) (Yager y Filev, 1994; Kosko, 1992; Cerrada y Rodríguez, 2001). En la Figura 2-16 se muestra un diagrama simplificado de los procesos típicos que se involucran en un modelo difuso. Donde: “F” representa la salida difusa, mientras que Y^* representa la salida numérica o *crisp*.

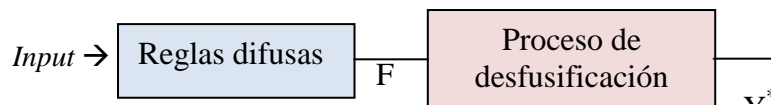


Figura 2-16. Proceso típico que se involucra en un modelo difuso, donde: F es la salida difusa, y, Y^* es la salida numérica o *crisp*.

2.7 METODOLOGÍAS DE APOYO EN LA TOMA DE DECISIONES

En problemas complejos de toma de decisiones que involucren metas múltiples debe considerarse los siguientes aspectos: 1) Planificación, 2) Generación de un conjunto de alternativas, 3) Prioridades, 4) Selección de la mejor política después de encontrado un conjunto de alternativas, 5) Asignación de recursos, 6) Determinar los requerimientos, 7) Predicción de los resultados, 8) Diseño de sistemas, 9) Medir el rendimiento o desempeño,

10) Asegurar la estabilidad del sistema, 11) Optimización, 12) Resolución de conflictos, entre otros aspectos (Saaty, 1980). Para ello se pueden emplear técnicas que se ajusten a dichas exigencias, pasando desde la directa apreciación dada por el “juicio” de los expertos (Hyman, 1998) a técnicas más rigurosas.

Entre las técnicas que facilitan el análisis multicriterio se cuentan con: a) el *Proceso Analítico Jerárquico*, para establecer las importancias y ponderaciones relativas entre las variables a emplear; b) la obtención del *Nivel de Determinación* de las múltiples variables que pueden involucrarse en los problemas complejos, para establecer cuáles son más independientes y significativas; y c) el *Método del Análisis Morfológico (AM)*, por ser una herramienta que ayuda a resolver problemas complejos, los cuales son: sustancialmente no cuantificables, contienen incertidumbres no resolubles, no pueden ser causalmente modelados o simulados y requieren de un enfoque crítico. A continuación se detallan las pautas de dichas técnicas.

2.7.1 PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO

El Proceso Analítico Jerárquico (PAJ o AHP: *Analytic Hierarchy Process*) es una de las técnicas ampliamente adoptada, desarrollado por Thomas Saaty (1980), y actualmente se implementa en diversos sectores, como en el paquete de software SIG IDRISI (Rashed y Weeks, 2003). El enfoque del PAJ permite evaluar el peso relativo de múltiples criterios de una manera intuitiva. La entrada fundamental para el PAJ es quién toma la decisión y responde a una serie de preguntas de la forma general: ¿Qué tan importante es el criterio A en relación con el criterio B? Estos pesos se denominan las *comparaciones por pares*. Las respuestas se recogen en forma verbal y posteriormente se codifican en una escala de intensidad de nueve puntos (Tabla 2-4).

Tabla 2-4: Escala de las comparaciones por pares en el proceso analítico jerárquico, basado de Saaty (1980).

Menos importante				Igual importancia	Más importante			
Extremadamente	Muy fuerte	Fuertemente	Moderadamente		Moderadamente	Fuertemente	Muy fuerte	Extremadamente
1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9

El método básico de Saaty para identificar los valores de los pesos depende del álgebra de matrices y calcula los pesos como los elementos del vector propio normalizado asociado con el valor propio real máximo ($\lambda_{m\acute{a}x}$) de la matriz de comparación por pares.

Los resultados finales incluirán el peso de cada criterio (w_i), además de una medida de inconsistencia que nos informa si la asignación de las preferencias necesitan ser revisadas. Esta medida se cuantifica mediante la relación de consistencia (CR) que es el cociente entre el índice de consistencia (CI) de una matriz de comparaciones dada y el valor del mismo índice para una matriz de comparaciones generada aleatoriamente (CI_{random}), este último se expresa en la Tabla 2-5.

Tabla 2-5: Valores de CI_{random} para diferentes tamaños de matriz ($n \times n$) (Saaty, 1980).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CI random	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

La confiabilidad es suficiente si CR es menor o igual a 0.1. Si no es así es necesario revisar los criterios con que se conformó la matriz de comparación. Mientras que, si la consistencia es buena se calcula el vector propio correspondiente al valor propio principal, normalizándolo para así obtener los pesos o influencias que se utilizan en la evaluación. El índice de consistencia (CI) es definido en la ecuación 2-38.

$$CI = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad 2-38$$

Donde n define el tamaño de la matriz de comparaciones.

Finalmente, con el PAJ se podrá establecer la importancia relativa de cada criterio en términos de un peso, o ponderación, que determina su contribución a las variables que intervienen en el riesgo sísmico obtenido desde una perspectiva holística.

2.7.2 NIVEL DE DETERMINACIÓN

Algunas veces es necesario limitar el número de variables que intervienen en un problema complejo. Para ello, se puede emplear un proceso de selección que dependa del nivel de determinación de cada variable. El grado de determinación o de subordinación de cada variable se obtendrá bajo la pregunta dicotómica ¿la variable X afecta la variable Y ? Para lo cual se debe realizar una matriz cuadrada, con dimensión $n \times n$, siendo n el total de variables inicialmente consideradas. Está matriz no tiene que ser simétrica. Cada celda de la matriz que se plantea (llamada *matriz graph*) tendrá la respuesta correspondiente a la pregunta dicotómica al comparar un par de variables (X, Y). Sí la respuesta es afirmativa el elemento de la matriz es uno (1), mientras que sí la respuesta es negativa el elemento es cero (0). Con esta

matriz graph se estimará tanto el puntaje de influencia (*PI*) como el puntaje de dependencia (*PD*) de cada variable. *PI* da cuenta del número de variables que son influenciadas por la variable *X* y *PD* da cuenta del número de variables que afectan a la variable *X*.

Para priorizar las variables se calcula el nivel de dependencia o independencia bajo una escala teórica que va desde menos uno (-1: completamente dependiente) hasta más uno (+1: completamente independiente), mediante el nivel de determinación *D*, dado en la ecuación 2-39.

$$D = \frac{PI - PD}{n - 1} \quad \text{2-39}$$

A manera de ejemplificar el método del grado de determinación véase la aplicación realizada en Stângâ y Grozavu (2012).

En nivel de determinación será utilizado en esta investigación para poder definir los indicadores sociales más predominantes que darán cuenta de la vulnerabilidad social de cualquier zona urbana.

2.7.3 ANÁLISIS MORFOLÓGICO

A finales de la década de los sesenta, los trabajos pioneros del profesor Fritz Zwicky, permitieron desarrollar la metodología del análisis morfológico (AM), como un método para la estructuración y la investigación de todo el conjunto de las relaciones contenidas en multi-dimensionales, no cuantificables y en problemas complejos (Ritchey, 2011a,b).

El Análisis Morfológico es un método para modelizar problemas complejos de planificación social y organizacional que no son susceptibles de cuantificación. Examina todas las posibles relaciones entre las diversas dimensiones sociales, políticas, y organizacionales de un problema complejo, y permite tener en cuenta todos los resultados potenciales. El AM produce modelos inferenciales multidimensionales no cuantificados que son completamente distintos de cualquier otro modelo matemático o científico. El AM asistido por ordenador fue originalmente desarrollado en la Agencia Sueca de Investigación sobre la Defensa (*Swedish National Defence Research Agency: FOI*) en la década de los noventa, para facilitar la planificación de la preparación civil y de defensa a largo plazo. Fue diseñado específicamente para tratar problemas de política social y organizacional con múltiples grupos de interés y para facilitar la colaboración entre diferentes disciplinas y diferentes sectores sociales (Ritchey, 2011a,b; Ritchey Consulting AB., 2003).

El término morfología viene de antiguo griego *morphe* que significa la forma de o simplemente forma. La definición general de la morfología es *el estudio de la forma o patrón*, es decir, la forma y disposición de las partes de un objeto, y cómo estos se ajustan a crear un todo. Hoy en día, la morfología está asociada con un amplio número de disciplinas científicas. En lingüística, la morfología es el estudio de la formación de palabras y cómo las partes de palabras se relacionan entre sí. Morfología se utiliza en las disciplinas donde la estructura formal, y no necesariamente la cantidad, es un tema central, por ejemplo en geología, anatomía, zoología, entre otros (Ritchey, 2011a).

El análisis morfológico, incluyendo el proceso de evaluación *transversal de consistencia* (*cross-consistencie*), se basa en el método científico fundamental de la alternancia entre el análisis y la síntesis. Por esta razón, se puede confiar como un instrumento útil, es un método no cuantificado de investigación para problemas complejos, que no pueden ser tratados por métodos matemáticos formales, modelos de causalidad y de simulación (Ritchey, 2011a).

Los aspectos puramente combinatorios de modelos morfológicos, tales como el número de dimensiones y el número de valores de parámetros (P_k) que determina el tamaño del espacio del problema y la matriz transversal de consistencia, deben considerarse. De allí que, las cuatro magnitudes de las propiedades primarias formales de un modelo morfológico son: el número de parámetros (N); el número de bloques de parámetros $\left(\frac{N \cdot (N-1)}{2}\right)$, el número de las celdas de la matriz transversal de consistencia (CCM, *cross-consistency matrix*) que contendrán la relación de los pares $\left(\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=2}^n v_i v_j\right)$ -siendo v_k el número de condiciones en cada uno de los parámetros P_k -; y el número total de configuraciones simples en el modelo $\left(\prod_{i=1}^n v_i\right)$, (Ritchey, 2011a).

La Conectividad en un modelo morfológico se refiere a cómo las diferentes *dimensiones construidas* (sus parámetros, P_k) del modelo están conectadas, es decir ¿cómo se relaciona cada parámetro con cada uno de los otros parámetros? Existen dos principales posibilidades: o bien dos parámetros indican que son ortogonal (lógica y empíricamente), o contienen restricciones mutuas (lógicos y/o empírica). Otra distinción puede hacerse sobre la base de la diferencia entre las limitaciones lógicas y empíricas. Dos parámetros ortogonales significa que los rangos de sus valores son independientes uno de otro, es decir, que ellos no se interfieren o limitan entre sí. Dado que en el modelado morfológico se relacionan los valores por medio de consistencia mutua, entonces se dice, que en un par de parámetros ortogonales P_a y P_b , cualquier valor de P_a es consistente con (o puede coexistir con, o puede

afectar a) cualquier valor de Pb. Generalmente se emplea la *clave de evaluación* "-" entre un par de parámetros ortogonales (de un bloque) para referirse a que un parámetro "es consistente con" o "puede coexistir con" o "puede afectar a" el otro parámetro (Ritchey Consulting AB., 2003; Ritchey, 2011a,b).

Una relación ortogonal entre dos parámetros no significa necesariamente que no hay contenido significativo asociado con las relaciones de valor, simplemente significa que no hay restricciones mutuas entre los parámetros. Sin embargo, si un parámetro " P_x " es ortogonal a todos los otros parámetros en un modelo morfológico, entonces su variabilidad no tiene ningún efecto sobre el resto del modelo. Este parámetro es, por así decirlo, exógeno al modelo como tal, (Ritchey, 2011b).

Por otra parte, los pares de parámetros están mutuamente restringidos cuando al menos un valor par en el bloque de parámetros se considera inconsistente, imposible o inviable. Por ejemplo, si deseamos enfrentar a una serie de intervalos de edad en una población humana frente a una serie de intervalos de peso corporal, entonces, obviamente, se esperan algunas restricciones entre los valores de edad y los valores de peso (Ver Figura 2-17). En este ejemplo hipotético, las claves de evaluación usadas son: "x", "k" y "-", y cada una de ellas tiene una interpretación, es decir, la clave "x" indica que *no es probable* conectar los valores de los parámetros P_a y P_b ; la clave "k" indica que es *posible pero bastante extrema* la relación entre los valores de los parámetros; mientras que, la clave de evaluación "-" representa que *existe correlación* entre los valores de los parámetros, edad (P_a) y de peso (P_b), propuestos. Este tipo de patrón a menudo aparece cuando las escalas se enfrentan entre sí.

		Parámetro (Pb): Peso [en Kg]			
		<20	20 a 50	50 a 100	>100
Parámetro (Pa): Edad [en años]	<5	-	-	k	x
	5-10	-	-	-	k
	10-20	k	-	-	-
	>20	x	k	-	-

Figura 2-17. Conectividad empírica entre un bloque de parámetros (Ritchey, 2011a).

De forma general, dado un número N de parámetros en un campo morfológico, considerando que P es un parámetro, de tal manera que los parámetros en un campo morfológico son: P_1, P_2, \dots, P_N (por ejemplo en la Figura 2-18 se ve el campo de referencia para $N=6$), y que v_i es el número de condiciones en el rango de valores de un parámetro, P_x , dado de tal manera, que el campo morfológico total es (cuantitativamente) definido por: $\{P_x v_i\}_{x,i}$. Así, el número total de

configuraciones simples (es decir, una configuración con una y solamente una condición designada bajo cada parámetro) en un campo morfológico es $TSC = v_1 \cdot v_2 \cdot v_3 \dots v_N = \prod_{i=1}^N v_i$.

Parámetros (Px, con x = 1,2,...,N)					
P1	P2	P3	P4	P5	P6
P1v1	P2v1	P3v1	P4v1	P5v1	P6v1
P1v2	P2v2	P3v2	P4v2	P5v2	P6v2
P1v3	P2v3	P3v3	P4v3	P5v3	
P1v4		P3v4		P5v4	
P1v5		P3v5		P5v5	
				P5v6	

Para el parámetro P1 existen 5 condiciones en el rango de valores, $v_1 = 5$
 Para el parámetro P2 existen 3 condiciones en el rango de valores, $v_2 = 3$
 Para el parámetro P3 existen 5 condiciones en el rango de valores, $v_3 = 5$
 Para el parámetro P4 existen 3 condiciones en el rango de valores, $v_4 = 3$
 Para el parámetro P5 existen 6 condiciones en el rango de valores, $v_5 = 6$
 Para el parámetro P6 existen 2 condiciones en el rango de valores, $v_6 = 2$
 número de bloques de parámetros $\left(\frac{N \cdot (N-1)}{2}\right) = 15$; $N = 6$; $5+3+5+3+6=22$; $3+5+3+6+2=19$;
 $\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=2}^n v_i v_j = 22 \cdot 19 = 418$

Figura 2-18. Campo morfológico de referencia para N=6.

La matriz de consistencia transversal (CCM, *cross-consistency matrix*) se forma con los pares resultantes de todas las condiciones de cada parámetro con cada otra condición de todos los otros parámetros. Un bloque de parámetros (PB) se compone de todas las condiciones emparejadas entre dos parámetros, con referencias cruzadas en forma de una tipología bidimensional. En la Figura 2-19 se muestran la matriz de consistencia, con los quince bloques de parámetros, en alternancia de bloque sombreado o no, para el campo morfológico dado en la Figura 2-18.

	P1					P2			P3					P4			P5						P6	
	P1v1	P1v2	P1v3	P1v4	P1v5	P2v1	P2v2	P2v3	P3v1	P3v2	P3v3	P3v4	P3v5	P4v1	P4v2	P4v3	P5v1	P5v2	P5v3	P5v4	P5v5	P5v6	P6v1	P6v2
P2	P2v1																							
	P2v2																							
	P2v3																							
P3	P3v1																							
	P3v2																							
	P3v3																							
	P3v4																							
	P3v5																							
P4	P4v1																							
	P4v2																							
	P4v3																							
P5	P5v1																							
	P5v2																							
	P5v3																							
	P5v4																							
	P5v5																							
	P5v6																							
P6	P6v1																							
	P6v2																							

Figura 2-19. Matriz de consistencia transversal (CCM) para el campo morfológico dado en la Figura 2-18.

Una vez definida las celdas de la matriz de consistencia transversal (CCM) del modelo morfológico a analizar, se aplica el proceso de evaluación de la “transversal-consistencia” (lo que Zwicky llamó *principio de contradicción y de reducción*), es decir se procede a evaluar las relaciones diádicas entre los bloques de parámetros, utilizando claves de evaluación, como: "-" para expresar que las dos condiciones pueden o deben afectarse; "x" para indicar que las dos condiciones no pueden o no deben afectarse; y "k" para expresar que las dos condiciones pueden afectarse, pero es muy poco probable o poco interesante.

Posteriormente, esta “reducción” permite que nos concentremos en un número manejable de configuraciones de coherencia interna, y con un software específico, se puede: designar a los insumos (inputs), definir controladores y configuraciones de salida resultantes de examinar los elementos de los escenarios o de las estrategias específicas en un espacio complejo. Los resultados obtenidos de un análisis morfológico pueden ser de gran ayuda en la toma de decisiones, a manera de ejemplo se puede revisar los ejemplos dados en el sitio web de Ritchey Consulting AB (2003)⁶.

En forma resumida el análisis morfológico, propuesto inicialmente por Zwicky, tendrá un proceso iterativo llevado a cabo por las etapas descritas en la Tabla 2-6 (Ritchey Consulting AB., 2003).

Tabla 2-6: Etapas del proceso iterativo en el análisis morfológico, basado en Ritchey (2011b) y Ritchey Consulting AB. (2003).

Etapas	Descripción
Fase de análisis	
1	Identificar las variables relevantes:
2	Identificar/definir los rangos de valores
Fase de síntesis	
3	Se construye la matriz de consistencia transversal (CCM) o el cuadro morfológico o matriz multidimensional , que contiene todas las posibles soluciones del problema dado (la dada en la Figura 2-19). Para, poner en relación todos los valores de variables entre sí y evaluar su mutua consistencia. Esto se llama una <i>Evaluación de Consistencia transversal</i> .
4	Sintetizar las configuraciones mutuamente consistentes. Todas las soluciones contenidas en el cuadro morfológico son examinadas y evaluadas con respecto a los fines que han de ser alcanzados.
5	Usar el modelo interactivamente para investigar y agrupar todas las configuraciones mutuamente consistentes a fin de identificar soluciones de política y/o escenarios alternativos. Iterar todo el proceso si es necesario.

El análisis morfológico será indispensable en esta investigación para formular los planes de acción, que contienen estrategias, para mitigar el riesgo total sísmico en zonas urbanas.

⁶ Ejemplo sobre el programa de estudio de refugios antiaéreos, disponible en <http://www.swemorph.com/pdf/gma.pdf>, recuperado el 30/10/2011, Ejemplo sobre conflictos en el cambio climático, figuras 6 y 7 del documento, disponible en: http://www.dodccrp.org/events/14th_icrts_2009/papers/003.pdf, recuperado el 07/08/2012; y otros ejemplos que se encuentran en la página web de Ritchey Consulting AB (2003).

CAPÍTULO 3

3. APORTE METODOLÓGICO EN LA EVALUACIÓN HOLÍSTICA DEL RIESGO SÍSMICO EN ZONAS URBANAS

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se explica el proceso a seguir en la metodología de evaluación holística de riesgo para el caso de una zona urbana expuesta a amenaza sísmica, que incluye ciertas mejoras en cuanto a la evaluación del contexto social y formulación de una métrica para el riesgo sísmico desde una perspectiva holística.

El proceso a seguir en la evaluación holística del riesgo sísmico contempla los siguientes pasos: a) buscar y procesar información que dé cuenta, por una parte, de los daños físicos que experimentarían los elementos expuestos a una acción sísmica, y, por la otra, de los diferentes aspectos sociales que presenta la zona urbana a estudiar; b) sintetizar en un índice de riesgo físico sísmico los diferentes daños físicos potenciales; c) calcular un coeficiente de agravamiento con base en los aspectos sociales de la zona urbana en estudio; y finalmente, d) sintetizar en el índice de riesgo total sísmico, el riesgo físico sísmico y el coeficiente de agravamiento, los diferentes daños físicos agravados por el contexto social de la zona urbana.

Tomando como punto de partida la metodología propuesta por Carreño (2006, Carreño et al., 2007a) esta tesis hace una mejora en la metodología de evaluación del contexto social que estandariza el empleo de indicadores descriptores del contexto social aplicables a zonas

urbanas, teniendo en cuenta la información más adecuada para describirlo. La formulación del riesgo sísmico desde una perspectiva holística de manera normalizada acota a una misma escala numérica tanto el riesgo físico como el total. También, se establecen, convenientemente, rangos numéricos de las variables que se incluyen en una evaluación holística en concordancia con diferentes niveles de riesgo y niveles de agravamiento, expresados éstos en cinco etiquetas lingüísticas (nivel: *muy bajo*, *bajo*, *medio*, *alto* y *muy alto*).

En primer lugar se expondrán los datos requeridos en la evaluación holística del riesgo sísmico (apartado 3.2); después el índice que da cuenta de los diferentes daños físicos que sufrirán los elementos de una zona urbana (apartado 3.3); y el coeficiente que sintetiza el agravamiento que genera la vulnerabilidad social del contexto (apartado 3.4), destacando cuales son los indicadores que mejor dan cuenta del contexto social de una zona urbana. Por último la formulación del índice de riesgo total sísmico (R_{total_k}) que incluye tanto los daños físicos como la vulnerabilidad social, que agrava este riesgo sísmico físico (apartado 3.5).

3.2 DATOS REQUERIDOS PARA REALIZAR LA EVALUACIÓN

Evaluar el riesgo sísmico de manera integral, u holística, sobre una zona urbana determinada requiere, además de una gran cantidad de datos e información propios de la amenaza considerada, la naturaleza física de los elementos expuestos y aquellos que den cuenta del contexto urbano concernientes a su vulnerabilidad social y que actúan como agravantes del riesgo. La evaluación ha de estimar los efectos combinados de la amenaza y de aquellos relacionados con factores de los elementos de la zona urbana expuestos a la amenaza en estudio y del contexto social. Así, se estiman los daños propiamente físicos de los elementos expuestos a una amenaza determinada, y la contribución de agravamiento debido al contexto social en una zona urbana.

Para estimar el riesgo total sísmico debido a la ocurrencia de un posible evento sísmico, se requieren dos tipos de datos asociados a: 1) daños físicos y 2) agravamiento social. Los primeros dan cuenta de los daños físicos que sufrirían los elementos expuestos a una determinada amenaza sísmica y se pueden obtener mediante una variedad de metodologías propuestas en la literatura, (ver Hazus, Capra, Risk-UE en apartado 2.2). Los segundos dan cuenta de la fragilidad social y falta de resiliencia y se sintetiza en un coeficiente asociado a datos de naturaleza social que se obtienen por metodologías como la que se describe en el apartado 3.4.

3.3 FORMULACIÓN DEL RIESGO FÍSICO SÍSMICO

Para estimar el nivel de daño físico que podría sufrir una zona urbana producto de una amenaza sísmica se emplea un indicador que da cuenta de ello, el cual se denomina riesgo físico sísmico. El indicador de riesgo físico sísmico es un índice complejo que se compone, de manera ponderada, de una variedad de factores asociados a daños físicos potenciales, de los distintos elementos expuestos de una determinada zona urbana, entre otros: áreas destruidas, daños en la red de acueductos, cantidad de personas que mueren, número de heridos, número de personas que se quedan sin vivienda.

De acuerdo con la metodología propuesta en Cardona (2001), posteriormente modificada por Carreño (2006), el índice de riesgo físico se estima mediante una suma ponderada de factores contribuyentes al mismo, los cuales vienen asociados a diferentes tipos de daños físicos, producto del posible acontecimiento de una amenaza natural sobre una zona urbana expuesta, como se indica en la ecuación 3-1.

$$R_{Fi} = \sum_{j=1}^{n_{ji}} W_{F_{RFji}} * F_{RFji} \quad 3-1$$

Donde:

R_{Fi} es el riesgo físico debido a la amenaza natural i (H_i).

n_{ji} es número de factores contribuyentes al riesgo físico debido a la amenaza natural i (H_i).

F_{RFji} es el factor contribuyente j al riesgo físico debido a la amenaza natural i .

$W_{F_{RFji}}$ es el peso de participación del factor contribuyente F_{RFji} al riesgo físico.

Cada uno de los factores contribuyentes al riesgo físico se obtiene, con base en conceptos de conjunto difuso, mediante una función de transformación aplicada a su descriptor correspondiente, relacionado a un daño físico particular, que le hace conmensurable con valores entre cero y uno.

Las funciones de transformación presentan gráficamente las siguientes características: 1) punto de riesgo mínimo, 2) punto de riesgo máximo, 3) un punto de inflexión y 4) un valor constante para valores mayores al máximo del descriptor. El punto de riesgo mínimo es el valor numérico mínimo, en las abscisas, del descriptor relacionado con el daño físico seleccionado y 0, en las ordenadas, para el factor contribuyente de riesgo físico. El punto de riesgo máximo correspondiente es el valor numérico máximo del descriptor, en las abscisas, relacionado al daño físico seleccionado y 1, en las ordenadas, para el factor contribuyente (ver

Figura 3-1). Si el descriptor de daño físico toma valores mayores al valor máximo, la contribución al riesgo físico es máxima, esto es, uno. Además, si el descriptor de daño físico toma valores menores al valor mínimo, la contribución al riesgo físico es mínima, esto es, cero.

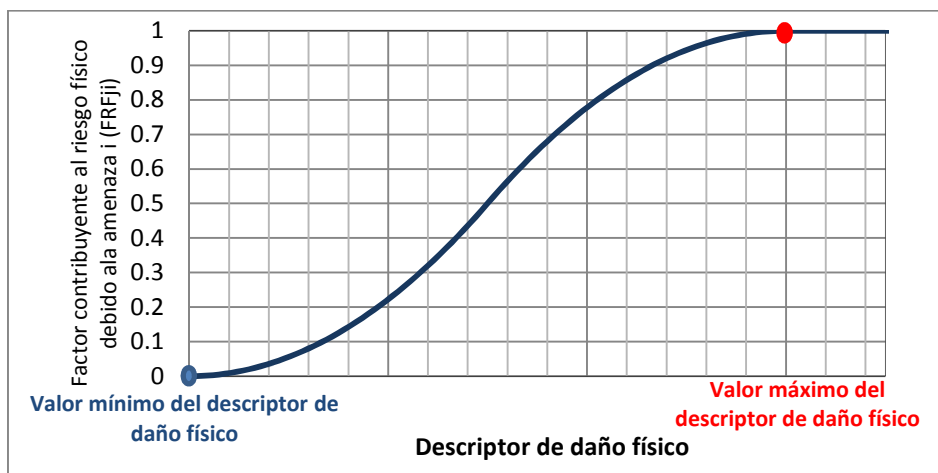


Figura 3-1. Función de transformación de un indicador de daño físico.

Los descriptores o indicadores de riesgo físico describen o dan cuenta de una variedad de los daños físicos, los cuales se pueden representar de diferentes maneras, entre las que se encuentran las siguientes:

- Tasas o proporciones de daños que experimentarán los elementos expuestos (un edificio o conjunto de éstos, hospitales, un puente, líneas vitales, población humana, entre otros) respecto a un “patrón” de comparación (total de los elementos expuestos o una fracción de éstos, como una cantidad de población-mil habitantes-, o un área determinada-área construida-, entre otros).
- Prima pura de riesgo (*Pure Premium Rate*¹) asociado a una determinada amenaza y a un tipo de elemento expuesto. Este tipo de representación permite medir el valor de la pérdida anual esperada en un determinado tipo de elemento expuesto a una determinada amenaza y, generalmente, se expresa en tanto por mil (‰). De esta manera, los indicadores de daño se expresan mediante una unidad única (unidad monetaria por cada mil unidades monetarias del valor del tipo de elemento expuesto).

¹ *Pure Premium Rate* en Zhengru et. al. (2010); *Prima técnica de riesgo* en ERN: Evaluación de Riesgos Naturales-América Latina.

- Variables lingüísticas que expresan por medio de palabras el nivel de daño que sufrirán los elementos expuestos debido a la amenaza considerada.

El uso de una determinada representación de los indicadores de daño físico (proporción o tasa de daño, prima pura de riesgo, variables lingüísticas) en los elementos expuestos de una zona urbana amenazada por peligros naturales está sujeto, entre otros a: la disponibilidad de información existente sobre la zona urbana, el juicio de valor de los expertos evaluadores del riesgo físico, la exactitud y la precisión que se desee alcanzar. Sin embargo, independientemente de la representación que se emplee, en una evaluación numérica del índice de riesgo físico, éste siempre se estima mediante la suma ponderada de factores contribuyentes al riesgo físico que se obtienen mediante funciones de transformación aplicadas a los descriptores de daño físico correspondientes.

En esta investigación el riesgo físico sísmico se ha estructurado como la contribución de descriptores relacionados con tres clases de afectaciones en relación a los elementos expuestos de la zona urbana: 1) daño físico predominante, 2) afectación de la población y 3) afectación de las líneas vitales (Figura 3-2).

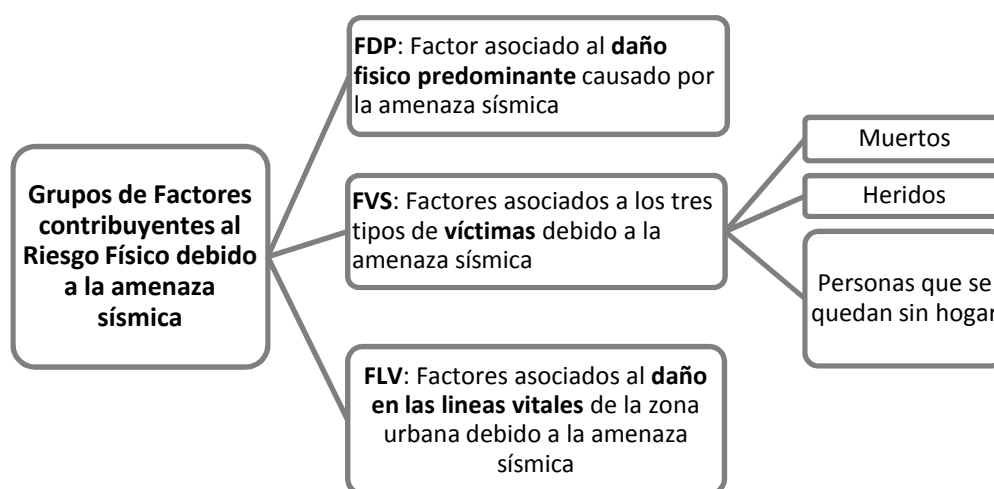


Figura 3-2. Diagrama descriptivo de la clasificación de factores contribuyentes al riesgo físico.

La afectación daño físico predominante se representa mediante un descriptor de riesgo físico que da cuenta del área destruida por la amenaza sísmica. La afectación de la población se representa mediante tres descriptores que dan cuenta de la cantidad de personas afectadas, o víctimas, que se pueden generar en una zona urbana; siendo cada uno asociados a un tipo de víctima particular: personas fallecidas, personas heridas, personas que pierden su hogar. Estos

tres tipos de víctimas se pueden sintetizar en un solo descriptor que da cuenta del porcentaje de población afectada, ver Tabla B-3 del Anejo B. Finalmente, la afectación de las líneas vitales se representa mediante descriptores que dan cuenta del daño físico en las líneas viales, tales como: sistemas de agua potable, vialidad, sistema de electricidad, entre otras, de una zona urbana debido a una amenaza sísmica.

A continuación se describen en mayor detalle seis descriptores que dan cuenta del daño físico en los elementos expuestos a una amenaza sísmica, en cualquier zona urbana:

Área destruida: Es un descriptor de la afectación de daño predominante que contribuye al riesgo físico y da cuenta del área destruida por un sismo considerado. Generalmente, se determina como el porcentaje de área construida que es destruida por un evento sísmico.

Fallecidos: Es un descriptor de la afectación de la población que contribuye al riesgo físico y da cuenta del número de personas fallecidas. Se estima, generalmente, como el cociente entre el número probable estimado de personas fallecidas y el número de habitantes de la zona a estudiar, expresado en tanto por mil (‰).

Heridos: Es un descriptor de la afectación de la población contribuyente al riesgo físico que da cuenta del número de víctimas del tipo heridos. Se estima, generalmente, como el cociente entre el número probable de personas heridas y el número de habitantes de la zona a estudiar, expresado en ‰.

Personas que se quedan sin hogar (*Homeless*): Es un descriptor de la afectación de la población contribuyente al riesgo físico que da cuenta del número de personas que se quedan sin hogar. Se estima como el cociente entre el número probable de personas que se quedan sin hogar (*homeless*) y el número de habitantes de la zona de estudio, expresado en ‰.

Daño en los sistemas de agua potable: Es un descriptor de la afectación de las líneas vitales contribuyente al riesgo físico que da cuenta del número de roturas que se presentarían en la red de abastecimiento de agua potable por kilómetro de red debido a la amenaza natural sísmica a considerar en la zona de estudio, Ver Figura 3-3a.

Daño medio en los sistemas de vialidad: Es un descriptor de la afectación de las líneas vitales contribuyente al riesgo físico que da cuenta del daño medio (*Dm*) de la vialidad afectada, el cual se estima como el daño medio ponderado con la longitud en metros de la vialidad afectada debido a la amenaza natural sísmica respecto a la longitud total de la vialidad en la zona de estudio. Ver Figura 3-3b.

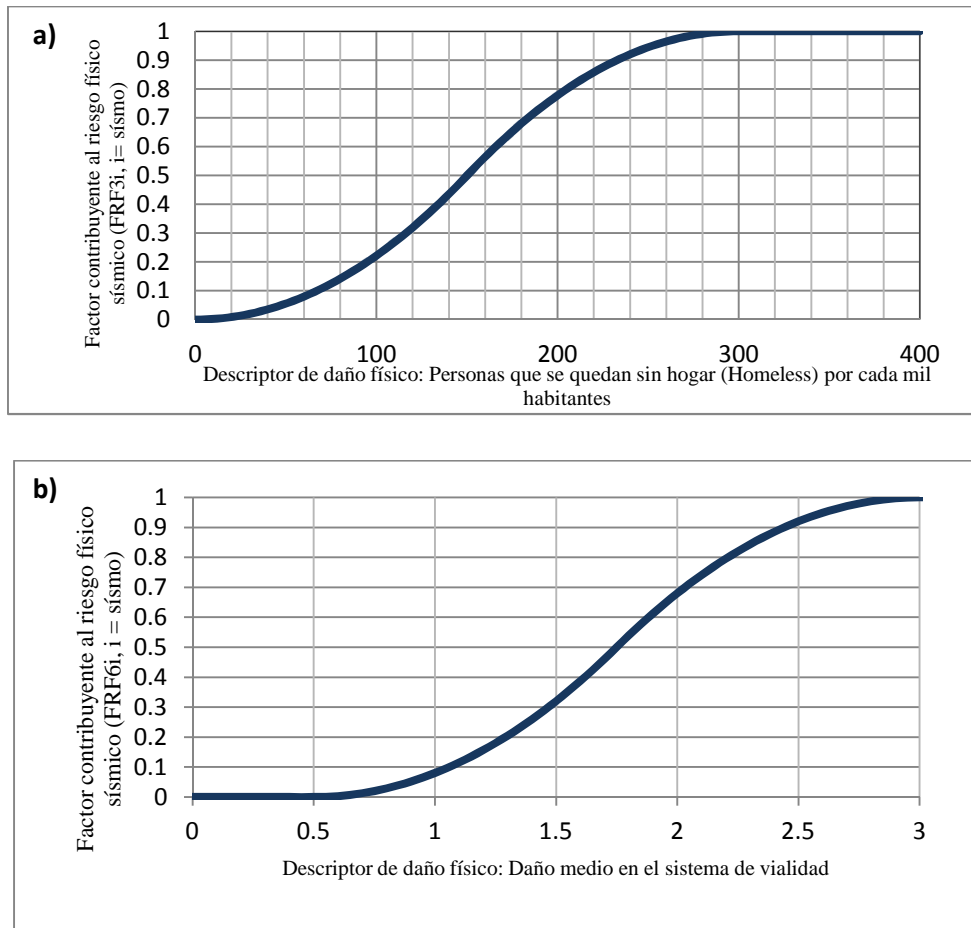


Figura 3-3. Función de transformación del descriptor de daño físico sísmico: a) personas que se quedan sin hogar; b) daño medio en el sistema de vialidad, a factor contribuyente del riesgo físico sísmico.

Cada uno de los daños físicos requeridos para determinar los descriptores mencionados anteriormente se pueden estimar mediante metodologías de evaluación de riesgo físico tales como las propuestas por ATC-13 (1985), HAZUS (FEMA, 1999), RISK-UE, Coburn y Spence (1992), u otras similares. En este caso, cada descriptor tiene un tipo de representación tipo tasa o proporción de daño y presenta límites de riesgo mínimo y máximo como se indica en la Tabla 3-1, el asterisco presenta que los límites de riesgo del descriptor de daño físico sísmico son similares a los propuestos en Carreño (2006).

Tabla 3-1: Límites mínimos y máximos de riesgos para descriptores de riesgo físico sísmico.

Descriptor de riesgo físico	Limite mínimo	Limite máximo
*Área destruida	0%	20%
*Fallecidos	0‰	50 personas fallecidas por cada 1000 habitantes =50‰
*Heridos	0‰	75 personas heridas por cada 1000 habitantes = 75‰
Personas que se quedan sin hogar	0‰	300 personas que se quedan sin hogar por cada 1000 habitante = 300‰
*Daño en los sistemas de agua potable	0	10 roturas por kilómetro de red
Daño medio en los sistema de vialidad	0.5 ⁺	3.0 ⁺

* Límites similares a los propuestos en Carreño (2006).

⁺ en concordancia con los siguientes niveles de daño: Nulo (si $D_m \leq 0.50$), Leve (si $0.5 < D_m \leq 1.5$), Moderado (si $1.5 < D_m \leq 2.5$) y, Completo (si $2.5 < D_m \leq 3.0$).

El riesgo físico para una amenaza sísmica (RF_i) se determina mediante la ecuación 3-1, para lo cual se requieren el número de factores contribuyentes (n_{ji}), los factores contribuyentes al riesgo físico sísmico (F_{RFji}) y sus respectivos pesos de ponderación (WF_{RFji}).

En el caso de esta investigación se consideran un número de factores igual a seis ($n_{ji} = 6$). En la Tabla 3-2 se presentan los pesos de ponderación para cada uno de los seis factores contribuyentes; éstos se determinan mediante un proceso analítico jerárquico (PAJ) empleando la matriz de comparación de pares mostrada en la Tabla 3-3, en la cual se muestran de manera compacta la importancia relativa entre los distintos pares posibles de factores de acuerdo al criterio de Saaty (1980) (ver Tabla 2-4).

Cada factor contribuyente, se estima a partir del descriptor correspondiente de daño físico sísmico mediante la función de transformación mostrada gráficamente en la Figura 3-1, pero particularizada con sus respectivos límites de riesgo (Tabla 3—1), resultando por ejemplo las funciones dadas en la Figura 3-3.

Tabla 3-2: Pesos de ponderación (WF_{RFij}) para factores contribuyentes al riesgo físico sísmico (F_{RFij}).

Factor contribuyente al riesgo físico sísmico, F_{RFij}, asociado a:	Peso de participación WF_{RFij}
Área destruida, F_{RFi1}	0.29
Fallecidos, F_{RFi2}	0.16
Heridos, F_{RFi3}	0.21
Personas que se quedan sin hogar (Homeless), F_{RFi4}	0.14
Daño en el sistema de agua potable, F_{RFi5}	0.10
Daño medio en el sistema de vialidad, F_{RFi6}	0.10

Tabla 3-3: Matriz de comparación de pares para los factores contribuyentes del Riesgo Físico Sísmico.

	Factor de riesgo físico sísmico asociado a:					
	Área destruida	Fallecidos	Heridos	Personas que se quedan sin hogar	Daño en el sistema de agua potable	Daño medio en el sistema de vialidad
	F_{RFi1}	F_{RFi2}	F_{RFi3}	F_{RFi4}	F_{RFi5}	F_{RFi6}
F_{RFi1}	1.0	3.0	2.0	1.0	2.0	3.0
F_{RFi2}	1/3	1.0	0.5	1.0	3.0	2.0
F_{RFi3}	1/2	2.0	1.0	2.0	2.0	2.0
F_{RFi4}	1.0	1.0	1/2	1.0	1.0	1.0
F_{RFi5}	1/2	1/3	1/2	1.0	1.0	1.0
F_{RFi6}	1/3	1/2	1/2	1.0	1.0	1.0

3.4 COEFICIENTE DE AGRAVAMIENTO

En el enfoque holístico de la evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas es de vital importancia cuantificar el contexto social, ya que éste puede agravar el riesgo físico sísmico. El contexto social de una zona urbana, basado en indicadores, se sintetiza en un coeficiente de agravamiento (F) (Carreño, 2006). Este coeficiente viene a ser la contribución de un número de factores contribuyentes, los cuales se obtienen a partir de los indicadores predominantes del contexto social. Para computar el agravamiento F , estos indicadores se convierten a factores contribuyentes del agravamiento de una zona urbana, lo cual se realiza mediante funciones de transformación que se fundamentan en conceptos de la teoría de conjuntos difusos (Carreño, 2006, Carreño et al., 2007a).

A continuación se presenta el proceso de selección de los indicadores del contexto (apartado 3.4.1). Luego, las funciones que permiten transformar los indicadores sociales predominantes, obtenidos en el apartado anterior, a factores contribuyentes al coeficiente de agravamiento (apartado 3.4.2). Posteriormente, se plantea la formulación del coeficiente de agravamiento para las dos condiciones extremas propuestas en esta investigación (apartado 3.4.3).

3.4.1 PROCESO DE SELECCIÓN DE LOS INDICADORES DE CONTEXTO

El contexto social es un elemento muy complejo de evaluar en casi todas las áreas del conocimiento humano, dado que el contexto social resulta de un sistema muy flexible, con un alto grado de incertidumbre. Sin embargo, para lograr evaluar la vulnerabilidad del contexto social de forma integral en un territorio urbano se emplean indicadores, como lo recomienda la literatura (entre otros, Cutter et al., 2003; Birkmann, 2006; Carreño, 2006; Padrós, 2008, de Oliveira, 2009).

Los indicadores que permiten dar cuenta del contexto social, han experimentado en los últimos años una gran difusión. Varias son las causas que lo han hecho posible, entre otras, destacan como más relevantes: i) el proceso de globalización que propicia las comparaciones espaciales sobre los niveles de bienestar y que incluye entre sus parámetros de medición los indicadores sociales, ii) la preocupación de los organismos internacionales y nacionales por crear sistemas estadísticos adecuados para evaluar los diferentes aspectos del contexto social; y, por último, iii) la demanda cada vez mayor de indicadores manejables, no sólo por parte de los científicos sociales, sino también de los responsables de las instituciones encargadas de

tomar decisiones inherentes para que una zona urbana sea cada vez menos vulnerable socialmente.

En esta investigación, para describir el contexto social, inicialmente, se seleccionaron veinte indicadores entre los muchos existentes a nivel mundial, que guardan correspondencia, parcial o total, con indicadores formulados por: La Agenda del Hábitat (1996), Estambul+5 (2001), los Objetivos del Milenio (ODM; 2008) (ONU-Habitat, 2009) y, Carreño (2006). La Tabla 3-4 resume el número de los distintos indicadores presentes en dichas fuentes.

Tabla 3-4: Resumen sobre el número de indicadores para cada una de las distintas fuentes más aceptadas mundialmente en el estudio del contexto social.

Fuente	Organizado	Indicadores
Agenda del Hábitat (1996)	En 5 capítulos y 19 objetivos	20 indicadores claves 13 indicadores extensivos 9 Datos cualitativos
Estambul+5 (2001)	En 6 capítulos y 20 objetivos	23 indicadores claves 9 listas de datos cualitativos
Objetivos del Milenio	En 8 objetivos y 21 metas a partir de 2008, antes en 18 metas	60 indicadores (año 2008) 42 indicadores (año 2003)
Carreño (2006)	Para la vulnerabilidad de contexto: en Fragilidad Social (FS) y en Falta de Resiliencia (FR). Para la gestión de riesgo: en cuatro políticas públicas.	5 indicadores para FS 6 indicadores para FR 6 indicadores por cada política pública (24 en total)

Para la selección se utilizó como criterio de descarte el hecho de que no sean aplicables a zonas urbanas, o que no sean aplicables al agravamiento de un riesgo físico debido a una amenaza natural dada. Los veinte indicadores se clasifican, de acuerdo al aspecto social que describen, en seis clases o categorías, ver Tabla 3-5: Vivienda (C1), Desarrollo social y erradicación de la pobreza (C2), Ordenamiento territorial (C3), Gobernanza (C4), Falta de Resiliencia (C5) y Demografía (C6).

Cada uno de estos veinte indicadores se describen con mayor detalle en el Anejo A, tomando en cuenta: nombre, definición, cálculo para estimarlo, categoría a la que pertenece, la correspondencia con otros indicadores, y la manera como se relacionan con objetivos de naturaleza política social en la planificación de los mismos, sirviendo también de criterio de medida del logro de éstos, como se expresa en el apartado 2.4.

Cada una de las seis categorías que se han definido está compuesta por dos o más indicadores, concretamente:

- La Categoría Vivienda (C1) se compone de dos indicadores que miden la vulnerabilidad social en las edificaciones de una zona urbana: área suficiente para vivir (V1) y estado de las viviendas (V2).
- La Categoría Desarrollo social y erradicación de la pobreza (C2) se compone de siete indicadores que miden aspectos sociales de igualdad e integración en el desarrollo de asentamientos urbanos: tasa de mortalidad (DS1), mortalidad infantil (DS2), tasa de delincuencia (DS3), políticas de reducción de violencia urbana (DS4), hogares pobres (DS5), tasa de alfabetización (DS6) y tasa combinada de escolaridad (DS7).
- La Categoría Ordenamiento territorial (C3) se compone de tres indicadores que miden como están estructurados los asentamientos urbanos: crecimiento de los asentamientos espontáneos (O1), nivel de ordenamiento urbano (O2) y proporción viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo (O3).
- La Categoría Gobernanza (C4) se compone de dos indicadores que miden el nivel de transparencia, responsabilidad y eficacia, en políticas pública de la zona urbana dada, de la administración, y son: índice de gestión de riesgo (G1) e índice de la percepción de la corrupción (G2).
- La Categoría Falta de Resiliencia (C5) se compone de cuatro indicadores que miden la capacidad de respuesta bajo una emergencia en una zona urbana dada: camas hospitalarias (F1), recursos humanos en salud (F2), personal de socorro (F3), y espacios públicos (F4).
- La Categoría Demografía (C6) se compone de dos indicadores que miden aspectos relacionados con la distribución de la población en los asentamientos urbanos: densidad de población (D1) y crecimiento población urbana (D2).

Tabla 3-5: Indicadores inicialmente seleccionados.

CATEGORÍA		OBJETIVO	#	INDICADOR	DESCRIPCIÓN	CÁLCULO Y/O UNIDAD DE MEDICIÓN
1	Vivienda	Promover el derecho a vivienda adecuada	1	Área suficiente para vivir	Proporción de hogares con por lo menos tres personas por habitación.	((Casos de viviendas con hacinamiento) *1000 viviendas/ total de viviendas)
		Promover el acceso mínimo a los servicios básicos	2	Estado de las viviendas	Porcentaje de hogares que no están conectados a los siguientes servicios dentro de su unidad habitacional: a) Agua transportada en tuberías, b) alcantarillado, c) electricidad y d) teléfono. En algunas ciudades se puede considerar como las viviendas que no son buenas, es decir presentan un estado deficiente, malo, y/o ruinoso.	((Viviendas con déficit de servicio) / (total de viviendas)) *1000 viviendas o ((Viviendas con estado no bueno) / (total de viviendas)) *1000 viviendas
2	Desarrollo social y erradicación de la pobreza	Promover la igualdad de oportunidades para una vida sana y segura	3	Tasa de mortalidad	Número de muertos por cada mil habitantes	Mortalidad General por cada 1000 habitantes
			4	Mortalidad infantil	Porcentaje de niños y niñas que mueren antes de llegar al quinto año de vida.	Número de muertos de niños/as menores de cinco años por cada mil nacidos /as vivos/as durante un año específico
			5	Tasa de Delincuencia	Número de delitos comunicados por año (víctimas de sexo masculino y femenino) por 1000 habitantes, con respecto a: i) homicidios, ii) violaciones, y iii) robos.	Número de delitos cada 100000 habitantes
		6	Políticas de Reducción de violencia urbana	Es un indicador cualitativo de las Políticas existentes y nivel de implementación adecuada para controlar la violencia urbana. Se debe responder "Sí" o "No" a las siguientes preguntas en cuanto a la existencia de: 1) áreas consideradas como peligrosas o inaccesibles para la policía (sí o no?); 2) violencia en las escuelas (muchas, alguna, ninguna); 3) ausencia de una política oficial contra la violencia doméstica (sí o no?); 4) ausencia de una política de prevención de delitos (sí o no?); 5) ausencia de una política de control de armas (sí o no?); 6) ausencia de programa (s) de ayuda para las víctimas de la violencia (sí o no?).	Se procesan las respuestas, asignado un valor a cada una; 1 si es afirmativa (Si, ninguna); 2 si es negativa (No; mucha) y 1.5 si la respuesta es alguna. Posteriormente se totalizan los valores de las seis respuestas; dicho total varía entre el rango comprendido de seis a doce; mediante una función de transformación se pasa a un factor cualitativo. Cabe destacar que cuando la suma de las respuestas está muy cercano a seis indica que Políticas de Reducción de violencia urbana es bajo o insuficiente (Factor cuantitativo cercano a uno), mientras que cuando la suma de las respuestas esté cercano a doce, indica que Políticas de Reducción de Violencia es muy alto (Factor cuantitativo cercano a cero).	
		7	Hogares pobres	Porcentaje de hogares dirigidos por mujeres y por hombres, situadas bajo la línea de la pobreza (línea de la pobreza definida a nivel nacional o local).	Viviendas pobres cada 1000 viviendas	
		8	Tasa de alfabetización	Proporción de la población, según género de 15 o más años de edad y que puede leer y escribir.	Tasa de alfabetización	
		9	Tasa combinada de escolaridad	Mide la cantidad de matriculas en la escuela básica y media (pública y privada) respecto a la población que le corresponde asistir a la escuela (población de 5 a 19 años).	Matricula Final (básica+ media) / Población de 5 a 19 años	

Tabla 3-5 (Continuación): Indicadores inicialmente seleccionados.

CATEGORÍA	OBJETIVO	#	INDICADOR	DESCRIPCIÓN	CÁLCULO Y/O UNIDAD DE MEDICIÓN
3	Ordenamiento territorial Promover una estructura geográficamente equilibrada de los asentamientos humanos	10	Crecimiento de los asentamientos espontáneos	Crecimiento anual de la población en aglomeración urbana o en las áreas urbanas sin planificación autoconstruidas por los habitantes de los mismos (barrios marginales espontáneos de autoconstrucción).	Proporción de viviendas autoconstruidas respecto a las viviendas reguladas
		11	Nivel de ordenamiento urbano	Es un Indicador Cualitativo. Para cuantificarle ha de darse respuesta a seis preguntas: 1) ¿En la zona urbana (perteneciente a una ciudad o país) existen códigos de construcción? (Sí/No); 2)¿Se aplica los códigos de construcción en la mayoría de las edificaciones de la zona urbana? (totalmente, parcialmente, No o muy poco); 3)¿En la zona urbana (perteneciente a una ciudad o país) cuenta con mapas de riesgo? (Sí/No); 4)¿En la zona urbana (perteneciente a una ciudad o país) se ha cumplido el no construir en zonas de riesgo?; 5)¿En la zona urbana (perteneciente a una ciudad o país) existen seguros contra desastre para edificios públicos y privados? (Sí/No); 6)¿En la zona urbana (perteneciente a una ciudad o país) el seguro contra desastres es de carácter obligatorio para las edificaciones públicas? (Sí, parcialmente, No).	Se procesan las respuestas, asignado un valor a cada una: 1 si es afirmativa -Sí, Totalmente-; 2 si es negativa -No o muy poco- y 1.5 si la respuesta es Parcialmente. Posteriormente se totalizan los valores de las seis respuestas; dicho total varía entre el rango comprendido de seis a doce; mediante una función de transformación se pasa a un factor cualitativo. Cuando la suma de las respuestas está muy cercano a seis indica que el nivel de ordenamiento territorial urbano es alto o de buena calidad (Factor cuantitativo cercano a cero), mientras que cuando la suma de las respuestas esté cercano a doce, indica que el nivel de ordenamiento territorial urbano es muy bajo (Factor cuantitativo cercano a uno).
		12	Proporción viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo	Proporción de viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo (por cada 100.000 viviendas).	Viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo /total de viviendas * 100000 viviendas
4	Gobernanza Garantizar la administración transparente, responsable y eficaz de pueblos, ciudades y zonas metropolitanas.	13	Índice de gestión de riesgo (IGR, DRM)	Índice que busca estimar el interés que ha tenido la administración de la ciudad en la aplicación de políticas públicas con el fin de intervenir en su vulnerabilidad o la amenaza para reducir los riesgos existentes.	IGR, varía entre cero y cien.
		14	Índice de la percepción de la corrupción	Índice que mide los niveles de percepción de la corrupción en el sector público.	IPC, Varía de cero a diez.
5	Falta de Resiliencia Garantizar la Capacidad de Respuesta bajo una Emergencia en las zonas urbanas	15	Camas hospitalarias	Número de camas cada 1000 habitantes.	(Número de camas *1000habitantes) / (Población del área urbana a evaluar).
		16	Recursos humanos en salud	Número de personal médico para cada 1000 habitantes.	(Número de médicos *1000habitantes) / (Población del área urbana a evaluar).
		17	Personal de socorro	Número de personal de socorro para cada 1000 habitantes.	(Número de Bomberos *1000habitantes) / (Población del área urbana a evaluar).
		18	Espacios públicos	% áreas de espacios públicos abiertos por cada mil habitantes. Siendo %q un porcentaje de la población que requiere utilizar espacios públicos en la atención de desastres (%q =20%). El área se refiere a las áreas potencialmente útiles en la atención de emergencias o desastres	(área de espacios públicos abiertos) / (Pq)*1000habitantes. Pq: Población*%q
6	Demografía Conocer la distribución de la Población de los asentamientos urbanos	19	Densidad de población	Es la población relativa, es decir: la distribución del número de habitantes en un perímetro de un lugar a través del territorio de una unidad funcional o administrativa (continente, país, estado, provincia, municipio, comarca, parroquia, entre otras).	Número de habitantes/km ² de área construida.
		20	Crecimiento población urbana	Crecimiento anual de la población en aglomeración urbana o en las áreas urbanas nacionales durante los últimos cinco años de referencia. Es la tasa anual.	Tasa anual promedio del crecimiento de la población urbana. $(P_{i+5} - P_i)/5$ años P_i =Población en el año i; P_{i+5} =Población en el año i+5

Para facilitar la nomenclatura y el procesamiento de los veinte indicadores, en lo sucesivo, éstos se nombrarán según el código asignado que se indica en la Tabla 3-6.

Tabla 3-6: Códigos de los indicadores inicialmente seleccionados.

Categoría		Nombre del Indicador	Código (*)
C1	Vivienda	Área suficiente para vivir	V1
		Estado de las viviendas	V2
C2	Desarrollo social y erradicación de la pobreza	Tasa de mortalidad	DS1
		Mortalidad infantil	DS2
		Tasa de delincuencia	DS3
		Políticas de reducción de violencia urbana	DS4
		Hogares pobres	DS5
		Tasa de alfabetización	DS6
		Tasa combinada de escolaridad	DS7
C3	Ordenamiento territorial	Crecimiento de los asentamientos espontáneos	O1
		Nivel de ordenamiento urbano	O2
		Proporción viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo	O3
C4	Gobernanza	Índice de gestión de riesgo (IGR, DRM)	G1
		Índice de la percepción de la corrupción	G2
C5	Falta de resiliencia	Camas hospitalarias	F1
		Recursos humanos en salud	F2
		Personal de socorro	F3
		Espacios públicos	F4
C6	Demografía	Densidad de población	D1
		Crecimiento población urbana	D2
(*) según el nombre de la categoría a la que pertenece			

Teniendo en cuenta que un número muy alto de indicadores podría ser redundante e innecesario y haría muy difícil la asignación de factores de importancia o pesos a cada indicador, los veinte indicadores para evaluar el contexto social se reducen a trece. Esto se hace mediante la aplicación de una metodología fundamentada en un criterio de independencia (o nivel de determinación, fundamentado en la matriz *graph*, descrita en el apartado 2.6). La Tabla 3-7 presenta los resultados del nivel de determinación calculado para los 20 indicadores seleccionados. En la última columna de la Tabla 3-7 el círculo verde indica que el nivel de determinación es positivo ($D \geq 0$), mientras que un círculo rojo indica que D es negativo.

Tabla 3-7: Nivel de determinación (D) para veinte indicadores medidores del contexto social, resultantes de aplicar la metodología del criterio de dependencia.

Código	Clase	Nombre del Indicador	Nivel de Determinación, D
V1	C1	Área suficiente para vivir	● 0.105
V2		Estado de las viviendas	● 0.000
DS1	C2	Tasa de mortalidad	● -0.737
DS2		Mortalidad infantil	● -0.526
DS3		Tasa de Delincuencia	● -0.105
DS4		Políticas de Reducción de violencia urbana	● -0.053
DS5		Hogares pobres	● 0.158
DS6		Tasa de alfabetización	● 0.105
DS7		Tasa combinada de escolaridad	● -0.105
O1	C3	Crecimiento de los asentamientos espontáneos	● 0.684
O2		Nivel de ordenamiento urbano	● 0.316
O3		Proporción viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo	● 0.105
G1	C4	Índice de gestión de riesgo (IGR, DRM)	● 0.105
G2		Índice de la percepción de la corrupción	● -0.211
F1	C5	Camas hospitalarias	● 0.053
F2		Recursos humanos en salud	● 0.000
F3		Personal de socorro	● 0.000
F4		Espacios públicos	● -0.105
D1	C6	Densidad de población	● 0.158
D2		Crecimiento población urbana	● 0.053

Luego, los distintos indicadores se jerarquizan por clases, con los valores del nivel de determinación. Así, se seleccionaron únicamente los 13 indicadores que presentan nivel de determinación positivo ($D \geq 0$) (Tabla 3-8), esto es, presentan menor nivel de dependencia o mayor nivel de independencia, respecto de los otros indicadores, lo que les hace aptos para describir el aspecto social propio de la categoría a la que pertenece. Es decir, los 13 indicadores se seleccionaron por ser los más adecuados para describir el contexto social de una zona urbana.

Cada uno de los siete indicadores descartados son aquellos que presentan un valor de determinación negativo ($D < 0$), debido a que dicho valor sugiere que el indicador no es apto para describir el aspecto social propio de la clase a la que pertenece. Además, un valor negativo indica una mayor dependencia con los demás indicadores.

Tabla 3-8: Indicadores con nivel de determinación positivo.

Nivel de Determinación,	Ci	Código	Nombre del Indicador
0.105	C1	V1	Área suficiente para vivir
0.000		V2	Estado de las viviendas
0.158	C2	DS5	Hogares pobres
0.105		DS6	Tasa de alfabetización
0.684	C3	O1	Crecimiento de los asentamientos espontáneos
0.316		O2	Nivel de ordenamiento urbano
0.105		O3	Proporción viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo
0.105	C4	G1	Índice de gestión de riesgo (IGR, DRM)
0.053	C5	F1	Camas hospitalarias
0.000		F2	Recursos humanos en salud
0.000		F3	Personal de socorro
0.158	C6	D1	Densidad de población
0.053		D2	Crecimiento población urbana

La idea es que cada indicador de cada categoría pueda describir, lo mejor posible y de manera simplificada, la complejidad de los distintos aspectos de su clase. Por el contrario, un indicador dado no ha de describir, de manera confiable, aspectos de otra clase. Esto es de gran valor, pues sugiere que en el límite, se requieren, como mínimo, *seis* indicadores, uno por clase, para describir el contexto social, lo cual puede simplificar y potenciar enormemente el trabajo de evaluar el agravamiento social en cualquier zona urbana, en caso de no disponer de información suficiente de todos los indicadores.

De este modo se ha conseguido adaptar un número reducido de los indicadores más representativos del contexto social, que resultarán relativamente fáciles de obtener para cualquier zona urbana a la cual se aplicará la metodología de evaluación del riesgo sísmico con una mirada holística.

3.4.2 FUNCIONES DE TRANSFORMACIÓN DE INDICADORES SOCIALES A FACTORES

CONTRIBUYENTES AL COEFICIENTE DE AGRAVAMIENTO

Los indicadores del contexto describen aspectos sociales de distintas naturalezas, y su rango de variación y dirección de contribución al agravamiento depende de dicha naturaleza tanto en la unidad de medida descriptiva como en el espectro de valores globales de zonas urbanas registradas. Para fijar los límites, mínimo y máximo, de los indicadores se realizó una búsqueda de la variación mundial de éstos (en diferentes bases de datos, censos, observadores

urbanos, experiencia de expertos, literatura)² y en algunos casos se realizó análisis de sensibilidad.

En Tabla 3-9 se presenta los límites (mínimo y máximo) de los indicadores que permiten representar el contexto social y su respectiva dirección de crecimiento (ascendente o descendente).

Tabla 3-9: Límites de los rangos de los indicadores y dirección de crecimiento para las funciones de transformación.

Categoría	Nombre del Indicador	Código	Límite Mínimo	Límite Máximo	Dirección de crecimiento
C1	Área suficiente para vivir	V1	0	300 viviendas con hacinamiento por cada 1000 viviendas	ascendente
	Estado de las viviendas	V2	0	300 viviendas con condición p1 ⁽⁺⁾ por cada 1000 viviendas	ascendente
C2	Tasa de mortalidad	DS1	0	30 muertos por cada 1000 habitantes = 30‰	ascendente
	Mortalidad infantil	DS2	0	30‰	ascendente
	Tasa de Delincuencia	DS3	14 número de delitos por cada cien mil personas	1400 número de delitos por cada 100000 personas	ascendente
	Políticas de Reducción de violencia urbana	DS4	6 ^(*)	12 ^(*)	ascendente
	Hogares pobres	DS5	1‰	500‰= 500 viviendas pobres por cada 1000 viviendas	ascendente
	Tasa de alfabetización	DS6	35%	95%	descendente
	Tasa combinada de escolaridad	DS7	0.05=5%	0.90=90%	descendente
C3	Crecimiento de los asentamientos espontáneos	O1	0	20	ascendente
	Nivel de ordenamiento urbano	O2	6 ^(*)	12 ^(*)	ascendente
	Proporción viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo	O3	0	3000 viviendas ubicadas a riesgo por cada cien mil viviendas = 30‰	ascendente
C4	Índice de gestión de riesgo (IGR, DRM)	G1	10	80	descendente
	Índice de la percepción de la corrupción	G2	1	8	descendente
C5	Camas hospitalarias	F1	2 camas por cada 1000 habitantes	12 camas por cada 1000 habitantes	descendente
	Recursos humanos en salud	F2	1 profesional de salud por cada 1000 habitantes	6 profesionales de salud por cada 1000 habitantes	descendente
	Personal de socorro	F3	0	7 personales de socorro por cada 1000 habitantes	descendente
	Espacios públicos	F4	1.6m ² /habitante	4.0m ² /habitante	descendente
C6	Densidad de población	D1	0.4x10 ⁴ hab/Km ²	2.5x10 ⁴ hab/Km ²	ascendente
	Crecimiento población urbana	D2	0	10	ascendente

(*) Valores al pasar el indicador cualitativo a una cantidad cuantificable

(+) Condición p1= déficit de servicios, condición p2= viviendas con estado no bueno

² www.cia.gov/library/ en *The World Factbook* que ofrece información sobre la historia, población, gobierno, economía, geografía, comunicaciones, transporte, militar y cuestiones transnacionales para 267 entidades del mundo; Coburn y Spence (1992,2002); Organización Mundial de la Salud (<http://www.who.int/research/es/>); Censos de: España (<http://www.ine.es/>; <http://www.idescat.cat>), México (<http://www.inegi.org.mx/>), Perú (<http://www.inei.gob.pe/>), Venezuela (<http://www.ine.gov.ve/>); Observador Urbano: en Chile (<http://www.observatoriourbano.cl/index.asp>), en México: Riviera Maya (<http://www.cozumel.uqroo.mx/oulr/cozumel/index-cozumel.htm>); entre otras fuentes.

En las seis figuras, de la Figura 3-4 a la Figura 3-9, se muestran gráficamente para cada categoría las funciones de transformación correspondientes a sus indicadores del contexto social con nivel de determinación positivo (V1, V2, DS5, DS6, O1, O2, O3, G1, F1, F2, F3, D1, y, D2, Tabla 3-8). En dichas figuras el color en los círculos con una letra hace alusión al color que presentan los indicadores por categoría desde la Tabla 3-5 hasta la Tabla 3-9.

En cada una de las figuras el factor contribuyente al agravamiento se encuentra en las ordenadas con valores que van de 0 a 1, mientras que en las abscisas se representa el indicador particular, con valores que van desde su límite inferior al superior.

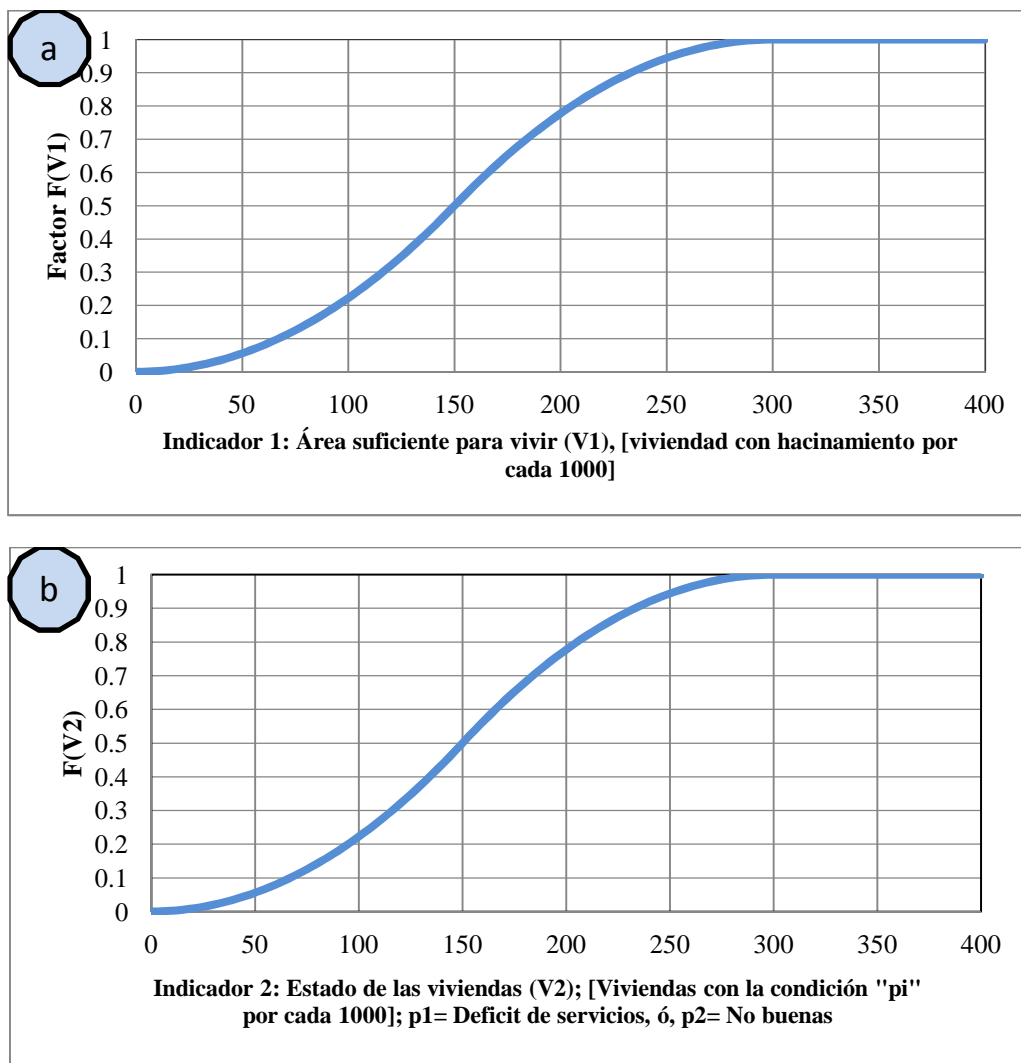


Figura 3-4. Funciones de Transformación para indicadores de la categoría Vivienda (C1): a) Indicador V1, b) Indicador V2.

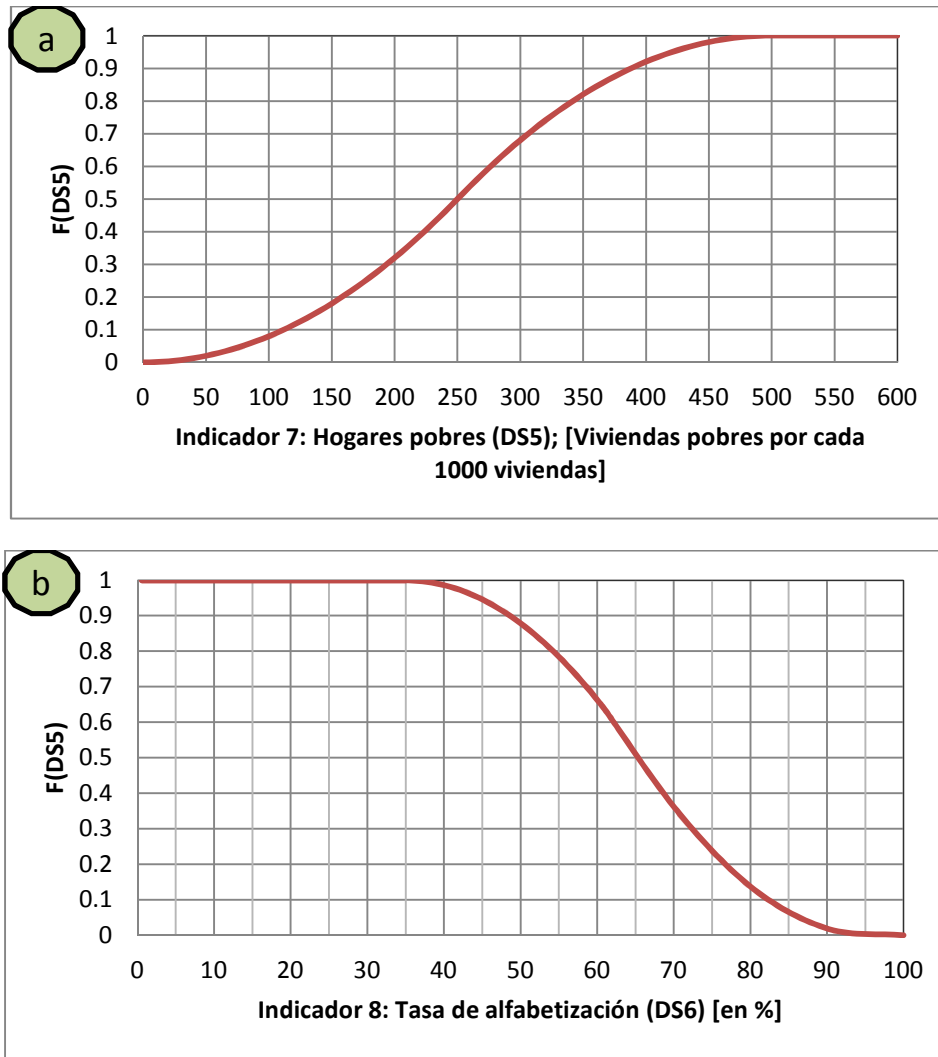


Figura 3-5. Funciones de Transformación para indicadores de la categoría Desarrollo social y erradicación de la pobreza (C2): a) Indicador DS5, b) Indicador DS6.

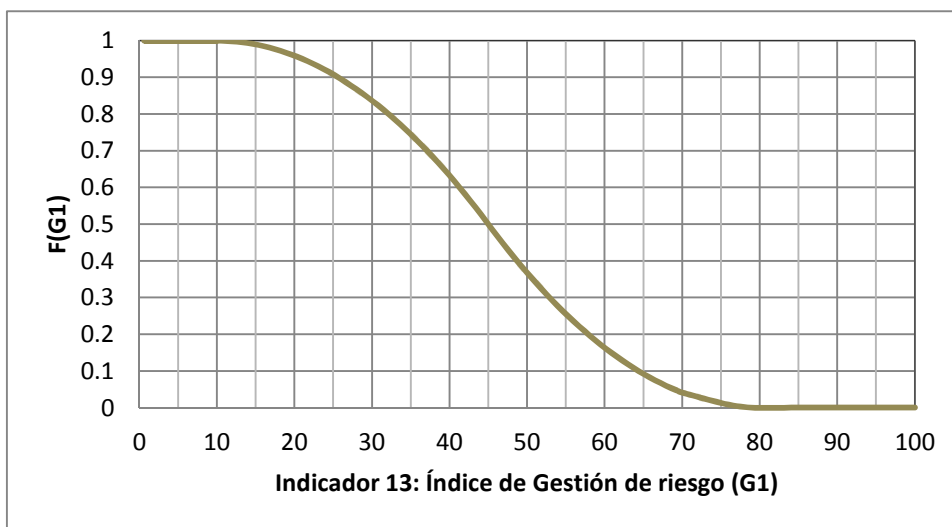


Figura 3-6. Función de Transformación para el indicador G1 de la categoría Gobernanza (C4).

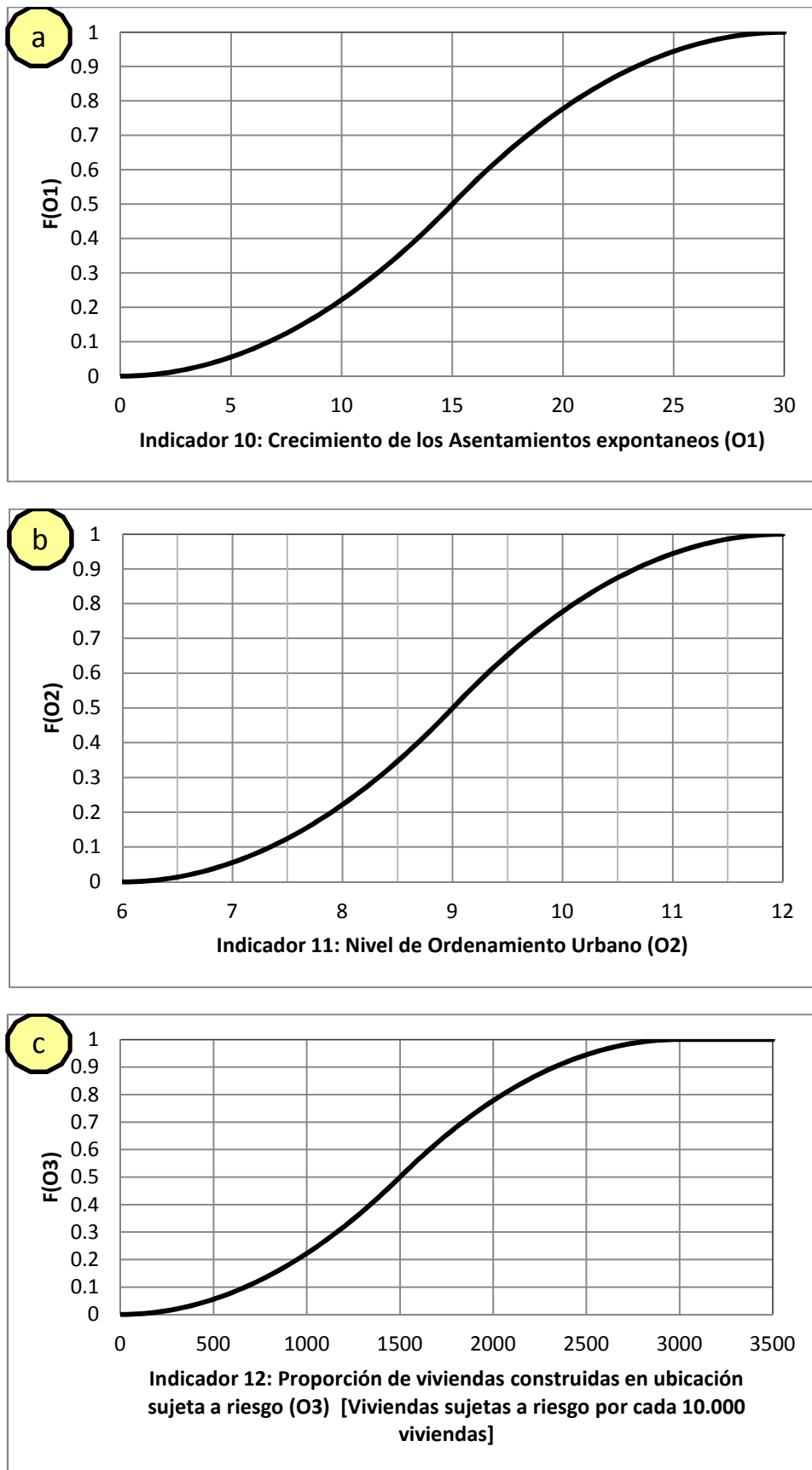


Figura 3-7. Funciones de Transformación para indicadores de la categoría Ordenamiento Territorial (C3): a) Indicador O2, b) Indicador O2, c) Indicador O3.

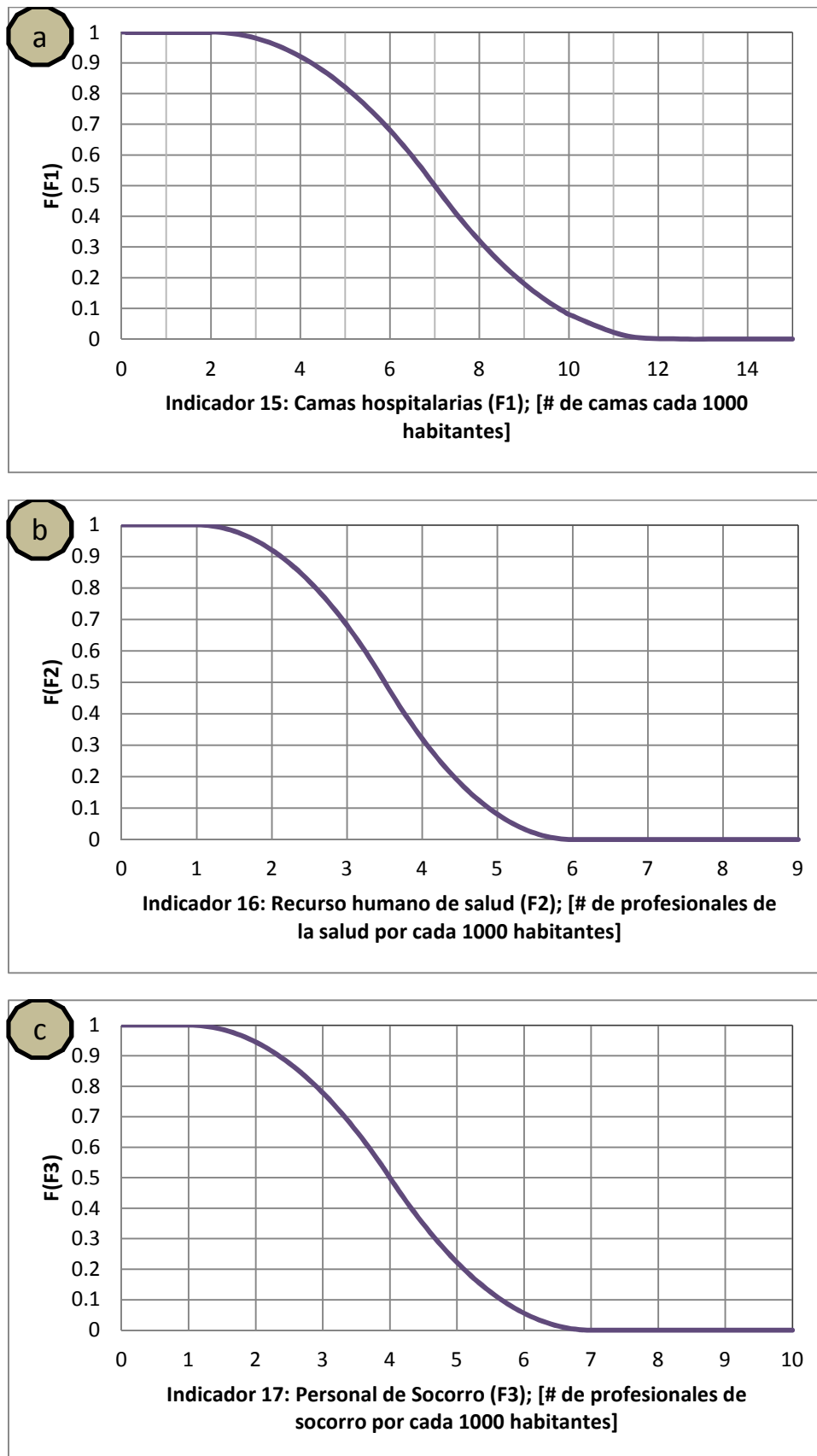


Figura 3-8. Funciones de transformación de indicadores de la Categoría Falta de Resiliencia (C5): a) Indicador F1, b) Indicador F2, c) Indicador F3.

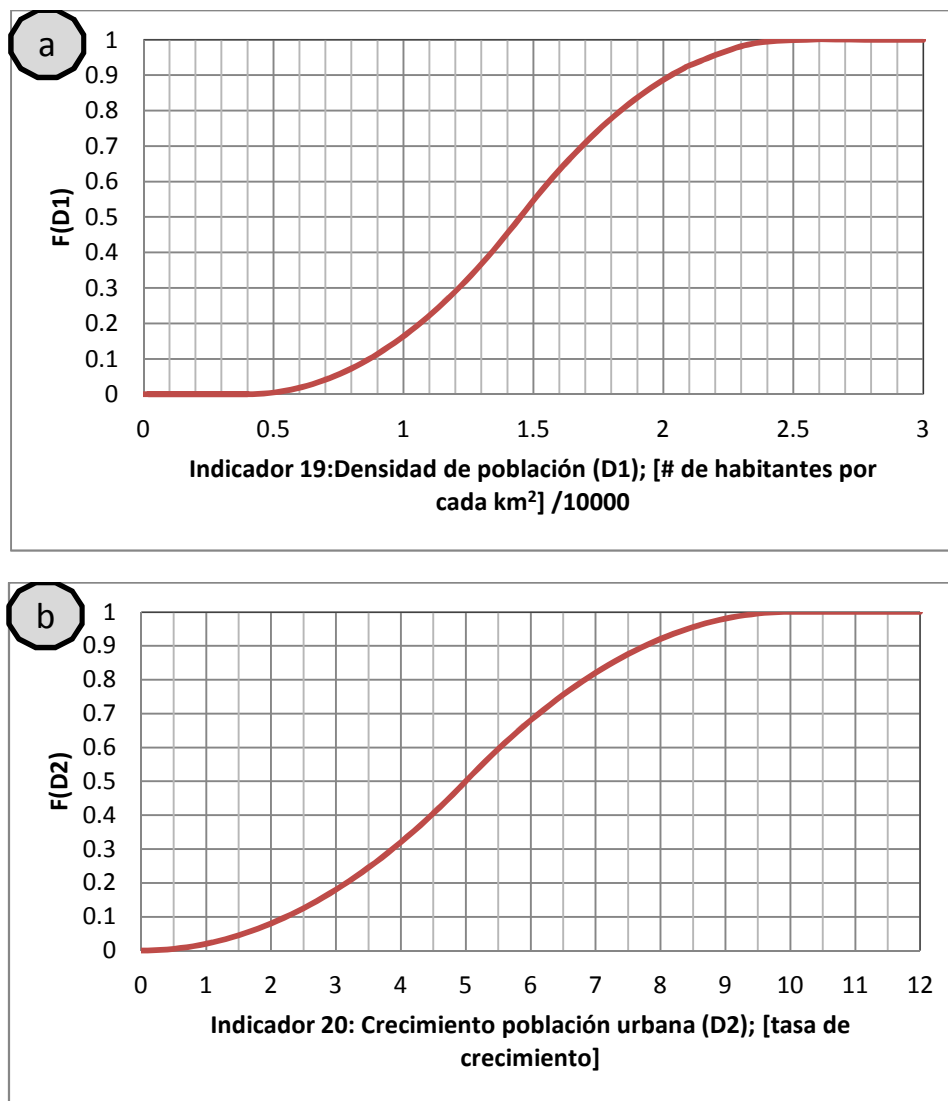


Figura 3-9. Funciones de transformación de indicadores de la categoría Demografía (C6): a) Indicador D1; b) Indicador D2.

3.4.3 FORMULACIÓN DEL COEFICIENTE DE AGRAVAMIENTO

En esta investigación se propone obtener el *coeficiente de agravamiento* (F) para cualquier zona urbana, dependiendo de la información disponible que da cuenta de la fragilidad social y falta de resiliencia, con una cantidad específica de n factores contribuyentes. El valor de n es un valor tal que se encuentre entre el valor mínimo (6) y el valor máximo (13) establecido. El límite inferior se debe a que un sólo indicador social es suficiente para definir los aspectos sociales de cada una de las seis categorías definidas. El límite máximo corresponde al total de los indicadores sociales predominantes obtenidos para una zona urbana.

Con la idea de facilitar el análisis y la comparación de distintos casos, resulta conveniente expresar el coeficiente de agravamiento en términos lingüísticos. Así, en esta investigación se subdivide el rango numérico del coeficiente de agravamiento en cinco niveles

($N_{i_F}, \forall i = 1, \dots, 5$), o intervalos del rango, que lingüísticamente se corresponden a los niveles: *Muy bajo* (N_{1_F}), *Bajo* (N_{2_F}), *Medio* (N_{3_F}), *Alto* (N_{4_F}), *Muy Alto* (N_{5_F}). Los rangos numéricos de F asociados a sus equivalentes niveles lingüísticos (N_{i_F}) se muestran en la Tabla 3-10, y se representan mediante un color determinado.

Tabla 3-10: Rangos para cada nivel del coeficiente de agravamiento.

Nivel	Rango F	Color de Representación
Muy Bajo	[0.0 a 0.1]	Azul claro
Bajo	(0.1 a 0.3]	Verde
Medio	(0.3 a 0.5]	Amarillo
Alto	(0.5 a 0.7]	Naranja
Muy Alto	(0.7 a 1.0]	Rojo

A continuación se presentan dos casos de aplicación:

- **Caso General:** este caso considera que el coeficiente de agravamiento (F) de cualquier zona urbana se obtiene considerando todos los aspectos sociales detallados en los 13 indicadores sociales predominantes. Es decir, considera 13 factores contribuyentes ($n=13$). Sus respectivos pesos de participación se establecen aplicando el PAJ a la matriz dada en la Tabla 3-11, resultando una consistencia aceptable ($CR=0.0987 < 0.10$) (Ver Tabla 3-12).

Tabla 3-11: Matriz de comparación de pares para trece factores contribuyentes al agravamiento pertenecientes a los indicadores más representativos que definen el contexto social (caso general).

	V1	V2	DS5	DS6	O1	O2	O3	G1	F1	F2	F3	D1	D2
V1	1.0	1/2	1.0	4.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	2.0	3.0	1.0	2.0
V2	2.0	1.0	3.0	4.0	1.0	1/2	1/2	1/2	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0
DS5	1.0	1/3	1.0	1/2	1.0	1/2	1/2	1/2	1.0	1.0	1.0	1/3	1.0
DS6	1/4	1/4	2.0	1.0	1.0	1/3	1/2	1.0	1.0	1.0	1.0	1/2	3.0
O1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
O2	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	1.0	1.0	1/2	2.0	1.0	1.0	1.0	2.0
O3	1.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.50	1.0	1/2	2.0	3.0
G1	1.0	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0
F1	1/3	1.0	1.0	1.0	1.0	1/2	2.0	1/3	1.0	2.0	3.0	1.0	1.0
F2	1/2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1/2	1/2	1.0	2.0	1.0	1.0
F3	1/3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1/2	1/3	1/2	1.0	1.0	1.0
D1	1.0	1.0	3.0	2.0	1.0	1.0	1/2	1/2	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0
D2	1/2	0.5	1.0	1/3	1.0	1/2	1/3	1/2	1.0	1.0	1.0	1/3	1.0

Tabla 3-12: Pesos de participación de los factores contribuyentes al agravamiento para n= 13 (caso general)

Categoría	C1		C2		C3			C4	C5			C6	
Indicador j	V1	V2	DS5	DS6	O1	O2	O3	G1	F1	F2	F3	D1	D2
$W_{F_{indicadorj}}$ $j = 1, \dots, n$ $n = 13$	0.110	0.090	0.051	0.062	0.054	0.074	0.067	0.092	0.087	0.115	0.079	0.063	0.056

- Caso con un factor contribuyente por categoría (n=6):** No siempre se dispone de toda la información concerniente a cada uno de los 13 indicadores sociales predominantes de la zona a estudiar. Por ello, para evaluar el agravamiento, de manera adecuada, que generaría el contexto social en una zona urbana, se requiere de información de, al menos, un indicador por cada una de las seis categorías antes descritas. Así, el coeficiente de agravamiento se determinaría para n igual a seis. De esta manera el cálculo del coeficiente de agravamiento resulta ser más sólido teórica, y analíticamente. Aplicando el PAJ a la matriz dada en la Tabla 3-13 se obtuvo un $CR=0.0866 < 0.1$ y los pesos de participación correspondientes a los factores que contribuyen al agravamiento para el caso de un factor asociado a un indicador por categoría, Ver Tabla 3-14.

Tabla 3-13: Matriz de comparación de pares para las seis categorías que definen el contexto social (caso por categorías).

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1.00	2.00	0.50	1.00	3.00	0.50
C2	0.50	1.00	0.50	1.00	2.00	0.50
C3	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	2.00
C4	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00	2.00
C5	0.33	0.50	1.00	0.25	1.00	0.50
C6	2.00	2.00	0.50	0.50	2.00	1.00

Tabla 3-14: Pesos de participación de los factores contribuyentes al agravamiento por categoría que definen el contexto social.

Categoría	C1: Vivienda	C2: Desarrollo social y erradicación de la pobreza	C3: Ordenamiento o territorial	C4: Gobernanza	C5: Falta de Resiliencia	C6: Demografía
$W_{F_{indicadorj}}$	0.168	0.123	0.224	0.220	0.088	0.177

Por consiguiente, al disponer de un total de 13 indicadores representativos para describir el contexto social, existen 72 posibilidades de combinarlos organizados por categoría -un factor por cada una de las seis categorías- $\left(\overset{C1}{\underbrace{2}} * \underset{C2}{\underbrace{2}} * \overset{C3}{\underbrace{3}} * \underset{C4}{\underbrace{1}} * \overset{C5}{\underbrace{3}} * \underset{C6}{\underbrace{2}} = 72 \right)$, ver Figura 3-10 . Sin embargo, se tomará la combinación más representativa del contexto social para la zona urbana dada, la cual viene determinada por aquella que tenga el conjunto de indicadores con mayor nivel de determinación por categoría.

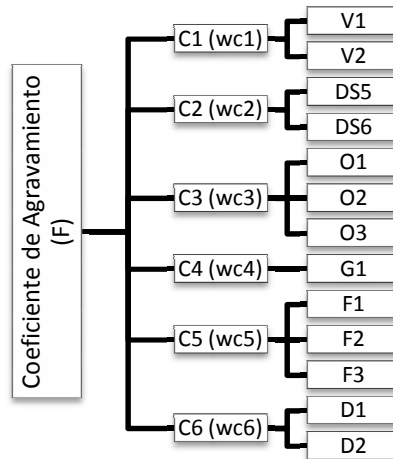


Figura 3-10. Indicadores por categoría contribuyentes al coeficiente de agravamiento.

Por otra parte, para obtener el coeficiente de agravamiento (F) en una zona urbana dada, cuando el número de indicadores sociales predominantes disponibles sea mayor a 6 y menor a 13, la metodología, propuesta, deja abierta la posibilidad de ajustar los pesos de participación de los respectivos factores contribuyentes a F .

3.5 FORMULACIÓN DEL ÍNDICE DE RIESGO TOTAL SÍSMICO

En esta investigación, se ha acotado el riesgo total sísmico que sufrirá una zona urbana a ser un valor numérico máximo de uno ($R_{total_k} \leq 1$) para homogenizar y hacer más fácil su uso (ver ecuación 3-2). Dado que, la forma en que esta metodología define el riesgo físico sísmico, la condición más negativa o desfavorable para una zona urbana se alcanza cuando esté presente su valor unitario ($R_{F_{máximo}} = 1$). Y, la filosofía de considerar un factor de impacto indica que el riesgo físico se incrementa debido al agravamiento que genera el contexto social del asentamiento urbano a estudiar.

$$R_{total_k} = R_{F_i} * (1 + F) \leq 1.0$$

3-2

Donde:

R_{total_k} se refiere al riesgo total sísmico que se presentara en una determinada zona urbana (k);

R_{F_i} es el riesgo físico o impacto directo debido a la amenaza sísmica, que golpea a una unidad de estudio (k), y se obtiene, en este trabajo, mediante la ecuación 3-1.

$(1 + F)$ es conocido como, un factor de impacto, que depende de F que es un coeficiente de agravamiento que depende del contexto social (Carreño, 2006).

En esta investigación F se calcula mediante la formulación del apartado 3.4.3.

El riesgo físico y total son estimaciones del riesgo, en diferentes dimensiones, que se pueden presentar en una zona urbana expuesta a una amenaza natural sísmica. Estas medidas pueden ser empleadas en diferentes políticas, como las de planificación, mitigación, prevención, y respuesta post-amenaza, entre otras. En esta investigación estos riesgos se han clasificado en cinco niveles (Tabla 3-15), los cuales se denominan de menor a mayor nivel riesgo en: *Muy bajo* (nivel 1), *Bajo* (nivel 2), *Medio* (nivel 3), *Alto* (nivel 4) y *Muy alto* (nivel 5).

Tabla 3-15: Rangos de valores para cada nivel de riesgo (físico- R_{Fi} y total- R_{totalk}).

Nivel	Rango de R_{Fi} y R_{totalk}	Color de Representación
Muy Bajo	[0.00 a 0.02]	Azul claro
Bajo	(0.02 a 0.18]	Verde
Medio	(0.18 a 0.50]	Amarillo
Alto	(0.50 a 0.82]	Naranja
Muy Alto	(0.82 a 1.00]	Rojo

En la Tabla 3-16 de doble entrada (el riesgo sísmico físico -en filas-, y el coeficiente de agravamiento -en columnas-) se muestra el diferente aumento de los niveles del riesgo total sísmico debido a los diferentes niveles del coeficiente de agravamiento (F) como del riesgo físico sísmico (R_{F_i}). La tendencia es que, independientemente del rango de agravamiento que se considere, el nivel de riesgo total sísmico para una zona de estudio k (R_{total_k}) presenta un nivel de riesgo igual o mayor que el nivel que presente el riesgo sísmico físico (R_{F_i}). Se presenta

mayor sensibilidad en el nivel del riesgo total sísmico (RT) en función del nivel de coeficiente de agravamiento cuando el nivel de riesgo sísmico físico es medio, de allí que el nivel medio del riesgo físico sísmico se divide en tres subniveles uniformes, denominados: nivel *medio-bajo*; nivel *medio-medio* y nivel *medio-alto*.

Tabla 3-16: Niveles de riesgo total correspondiente a los niveles de RF y F.

NIVEL MUY BAJO DE F					NIVEL BAJO DE F					NIVEL MEDIO DE F					NIVEL ALTO DE F					NIVEL MUY ALTO DE F																				
0.000	0.025	0.050	0.075	0.100	0.125	0.150	0.175	0.200	0.225	0.250	0.275	0.300	0.325	0.350	0.375	0.400	0.425	0.450	0.475	0.500	0.525	0.550	0.575	0.600	0.625	0.650	0.675	0.700	0.725	0.750	0.775	0.800	0.825	0.850	0.875	0.900	0.925	0.950	0.975	1.000

NIVEL DE RIESGO TOTAL SÍSMICO (R_{total})
(MB: Muy Bajo; B: Bajo; M: Medio; A: Alto; MA: Muy Alto)

Nivel de RF	Coeficiente de Agravamiento	Nivel de F																																																			
		Muy Bajo					Bajo					Medio					Alto					Muy Alto																															
Nivel Muy Bajo de RF	0.0000	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB											
	0.0050	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB								
	0.0100	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB						
	0.0150	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB				
	0.0200	MB	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B				
Nivel Bajo de RF	0.0600	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B				
	0.1000	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M						
	0.1400	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M				
	0.1800	B	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M			
	0.2000	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M		
Medio-bajo	0.2067	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M			
	0.2333	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M		
	0.2600	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M		
	0.2867	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
	0.3133	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
Medio-medio	0.3400	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
	0.3667	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
	0.3933	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
	0.4200	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
	0.4467	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Medio-alto	0.4733	M	M	M	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		
	0.5000	M	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	0.5267	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Nivel Alto de RF	0.5800	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	0.6600	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	0.7400	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	0.8200	A	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	
Nivel muy alto de RF	0.8550	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	
	0.9100	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	
	0.9550	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA
	1.0000	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA

En el primer sub nivel (medio-bajo), el nivel de riesgo total sísmico presenta igual nivel que el nivel del riesgo físico sísmico cuando los valores del coeficiente de agravamiento corresponden a los cuatro primeros niveles de éste; mientras que cuando los valores del coeficiente de agravamiento corresponden al nivel *muy alto*, el nivel de R_{total_k} aumenta un nivel respecto al nivel de R_{F_i} .

En el segundo sub nivel (medio-medio) el nivel de riesgo total sísmico presenta igual nivel que el riesgo sísmico físico cuando el coeficiente de agravamiento presenta valores numéricos contenidos en los niveles *muy bajo* y *bajo*. El nivel de R_{total_k} puede o no aumentar en un nivel respecto al nivel de R_{F_i} cuando los valores del coeficiente de agravamiento están contenidos en el nivel *medio*. Mientras que, el nivel de R_{total_k} aumenta en un nivel respecto al nivel de R_{F_i} cuando los valores del coeficiente de agravamiento están contenidos en los niveles *alto* y *muy alto*.

En el tercer sub nivel (medio-alto) el nivel de riesgo total sísmico presenta mayor nivel que el nivel del R_{F_i} cuando los valores del coeficiente de agravamiento están contenidos desde el nivel *bajo* hasta el nivel *muy alto*, es decir, desde valores del factor F 0.1 hasta 1.0. De este modo, el nivel de R_{total_k} puede aumentar, en uno o hasta en dos niveles respecto al nivel de R_{F_i} según el valor de F .

CAPÍTULO 4

4. EVALUACION LINGÜÍSTICA DEL RIESGO FÍSICO MULTIAMENAZA (MHARLA)

El riesgo físico debido a diferentes amenazas individuales o simultáneas es una información de gran importancia en las sociedades modernas que ayuda a planificar zonas urbanas y mejorar las ya existentes. Sin embargo, estimar el riesgo físico, usando metodologías tradicionales basadas en el análisis numérico es una tarea muy compleja y requiere gran cantidad de información que no siempre está disponible. En tal sentido, en esta tesis se ha desarrollado una metodología versátil que estima simultáneamente los daños físicos producidos por diferentes amenazas naturales y lo sintetiza en un índice de riesgo físico multiamenaza (R_{Fmh}).

En esta investigación, se plantea una metodología alternativa fundamentada en lógica difusa, que se denomina de aquí en adelante *Metodología MHARLA*, por sus siglas en inglés *Multi-Hazard physical Risk Linguistic Assessment*, que permite evaluar el riesgo físico multiamenaza con un esfuerzo de cálculo menor. Esta metodología se apoya en la opinión de expertos que gozan de una larga experiencia en relación con el riesgo en zonas urbanas bajo la acción de una amenaza particular. En esta investigación se propone el empleo de un sistema de inferencia difusa de tipo Mamdani para hacer la evaluación del R_{Fmh} con base en calificaciones lingüísticas obtenidas de la opinión de expertos.

La metodología MHARLA busca hacer una evaluación rápida útil en casos en los que la información disponible en una zona urbana es insuficiente para una evaluación numérica.

Los modelos lingüísticos de sistemas difusos, son la base para el modelado cualitativo capaz de describir el comportamiento de diferentes aspectos de sistemas usando un lenguaje natural. Asimismo, éstos se apoyan en reglas del tipo *Si-Entonces*, en mecanismos de razonamiento difuso, y las variables tienen etiquetas lingüísticas (Yager y Filev, 1994).

De acuerdo con la metodología MHARLA, en primer lugar, se deben identificar y seleccionar las amenazas que pueden afectar la zona en estudio. Luego, con la asesoría de expertos en evaluación del riesgo físico debido a cada amenaza natural seleccionada, se obtiene información de los niveles de riesgo físico y de incertidumbre en la ponderación de dichos niveles. Esta información de entrada se procesa mediante el uso de herramientas de la lógica difusa, entre otras: mecanismos de razonamiento o de inferencia difusa que se basan en reglas del tipo *Si-Entonces*. Una vez procesada la información de entrada, se obtiene como salida final un conjunto difuso para el riesgo físico multiamenaza, el cual se debe someter a procedimientos de defusificación para lograr también una salida, cuantitativa, con valor numérico de dicho riesgo.

A continuación se detallan fundamentos y aspectos esenciales de la metodología MHARLA propuesta tales como: el criterio de evaluación lingüístico del riesgo físico (apartado 4.1); variables de entrada (apartado 4.2); adecuaciones correspondientes al mecanismo de razonamiento o inferencia tipo Mamdani (ver apartados 4.3); descripción de reglas del tipo *Si-Entonces* que se han de emplear (apartado 4.3.1). Por otra parte, para expresar el riesgo físico multiamenaza mediante un valor numérico, a partir de los conjuntos difusos resultantes, se han de emplear métodos de defusificación. Finalmente, en el apartado 4.4 se resume el procedimiento a seguir en la metodología propuesta, el cual se ilustra mediante un ejemplo en el apartado 4.5.

4.1 CRITERIO DE EVALUACIÓN LINGÜÍSTICO DEL RIESGO FÍSICO

En la metodología propuesta, MHARLA, se considera, al igual que otros autores: Cardona (2001), Carreño (2006) y Carreño et al. (2007a), que el riesgo físico ($R_{F_{H_i}}$) para los casos en los que se considera una sola amenaza natural (H_i) cualquiera, es estimado como la suma ponderada de n diferentes factores mensurables de riesgo físico ($F_{RF_{j_i}}$), y éstos a su vez, dependen de descriptores asociados a los daños físicos (D_{j_i}) que se generan por la amenaza natural H_i en la zona urbana a estudiar. En forma general, dichos descriptores (D_{j_i}) se

transforman a factores mensurables de riesgo físico (F_{RFji}), mediante funciones de transformación del tipo señalado en la Figura 4-1, donde: “ a_{1j} ” y “ a_{2j} ” son los valores numéricos mínimo y máximo, respectivamente del dominio de cada descriptor (D_{ji}) y l_j es la diferencia entre ambos valores ($l_j = a_{2j} - a_{1j}$). Los factores de riesgo físico toman valores entre cero y uno, mientras que las ponderaciones asociadas a los mismos (w_j) se obtienen mediante un proceso analítico jerárquico (PAJ) y su sumatoria resulta en la unidad ($\sum w_j = 1$). En tal sentido, el riesgo físico, debido a cualquier amenaza natural H_i , deriva en un valor numérico entre cero y uno ($R_{FH_i} = \sum_{j=1}^n w_j \cdot F_{RFji} \leq 1$).

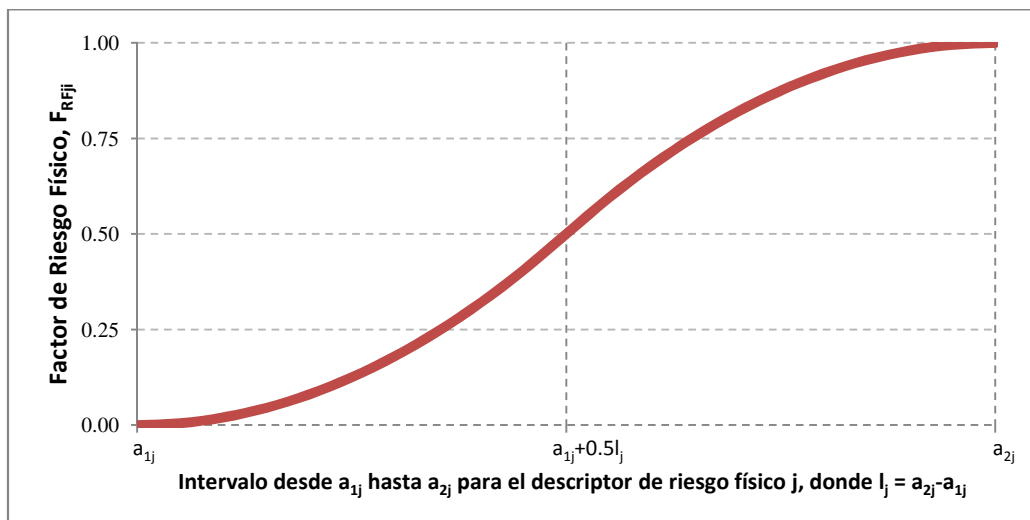


Figura 4-1. Función de transformación del descriptor de riesgo físico (D_{ji}) a factor mensurable de riesgo físico (FRF_{ji}).

Así que, dependiendo de la información disponible en la zona urbana a estudiar, el riesgo físico debido a una determinada amenaza natural (R_{FH_i}), se puede estimar mediante una evaluación numérica, aplicando una metodología similar a la explicada en el capítulo 3, o mediante una evaluación lingüística basada en la opinión de expertos locales en las diferentes amenazas H_i .

En la evaluación lingüística del R_{FH_i} , antes de interpelar a los expertos locales se les debe documentar sobre lo que el estudio en particular ha considerado como riesgo físico de modo que sus respuestas tengan mayor grado de pertenencia en el nivel que éstos seleccionen. Por ello, se ha creado tanto un instrumento para interpelar a cada experto como una herramienta informática para procesar la información recogida en el instrumento, para, así, obtener el riesgo físico debido a cada una de las amenazas naturales a considerar (R_{FH_i}).

Los expertos en una determinada amenaza natural, suministrarán las calificaciones lingüísticas correspondientes a las tres afectaciones que debe dar cuenta el riesgo físico, R_{FH_i} , (*daño predominante*, que varía con la amenaza, *afectación en la población*, y *afectación en las líneas vitales*) basándose en las cinco etiquetas lingüísticas dadas en la Tabla 4-1. Posteriormente, dicha información suministrada se procesa, utilizando la teoría de conjuntos difusos, para estimar el posible nivel de R_{FH_i} y, mediante un proceso de defusificación, el valor numérico del riesgo físico debido a la amenaza natural H_i , el cual debe tener un nivel de pertenencia mayor o igual a 0.50 (ver Anejo B).

En esta investigación se emplee la incertidumbre mediante el nivel de pertenencia (α), valor entre 0 y 1, siendo:

1: Uno certeza absoluta o incertidumbre nula de pertenecer a la variable lingüística seleccionada, mientras que:

0: Cero indica certeza nula o incertidumbre absoluta de pertenecer a la variable lingüística seleccionada.

El nivel de pertenencia (α) tiene analogía con el α -corte de un conjunto difuso (Kaufmann y Gil-Aluja, 1987; Klir y Yuan, 1995).

Tabla 4-1: Rango de valores numéricos por los descriptores compactos de riesgo físico para una escala lingüística de cinco niveles

Rango de valores numéricos por descriptores compactos de riesgo físico para una escala lingüística de cinco niveles (Ni, con i=1 hasta 5)					
Descriptor compacto de riesgo físico	Nivel N ₁ : Muy bajo	Nivel N ₂ : Bajo	Nivel N ₃ : Medio	Nivel N ₄ : Alto	Nivel N ₅ : Muy Alto
<i>Daño predominante</i>	Se destruye menos del 2% del área construida.	Se destruye de 2% a 6% del área construida.	Se destruye de 6% a 10% del área construida.	Se destruye de 10% a 14% del área construida.	Se destruye más del 14% del área construida
<i>Afectación en la población</i>	Se afecta menos del 4% de la población en la zona urbana. Es decir se contempla que las víctimas por cada mil habitantes son y se clasifican en: De 0 a 7.0 personas heridas, De 0 a 30 personas que se quedan sin hogar; y de 0 a 5 personas fallecidas.	Se afecta del 4% al 13% de la población en la zona urbana. Es decir se contempla que las víctimas por cada mil habitantes son y se clasifican en: De 7.0 a 23 personas heridas, De 30 a 90 personas que se quedan sin hogar, De 5 a 15 personas fallecidas.	Se afecta del 13% al 21% de la población en la zona urbana. Es decir se contempla que las víctimas por cada mil habitantes son y se clasifican en: De 23 a 38 personas heridas, De 90 a 150 personas que se quedan sin hogar, De 15 a 25 personas fallecidas.	Se afecta del 21% al 30% de la población en la zona urbana. Es decir se contempla que las víctimas por cada mil habitantes son y se clasifican en: De 38 a 53 personas heridas, De 150 a 210 personas que se quedan sin hogar, De 25 a 35 personas fallecidas.	Se afecta más del 30% de la población en la zona urbana. Es decir se contempla que las víctimas por cada mil habitantes son y se clasifican en: más de 53 personas heridas, más de 210 personas que se quedan sin hogar, más de 35 personas fallecidas.
<i>Afectación en las líneas vitales</i>	Se afecta menos del 5% de la infraestructura de las líneas vitales, es decir los daños son mínimos y localizados en algunos elementos que normalmente no necesitan reparación para mantener su operatividad. Por ejemplo en los sistemas de agua potable el daño es de 0 a 1 rotura por km.	Se afecta del 5% al 15% de la infraestructura de las líneas vitales, es decir los daños son significativos localizados en bastantes elementos y que deben ser reparados. Por ejemplo en los sistemas de agua potable el daño es de 1 a 3 roturas por km.	Se afecta del 15% al 30% de la infraestructura de las líneas vitales, es decir los daños son generales, es necesario efectuar reparaciones importantes. Por ejemplo en los sistemas de agua potable el daño es de 3 a 5 roturas por km.	Se afecta del 30% al 50% de la infraestructura de las líneas vitales, es decir los daños son graves que pueden interrumpir la operatividad o la función de los elementos. Se ha de reparar, sustituir o derribar. Por ejemplo en los sistemas de agua potable el daño es de 5 a 7 roturas por km.	Se afecta más del 50% de la infraestructura de las líneas vitales, es decir los daños son muy graves y se presenta destrucción de los elementos e inutilidad total de las líneas vitales. Por ejemplo en los sistemas de agua potable el daño es más de 7 roturas por km.

Una vez definido y comprendido el origen del rango de valores numéricos del riesgo físico debido a una amenaza natural dada, y las maneras de estimarlo, se establecen cinco niveles de riesgo físico: N_1 , Muy bajo; N_2 , Bajo; N_3 , Medio; N_4 , Alto y N_5 , Muy alto. Para una representación más uniforme, se expresa en *porcentaje de riesgo físico* el dominio de las variables lingüísticas de los niveles de riesgo físico (Ver Figura 4-2).

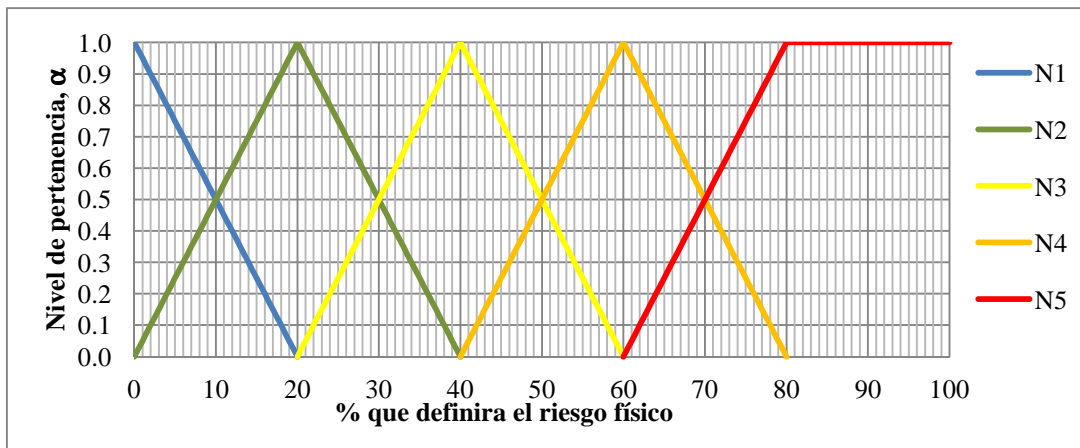
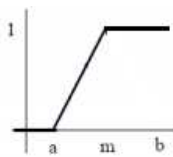


Figura 4-2. Variables lingüísticas para definir cinco niveles de riesgo físico, N_j , $j=1$ hasta 5: N_1 , Nivel Muy Bajo (azul); N_2 , Nivel Bajo (verde); N_3 , Nivel Medio (amarillo); N_4 , Nivel Alto (naranja); N_5 , Nivel Muy Alto (rojo).

La Figura 4-2 describe gráficamente el criterio de evaluación lingüística de cada nivel de riesgo físico ($N_j, j=1, \dots, 5$) propuesto. Donde cada N_j se describe mediante un conjunto difuso con función de membresía o pertenencia $\mu_{NRF_j}(x)$. Para los niveles del uno al cuatro ($N_j, j=1, \dots, 4$) se emplean conjuntos difusos de forma triangular con función de pertenencia (ver ecuación 4-1); mientras que para el nivel N_5 se define con la función de membresía descrita por la ecuación 4-2, un conjunto difuso trapezoidal.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{para } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a}, & \text{para } a < x \leq m \\ \frac{b-x}{b-m}, & \text{para } m < x \leq b \\ 0, & \text{para } x > b \end{cases} \quad \begin{array}{c} \text{1} \\ \text{a} \quad \text{m} \quad \text{b} \end{array} \quad \mathbf{4-1}$$

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{para } x \leq a \\ \frac{x - a}{m - a}, & \text{para } a < x \leq m \\ 1, & \text{para } x > m \end{cases}$$



4-2

El porcentaje de riesgo físico, de la Figura 4-2, se refiere a que para definir los diferentes límites de riesgo físico debido a la amenaza H_i , en todos y cada uno de los descriptores de daño físico que lo definen, se ha considerado una fracción del dominio de cada descriptor similar a dicho porcentaje. Por ejemplo, el valor de riesgo físico igual a 0.02 se obtiene de considerar, en cada descriptor de daño (D_{ji}), que el valor del factor contribuyente se obtuvo de transformar cada valor de D_{ji} correspondiente al 10% del dominio que lo define ($a_{1j} + 0.1l_j$) (ver Figura 4-1). O el valor de riesgo físico igual a 0.18 se obtiene de considerar en cada descriptor de daño el valor correspondiente al 30% del dominio que lo define ($a_{1j} + 0.3l_j$).

Se establece correspondencia con el dominio de las variables lingüísticas a emplear en la metodología MHARLA y el valor numérico del riesgo físico, mediante la función de transformación exhibida en la Figura 4-3, la cual permite convertir los porcentajes de riesgo físico ($\%R_F$) a valores numéricos de riesgo físico (R_{FHi}) o viceversa.

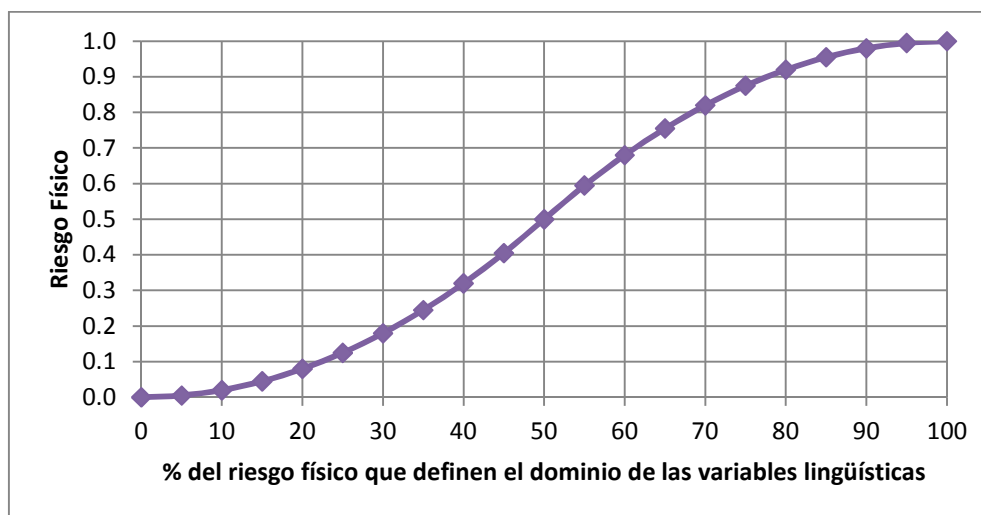


Figura 4-3. Función de transformación del % de R_F del dominio de las variables lingüísticas a un valor numérico de riesgo físico.

4.2 VARIABLES DE ENTRADA

Las variables de entrada requeridas en la metodología propuesta son:

m : Número total de amenazas a considerar en la zona urbana a estudiar, limitado a un máximo de tres.

$N_{RF_{H_i}}$: Nivel de riesgo físico correspondiente a la amenaza natural H_i . Dicho nivel tomará un valor lingüístico perteneciente a uno de los cinco niveles propuestos en el criterio de evaluación dado en la Figura 4-2.

α_i : Nivel de pertenencia que tomará un valor comprendido en el intervalo $[0,1]$.

Así, $E_i = (N_{RF_{H_i}}; \alpha_i)$ representa la entrada (*input*) para la valoración individual correspondiente a la amenaza natural H_i . Además, se asume los valores de nivel de pertenencia son iguales o mayores a 0.5 para un nivel de riesgo físico dado.

En el caso de que en la zona urbana a estudiar se cuente con suficiente información numérica para estimar los daños físicos individuales que generaría cada amenaza natural (H_i), las variables de entrada E_i requeridas en la metodología propuesta MHARLA se obtienen como se explica a continuación:

- Se transforman los valores individuales numéricos de riesgo físico ($R_{F_{H_i}}$)-previamente obtenido- a variables lingüísticas ($N_{RF_{H_i}}$). Empleando en primer lugar la función de transformación dada en la Figura 4-3 para pasar los diversos $R_{F_{H_i}}$ a porcentajes de riesgo físico ($\%R_F$). Luego, mediante el criterio de evaluación dado en la Figura 4-2, se selecciona para cada amenaza natural (H_i) el nivel de riesgo físico ($N_{RF_{H_i}}$) con mayor nivel de pertenencia ($\alpha_i \geq 0.50$), es decir, entrando en el dominio de % de riesgo físico con cada porcentaje de riesgo físico, obtenido en el paso anterior, se cortará la variable lingüística que presente un $\alpha_i \geq 0.50$, y así se selecciona el $N_{RF_{H_i}}$ de cada amenaza natural.

En el caso de que en la zona urbana a estudiar no se tenga el valor numérico que describe el riesgo físico debido a cada una de las amenazas naturales a considerar (RF_{H_i}), se establecen las variables de entrada $E_i = (N_{RF_{H_i}}; \alpha_i)$ mediante una evaluación lingüística basada en la opinión de expertos locales en las diferentes amenazas H_i , utilizando el instrumento desarrollado para interpelar a cada experto y la herramienta informática para procesar la información recogida en el instrumento (Ver Anejo B). Se requiere la opinión de al menos un experto para cada tipo de amenaza natural (H_i). En caso de que se cuente con las opiniones de varios expertos por amenaza, se hace una ponderación de sus evaluaciones.

4.3 ADECUACIONES CORRESPONDIENTES AL MECANISMO DE INFERENCIA TIPO

MAMDANI.

En la metodología MHARLA se ha adecuado el mecanismo de razonamiento o inferencia tipo Mamdani del modelo MISO. En la Figura 4-4 se indica el flujo grama de la metodología propuesta para estimar el riesgo físico multiamenaza (R_{FmH}) en cualquier zona urbana.

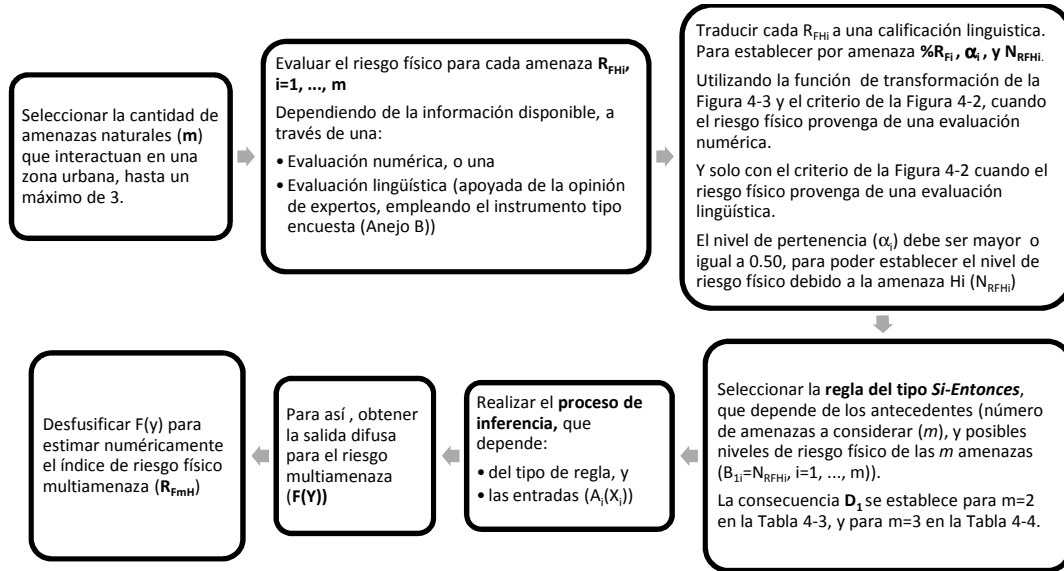


Figura 4-4. Flujo grama de la metodología MHARLA.

En el proceso de inferencia (Figura 4-5) es indispensable establecer reglas del tipo Si-entonces, las cuales depende de la naturaleza del problema a resolver, y para MHARLA se describen en el apartado 4.3.1. En dicho proceso se debe estimar el *grado de disparo* τ_1 de cada regla (Ver ecuación 4-3), que en este caso también se puede obtener como el máximo grado o nivel de pertenencia, α_i , con que cada experto cree predecir el nivel de riesgo físico (ver ecuaciones 4-3 y 4-4).

$$\begin{array}{l}
 U_1 = A_1 \rightarrow \\
 \vdots \\
 U_m = A_m \rightarrow
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \boxed{\text{Si } ((U_{11} = B_{11}) \text{ y } \dots \text{ y } (U_{1m} = B_{1m})) \text{ Entonces } (V = D_1)} \\
 \boxed{\tau_1 = (V_{x_1}[B_{11}(X_1) \wedge A_1(X_1)]) \wedge \dots \wedge (V_{x_m}[B_{11}(X_m) \wedge A_m(X_m)])} \rightarrow \boxed{\tau_1 \wedge D_1}
 \end{array}
 \rightarrow F(Y) \rightarrow R_{FmH}^*$$

Figura 4-5. Proceso de inferencia de la metodología MHARLA.

$$\tau_1 = (V_{x_1}[B_{11}(X_1) \wedge A_1(X_1)]) \wedge \dots \wedge (V_{x_m}[B_{11}(X_m) \wedge A_m(X_m)]) = \max(\alpha_1, \dots, \alpha_m) \quad \mathbf{4-3}$$

$$\alpha_i = [B_{1i}(X_i) \wedge A_i(X_i)] \quad \forall i = 1, \dots, m \quad 4-4$$

Las entradas del proceso de inferencia de la metodología MHARLA (A_i) (Figura 4-5) dependen de la cantidad de amenazas a considerar (m) y del % de riesgo físico que presenta cada amenaza considerada ($\%R_{FHi}$) (Ver ecuación 4-4).

$$A_i(X_i) = \begin{cases} 0 & \text{si } X_i \neq X_i^* = \%R_{FHi} \\ 1 & \text{si } X_i = X_i^* = \%R_{FHi} \end{cases} \quad \forall i = 1, \dots, m \quad 4-5$$

D_1 representa la consecuencia de la regla del tipo *Si-Entonces* a emplear (ver apartado 4.3.1), y es la función de membresía o pertenencia $\mu_{D_1}(y)$. Cuando interactúen dos amenazas naturales en una zona urbana dichas función de membresía se establecen mediante la tabla de doble entrada Tabla 4-4. Mientras que, cuando interactúen tres amenazas naturales en una zona urbana dada, D_1 se establecerá mediante la Tabla 4-5. Por otra parte, de la Figura 4-5, $F(Y)$ representa la salida difusa para el nivel de riesgo físico multiamenaza.

Posteriormente, mediante un proceso de defusificación, adaptado por la naturaleza del problema a resolver, se obtiene la salida *crisp* o numérica (R_{FmH}^*). El proceso de defusificación considera como R_{FmH}^* el valor máximo entre los valores numéricos inferidos, del porcentaje de riesgo físico, a través de los métodos de defusificación COA, MOM, LOM (Ver apartado 2.6) y el máximo valor numérico del porcentaje de riesgo físico ($\%R_{FHi}$) que resulta de transformar las entradas de los expertos (R_{FHi}). Finalmente, el índice de riesgo físico multiamenaza (R_{FmH}) se obtiene de transformar R_{FmH}^* a riesgo físico, utilizando la función dada en la Figura 4-3.

4.3.1 REGLAS DEL TIPO SI-ENTONCES

Las Reglas son estructuras lógicas de decisión que permiten, entre otras cosas, transformar unos “valores” de entrada conocidos como antecedentes, en un “valor” de salida el cual se denomina consecuencia. Los valores de entrada son premisas o condiciones que han de cumplirse. En la metodología MHARLA las entradas son: el número total de amenazas a considerar (m) y sus correspondientes niveles de riesgo físico (N_{RFHi}).

Las reglas que se emplean en MHARLA tienen una estructura lógica de múltiples entradas y una única salida. Esto obedece a un modelo tipo MISO (por sus siglas en inglés, *Multiple Input-Simple Output*), ver ecuación 4-6.

$$\text{Sí } \underbrace{((U_1 \text{ es } B_1) \text{ y } (U_2 \text{ es } B_2) \text{ y } \dots (U_m \text{ es } B_m))}_{\text{antecedentes}} \text{ Entonces } \underbrace{(V = D_1)}_{\text{consecuencia}} \quad \mathbf{4-6}$$

Donde:

m es el número de amenazas que afectaran una zona urbana en estudio.

U_i , con $i=1, \dots, m$, son los *antecedentes* que han de cumplirse, y corresponden en esta investigación a los niveles de riesgo físico suministrados para cada amenaza (H_i)

B_i representa la variable lingüística que define el posible nivel de riesgo físico suministrado de la amenaza natural i , con correspondencia a uno de entre los cinco niveles ($N_j, j=1, \dots, 5$) propuestos (ver criterio, Figura 4-2).

V corresponde a la *consecuencia* de la regla, siendo D_1 la salida de la regla, en este caso, D_1 es una variable difusa o un conjunto de éstas que permiten definir el nivel de riesgo físico resultante.

En los apartados 4.3.1.1 y 4.3.1.2 se explica cómo se han establecido las consecuencias de las reglas a emplear y se resumen para cuando se considerarán dos ($m = 2$) y tres ($m = 3$) amenazas naturales en la Tabla 4-4 y en la Tabla 4-5, respectivamente.

4.3.1.1 RELACIONES NUMÉRICAS ENTRE LOS NIVELES QUE DEFINEN EL RIESGO FÍSICO

Se busca obtener una estimación del riesgo físico multiamenaza, partiendo de información de riesgo físico de diferentes amenazas naturales, por lo cual, resulta necesario conocer las reglas de adición que permitan saber en cuanto afecta un nivel de riesgo físico dado a otro. El criterio para tal adición elegido aquí se explica con ayuda de la Figura 4-6 y la manipulación de valores extraídos de ella, como se explica a continuación.

La Figura 4-6 es una modificación de la Figura 4-2 que permite representar los cortes a las cinco variables lingüísticas de los niveles de riesgo físico para una pertenencia de $\alpha = 0.50$. Así:

“a” es el límite superior de porcentaje de riesgo físico que sugiere “alta” pertenencia, o nivel de pertenencia mayor o igual a 0.50, de que se está en el nivel muy bajo (N_1),

“b” es el límite superior con el mismo nivel de pertenencia, $\alpha \geq 0.5$, para el nivel bajo (N_2),

“c” para el nivel medio (N_3),

“d” para el nivel alto (N_4),

“e” para el nivel muy alto (N_5).

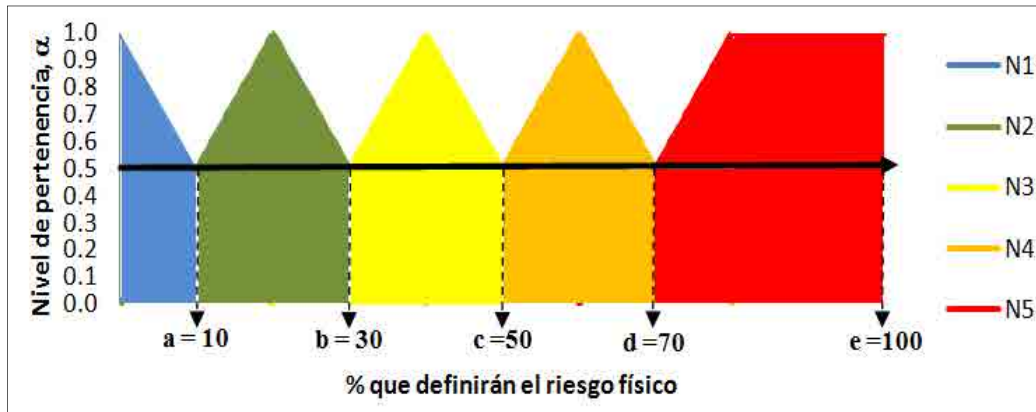


Figura 4-6. Porcentajes de riesgo físico de las variables lingüísticas para el α -corte = 0.50.

Luego, estos valores: “a”, “b”, “c”, “d” y “e”, expresados en porcentajes de riesgo físico se transforman a valores numéricos de riesgo físico correspondientes, mediante la función descrita gráficamente en la Figura 4-3, ver Tabla 4-2.

Tabla 4-2: Valores de riesgo físico correspondientes a transformar porcentajes de riesgo físico con nivel de pertenencia igual a 0.50.

% de riesgo físico	a=10%	b=30%	c=50%	d=70%	e=100%
Valor numérico de riesgo físico	0.02	0.18	0.50	0.82	1.00

Luego, los valores numéricos de riesgo físico correspondientes a cada límite superior de porcentaje de riesgo físico que sugiere “alta” pertenencia, se relacionan, obteniendo el cociente entre los distintos valores de riesgo físico correspondientes a $\alpha = 0.50$, para establecer las relaciones numéricas aproximadas de equivalencia entre los distintos niveles de riesgo físico (Tabla 4-3).

Estos cocientes sugieren de alguna manera las veces que un nivel inferior requiere ser multiplicado para lograr un nivel superior, o, a la inversa, la fracción en que un nivel superior es el nivel inferior. Por ejemplo, el cociente entre el nivel N_2 y nivel N_1 es 9 ($0.18/0.020 = 9$),

lo cual indica que el nivel N_2 es, aproximadamente, equivalente a 9 veces el nivel N_1 . Similar, pero de manera inversa, el cociente entre N_1 y N_2 es 0.11 ($0.020/0.18=0.11$); lo cual indica que el nivel N_1 es aproximadamente equivalente a 0.11 veces el nivel N_2 (Tabla 4-3).

Tabla 4-3: Relaciones numéricas aproximadas de equivalencia entre los niveles que definen el riesgo físico.

	N1	N2	N3	N4	N5
N1	0.02/0.02=1.00	0.11	0.040	0.024	0.020
N2	0.18/0.02=9.00	0.18/0.18=1.00	0.36	0.22	0.18
N3	0.50/0.02=25.00	0.50/0.18=2.78	1.00	0.61	0.50
N4	0.82/0.02=41.00	0.82/0.18=4.56	0.82/0.50=1.64	1.00	0.82
N5	1.00/0.02=50.00	1.00/0.18=5.56	1.00/0.50=2.00	1.00/0.82=1.22	1.00

4.3.1.2 CONSECUENCIAS DE LAS REGLAS DEL TIPO SI-ENTONCES

El criterio que permite establecer las consecuencias de las reglas del tipo Si-Entonces se fundamenta en las relaciones numéricas aproximadas del cociente entre los distintos valores numéricos de riesgo físico correspondientes a $\alpha = 0.50$ (Tabla 4-3).

Dado que se considera que en la naturaleza existen una variedad de umbrales para que un evento de nivel inferior pase a un nivel superior, se establece el siguiente criterio:

- a. Si el cociente entre dos de los valores numéricos de los límites superiores de las entradas de riesgo físico es mayor o igual a 3 ó menor a $1/3$ (celdas en gris de la Tabla 4-3), entonces se toma como *consecuencia* la variable lingüística del nivel superior de riesgo físico.
- b. Si el cociente de la Tabla 4-3 es menor a 3 y mayor a $1/3$ (celdas en blanco), la *consecuencia* se obtiene mediante contribuciones de las distintas variables lingüísticas del nivel de riesgo físico. A continuación se explica dicho procedimiento en cuatro pasos, para el caso en que dos amenazas afecten una zona urbana:
 - ❖ Primero: Se ordenan ascendentemente los niveles de riesgo físico de las amenazas en consideración. Para los casos en que las dos amenazas generen el mismo nivel de riesgo físico se considera para dicha operación cualquiera de ellos sin importar cual.

- ❖ Segundo: En el dominio de porcentajes se transforma el centroide del nivel de riesgo más bajo a valor numérico de riesgo físico, mediante la función de transformación dada en la Figura 4-2
- ❖ Tercero: El valor numérico de riesgo físico correspondiente al centroide del nivel inferior se suma a los extremos del intervalo de riesgo físico del nivel más alto, entre los dos, con grado de pertenencia igual a cero. Los valores así resultantes se convierten a porcentajes de riesgo físico, mediante la función de transformación. Ver Figura 4-3.
- ❖ Cuarto: Con los valores extremos del intervalo derivado en el paso anterior, se entra en la Figura 4-2, criterio para definir el conjunto de valores de riesgo físico en el espacio lingüístico y así establecer la *consecuencia* de la regla a emplear.

Se repite el procedimiento descrito anteriormente para las diferentes combinaciones de dos entradas de niveles de riesgo físico que presenten cociente entre sus límites superiores de riesgo físico menor a 3 (Tabla 4-4).

En esta investigación los *antecedentes* de las reglas del tipo *Si-Entonces* los constituyen el número de amenazas (m) a considerar en la zona urbana a estudiar y sus respectivas valoraciones de nivel de riesgo físico ($N_{RF_{H_i}}, \forall i = 1, \dots, m$). Así que, las *consecuencias* para las reglas *Si-Entonces* para cuando se cumplen los antecedentes en el caso particular de dos amenazas ($m = 2$) con niveles de riesgo físico entre los cinco niveles ($N_j, i=1, \dots, 5$, ver Figura 4-2) posibles para cada amenaza natural ($H_i, \forall i = 1, 2$) se obtienen usando el criterio descrito en el apartado 4.3.1.2 y se resumen en la Tabla 4-4 de doble entrada.

Tabla 4-4: Consecuencias de las reglas del tipo Si-Entonces cuando existen dos tipos de amenazas naturales (H1 y H2) actuando en una zona urbana.

Valoración del nivel de Riesgo Físico para la amenaza H ₁ (NR _{FH1})						
Nivel	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	
Valoración del nivel de Riesgo Físico para la amenaza H ₂ (NR _{FH2})	N ₁	N ₁ N ₁ =Nivel 1 	N ₁ N ₂ =Nivel 2 	N ₁ N ₃ =Nivel 3 	N ₁ N ₄ =Nivel 4 	N ₁ N ₅ =Nivel 5
	N ₂	N ₂ N ₁ =N ₁ N ₂ =Nivel 2 	N ₂ N ₂ Dominio: [20;44,7]	N ₂ N ₃ Dominio: [28,25;65,35]	N ₂ N ₄ =Nivel 4 	N ₂ N ₅ =Nivel 5
	N ₃	N ₃ N ₁ =N ₁ N ₃ =Nivel 3 	N ₃ N ₂ =N ₂ N ₃ Dominio: [28,25;65,35]	N ₃ N ₃ Dominio: [44,7;100]	N ₃ N ₄ Dominio: [57,6;100]	N ₃ N ₅ Dominio: [100;100]
	N ₄	N ₄ N ₁ =N ₁ N ₄ =Nivel 4 	N ₄ N ₂ =N ₂ N ₄ =Nivel 4 	N ₄ N ₃ =N ₃ N ₄ Dominio: [57,6;100]	N ₄ N ₄ Dominio: [100;100]	N ₄ N ₅ Dominio: [100;100]
	N ₅	N ₅ N ₁ =N ₁ N ₅ =Nivel 5 	N ₅ N ₂ =N ₂ N ₅ =Nivel 5 	N ₅ N ₃ =N ₃ N ₅ Dominio: [100;100]	N ₅ N ₄ =N ₄ N ₅ Dominio: [100;100]	N ₅ N ₅ Dominio: [100;100]

N₁: Nivel muy bajo; N₂: Nivel bajo; N₃: Nivel medio; N₄: Nivel alto; N₅: Nivel muy alto

Por otra parte, cuando una zona urbana se ve afectada por “m” amenazas naturales y cada una de éstas puede presentar un nivel de riesgo físico (N_{RFH_i} , $i=1, \dots, m$) entre los cinco niveles de riesgo físico establecidos (N_j , $j=1, \dots, 5$), sin importar el orden del nivel N_{RFH_i} y que se pueden repetir los niveles de riesgo físico, las posibles combinaciones distintas de los “m” niveles de riesgo físico a considerar, se obtienen mediante la expresión de combinación con repetición, dada en la ecuación 4-7.

$$\text{Combinación con repetición: } C_r^n = \binom{n+r-1}{n} = \frac{(n+r-1)!}{r!(n-1)!} \quad 4-7$$

Donde:

n es el número de elementos o factores que se pueden elegir, en este caso $n = 5$ ya que el nivel de riesgo físico puede ser uno de los cinco niveles definidos en la Figura 4-2.

r es el número de elementos a elegir entre los n elementos posibles, así que $r \leq n$. Aquí se establece que r está asociado a la cantidad de niveles de riesgo físico que generan las m amenazas naturales a considerar en una zona urbana, así que se considera que el número de elementos a elegir entre los 5 niveles de riesgos es la cantidad de amenazas naturales consideradas, ya que cada amenaza natural puede generar un nivel de riesgo físico entre los cinco niveles propuestos, es decir, se toma $r=m$.

En caso de que una zona urbana se vea afectada por dos amenazas naturales ($m = 2$) las posibles combinaciones distintas de los dos niveles de riesgo físico a considerar son $C_2^5 = 15$, valor que se obtiene al particularizar la ecuación 4-7, como se indica en la ecuación 4-8.

$$C_{r=2}^{n=5} = \binom{5+2-1}{5} = \frac{(5+2-1)!}{2!(5-1)!} = \frac{6!}{2!4!} = \frac{6 \cdot 5 \cdot 4!}{2!4!} = 15 \quad 4-8$$

Este número de combinaciones distintas se constata al observar que de las 25 ($5*5$) consecuencias mostradas en la Tabla 4-4 son sólo 15 distintas, para cuando una zona urbana se vea afectada por dos amenazas naturales que pueden presentar un nivel de riesgo físico entre los cinco niveles posibles ($N_j, j=1, \dots, 5$).

Mientras que, en el caso de que una zona urbana se vea afectada por tres amenazas naturales las posibles combinaciones distintas de los tres niveles de riesgo físico a considerar son $C_3^5 = 35$. Ver ecuación 4-9.

$$C_{r=3}^{n=5} = \binom{5+3-1}{5} = \frac{(5+3-1)!}{3!(5-1)!} = \frac{7!}{3!4!} = \frac{7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4!}{3!4!} = 35 \quad 4-9$$

Así, el número de combinaciones totales y posibles de tres niveles de riesgo físico son $5*5*5=125$. Sin embargo, sin importar el orden y que se pueden repetir niveles de riesgo, sólo existen 35 combinaciones distintas.

En la Tabla 4-5, a través de figuras, se muestran las 35 consecuencias diferentes de las reglas del tipo *Si-Entonces* si los antecedentes satisfechos son: $m = 3$ amenazas naturales que afectarán una zona urbana y que cada una de éstas generaría un nivel de riesgo físico entre los cinco niveles definidos en las variables lingüísticas, $N_j, j=1, \dots, 5$ (Figura 4-2). Dichas consecuencias se obtienen de manera similar a cuando se considera que dos amenazas afectan una zona urbana.

Las 35 consecuencias se ordenaron de tal forma que en la Tabla 4-5 de doble entrada, se requiere conocer por un lado el nivel de riesgo físico que generaría una amenaza natural H_1 y por el otro lado se requieren los niveles de riesgo físico de las otras dos amenazas naturales, H_2 y H_3 .

Por ejemplo, si se desea conocer la consecuencia de la reglas tipo *Si-Entonces* cuando una zona urbana se ve afectada por tres amenazas naturales y éstas generan niveles de riesgo físico N_2, N_3 y N_4 . En este caso, se puede derivar la consecuencia mostrada en la Figura 4-7, accediendo, de tres maneras distintas, en la Tabla 4-5 de doble entrada: la primera, considerando que el nivel de riesgo de la amenaza H_1 es N_4 (columna N_4) y que los niveles de riesgo físico para las amenazas H_2 y H_3 son los niveles N_2 y N_3 (fila N_2N_3), respectivamente; la segunda manera, considerando que el nivel de riesgo de la amenaza H_1 es N_3 (columna N_3) y que los niveles de riesgo físico para las amenazas H_2 y H_3 son los niveles N_2 y N_4 (fila N_2N_4), respectivamente; la tercera manera, considerando que el nivel de riesgo de la amenaza H_1 es N_2 (columna N_2) y que los niveles de riesgo físico para las amenazas H_2 y H_3 son los niveles N_3 y N_4 (fila N_3N_4).

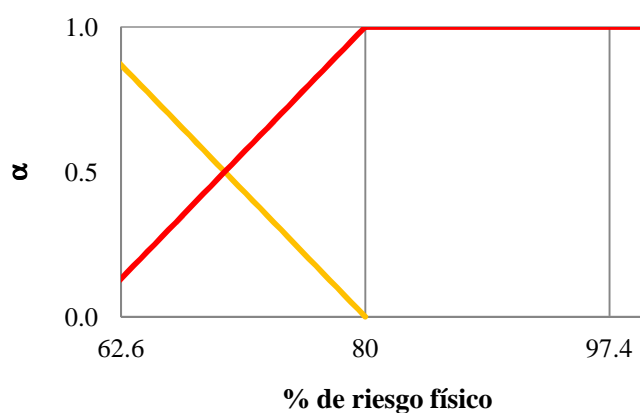


Figura 4-7. Consecuencia de la regla Si-Entonces para los antecedentes satisfechos: $m= 3$ amenazas naturales que afectarán una zona urbana y presentan nivel de riesgo físico N_2, N_3 y N_4 .

Tabla 4-5: Consecuencias de las reglas del tipo SI-ENTONCES cuando existen 3 tipos de amenazas (H_1 , H_2 y H_3) actuando en una zona urbana.

		Valoración del nivel de Riesgo Físico para la amenaza H_1 (NR_{FH1})				
		N_1 : Nivel muy bajo	N_2 : Nivel bajo	N_3 : Nivel medio	N_4 : Nivel alto	N_5 : Nivel muy alto
Valoración del nivel de Riesgo Físico para las amenazas H_2 y H_3 (NR_{FH2} , NR_{FH3})	N_1N_1					
	N_2N_2					
	N_3N_3					
	N_4N_4					
	N_5N_5					

Tabla 4-5(Continuación): Consecuencias de las reglas del tipo Si-Entonces cuando existen 3 tipos de amenazas (H1, H2 y H3) actuando en una zona urbana.

		Valoración del nivel de Riesgo Físico para la amenaza H ₁ (NR _{FH1})				
		N ₁ : Nivel muy bajo	N ₂ : Nivel bajo	N ₃ : Nivel medio	N ₄ : Nivel alto	N ₅ : Nivel muy alto
Valoración del nivel de Riesgo Físico para las amenazas H ₂ y H ₃ (NR _{FH2} ; NR _{FH3})	N ₂ N ₃	<p>Dominio: [28.25;65.35]</p>	Igual a N ₂ N ₂ N ₃	Igual a N ₂ N ₃ N ₃	<p>Dominio: [28.25;65.35]</p>	<p>Dominio: [100;100]</p>
	N ₂ N ₄		Igual a N ₂ N ₂ N ₄	Igual a N ₂ N ₃ N ₄	Igual a N ₂ N ₄ N ₄	<p>Dominio: [100;100]</p>
	N ₂ N ₅		Igual a N ₂ N ₂ N ₅	Igual a N ₂ N ₃ N ₅	Igual a N ₂ N ₄ N ₅	Igual a N ₂ N ₅ N ₅
	N ₃ N ₄	<p>Dominio: [57.6;100]</p>	Igual a N ₂ N ₃ N ₄	Igual a N ₃ N ₃ N ₄	Igual a N ₃ N ₄ N ₄	<p>Dominio: [100;100]</p>
	N ₃ N ₅	<p>Dominio: [100;100]</p>	Igual a N ₂ N ₃ N ₅	Igual a N ₃ N ₃ N ₅	Igual a N ₃ N ₄ N ₅	Igual a N ₃ N ₅ N ₅
	N ₄ N ₅	<p>Dominio: [100;100]</p>	Igual a N ₂ N ₄ N ₅	Igual a N ₃ N ₄ N ₅	Igual a N ₄ N ₄ N ₅	Igual a N ₄ N ₅ N ₅

4.4 RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO DE LA METODOLOGÍA MHARLA

La metodología MHARLA para evaluar el riesgo físico en una zona urbana, debido a una serie de posibles amenazas naturales se resume a través del siguiente procedimiento:

- 1) Se define la zona urbana sobre la que se va a evaluar el riesgo físico
- 2) Se identifican las posibles amenazas naturales que pueden afectar dicha zona, H_i con $i = 1, \dots, m \leq 3$.
- 3) Se contactan y entrevistan expertos locales para evaluar riesgo físico para cada una de las amenazas consideradas. Con el propósito de obtener el nivel de riesgo y el nivel de pertenencia de dicho nivel de riesgo que considere el experto. En caso de contar con varias y diferentes opiniones por amenaza, se ponderan éstas para tener un solo nivel de riesgo físico (NR_{F_i}) promedio y un nivel de pertenencia (α_i) promedio por amenaza; dichos valores representan las variables de entrada de la metodología: $Ei = (NR_{F_i}; \alpha_i)$ con $i = 1, 2, \dots, m$. En caso de contar con evaluaciones particulares y numéricas para el riesgo físico de cada amenaza H_i , se debe transformar dichos riesgos físicos a variables lingüísticas, con ayuda de la función de transformación de la Figura 4-3 y el criterio de evaluación dado en la Figura 4-2.
- 4) Se selecciona la regla Si-Entonces, en función de los antecedentes, para obtener el conjunto difuso D_1 , el cual corresponde con la función de membresía de la parte-consecuencia de la regla que corresponda (ver Tabla 4-4 para $m=2$, y la Tabla 4-5 para $m=3$).
- 5) Luego, mediante el razonamiento de inferencia, aplicable a modelos lingüísticos, del tipo Mamdani, se establece tanto el grado de disparo τ_1 , mediante la ecuación 4-3, como la salida difusa del riesgo físico multiamenaza ($F(Y) = \tau_1 \wedge D_1$).
- 6) Finalmente se obtiene el valor numérico del riesgo físico multiamenaza (R_{FmH}) mediante un proceso de defusificación, que contempla dos etapas. La primera, calcular el valor defusificado del % correspondiente al riesgo físico multiamenaza, R_{Fmh}^* , el cual es el valor máximo entre $Y_{\%}^{MAX_Entrada_i}$, $Y_{\%}^{COA}$, $Y_{\%}^{MOM}$ y $Y_{\%}^{LOM}$. La segunda etapa, corresponde a la transformación de dicho porcentaje, R_{Fmh}^* , a un valor numérico de riesgo físico mediante la función de transformación dada en la Figura 4-2.

Donde:

$Y_{\%}^{MAX_Entrada_i}$: Porcentaje de riesgo físico correspondiente a la intersección de la variable lingüística con mayor nivel riesgo físico, de entre los niveles de entrada, y su respectivo grado de pertenencia;

$Y_{\%}^{COA}$: Porcentaje de riesgo físico obtenido por el método de defusificación
Centroide del área del conjunto difuso de salida total $F(y)$;

$Y_{\%}^{MOM}$: Porcentaje de riesgo físico obtenido por el método de defusificación
media de máximo (MOM, *middle of maximum*), en el cual es la salida numérica
correspondiente al valor medio de los valores cuyas funciones de membresía
alcanzan el valor máximo; y

$Y_{\%}^{LOM}$: Porcentaje de riesgo físico obtenido por el método de defusificación del
máximo más grande (LOM, *largest of maximum*), en el cual la salida numérica es
el máximo valor de todos aquellos que generan el valor más alto de la función de
membresía.

- 7) Otra forma de expresar el resultado de la metodología MHARLA es dar el resultado de riesgo físico multiamenaza con una etiqueta lingüística, la cual se obtiene de entrar en el dominio de porcentajes de riesgo físico con R_{Fmh}^* y seleccionar la variable lingüística que presente un $\alpha \geq 0.50$.

4.5 EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA MHARLA.

A continuación se presenta un ejemplo de aplicación de la metodología propuesta:

Paso 1:

Se considera una determinada zona urbana k .

Paso 2:

La zona urbana a estudiar (k), se verá afectada por dos ($m=2$) amenazas naturales diferentes: H_1 y H_2 .

Paso 3:

Se asume que una vez contactado y entrevistado expertos locales en las dos amenazas seleccionadas (H_1 y H_2), para cada una de éstas se establecen las variables de entrada $E_i = (NR_{F_i}; \alpha_i)$. Para el ejemplo, se consideran las siguientes variables lingüísticas y nivel de pertenencia por amenaza: *nivel bajo* (N_2) y $\alpha_1 = 0.60$ para la amenaza H_1 ; *nivel medio* (N_3) y $\alpha_2 = 0.80$ para la amenaza H_2 .

En la Figura 4-8 se muestra el *input* para las valoraciones correspondiente a cada amenaza natural (H_1 y H_2), y éstas son: $E_1=(N_{RF_{H_1}}=N_2;\alpha_1=0.60)$; $E_2=(N_{RF_2}=N_3;\alpha_2=0.80)$. También, en dicha figura, en color rojo, se presentan los valores numéricos de riesgo físico correspondientes al intervalo de confianza de $\alpha=0$ de cada nivel de riesgo físico (valores externos) y al centroide del nivel (valor intermedio), los cuales se obtienen al transformar los diferentes porcentajes de riesgo físico a valores numéricos de riesgo con la función de transformación dada en la Figura 4-3.

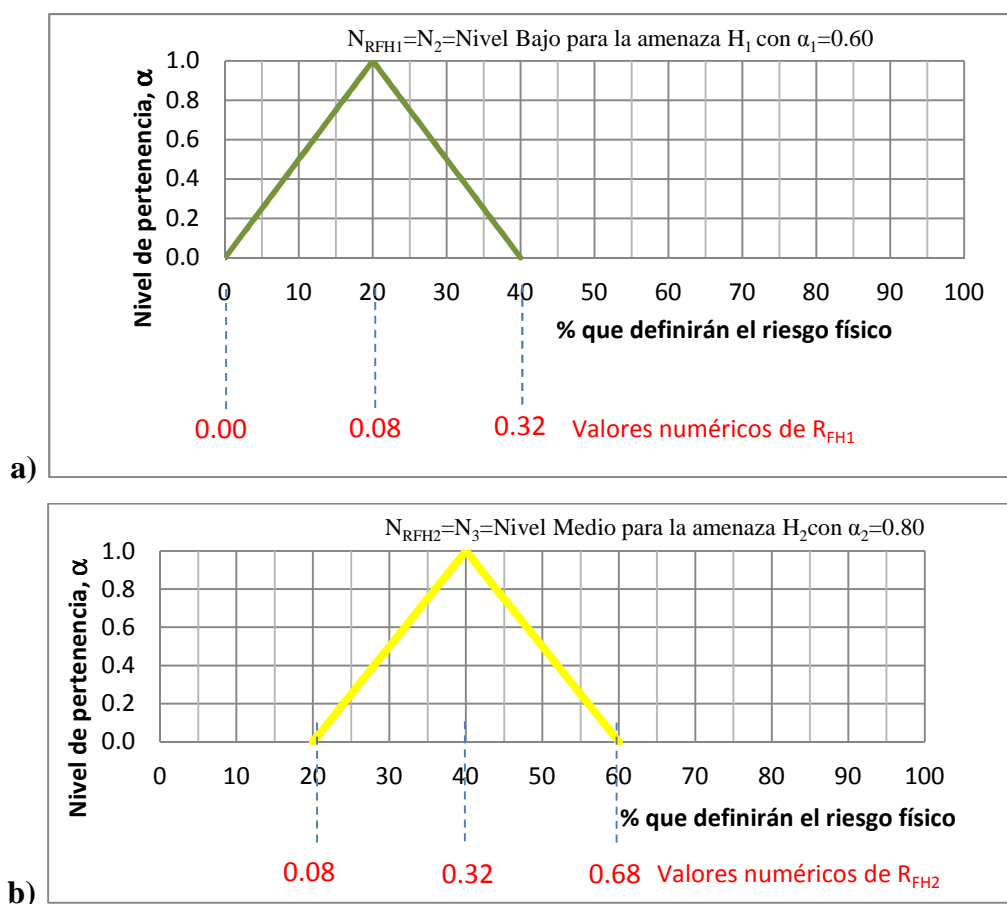


Figura 4-8. Entradas del nivel de riesgo físico mediante la variable lingüística para la amenaza a) H_1 y b) H_2 .

Paso 4:

Con ayuda a los antecedentes, $m=2$, $U_1=N_{RF_{H_1}}=N_2$ y $U_2=N_{RF_{H_2}}=N_3$, y la Tabla 4-1 se selecciona la regla del tipo Si-Entonces, para obtener la consecuencia D_1 , la cual es el conjunto difuso dado en la Figura 4-10. Cabe destacar que dicha consecuencia, se obtuvo con el procedimiento, de 4 pasos, correspondiente al criterio de cuando el cociente entre los dos valores numéricos de los límites superiores de las entradas de riesgo físico es menor a 3. Para

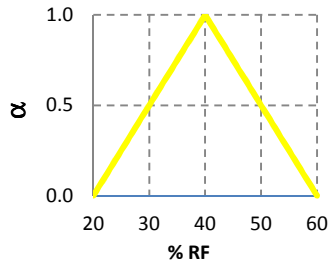
el ejemplo, dicho cociente es 2.78 ($0.50/0.18=2.78$). A continuación se detalla el procedimiento:

❖ Primero: para el ejemplo, como las dos amenazas naturales ($m=2$) que afectan a la zona urbana k dada reportan niveles de riesgo físico bajo (N_2) y medio (N_3); se tiene que para la amenaza natural considerada H_1 el nivel de riesgo físico es N_2 ($N_{RFH_1} = N_2$), y para la amenaza natural considerada H_2 es N_3 ($N_{RFH_2} = N_3$).

❖ Segundo: En el ejemplo, el nivel N_2 es el menor de los dos niveles de riesgo de entrada y presenta un centroide, en el dominio de porcentajes de la variable lingüística de nivel de riesgo de 20%, ver Figura 4-8a, el cual corresponde a un riesgo físico de 0.080.

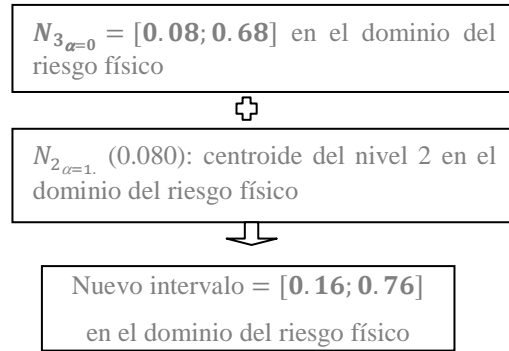
❖ Tercero: En el ejemplo, el nivel N_3 corresponde al nivel más alto entre las dos entradas y posee, para un grado de pertenencia igual a cero ($\alpha = 0$), el rango máximo de porcentajes que va desde 20% a 60% (Figura 4-9a). Luego, dichos valores de porcentaje se transforman a valores numéricos de riesgo físico mediante la función dada en la Figura 4-3 (Figura 4-9b), resultando el intervalo numérico de riesgo físico comprendido entre 0.080 y 0.68. Ahora, a los extremos de dicho intervalo de riesgo físico del nivel N_3 [0.080; 0.68] se le suma el riesgo físico correspondiente al centroide del nivel N_2 (0.080): [0.080+0.080; 0.68+0.080]. Y, así, se obtiene un nuevo intervalo de valores numéricos de riesgo físico que va desde 0.16 hasta 0.76 (Figura 4-9c). En seguida, este nuevo intervalo [0.16; 0.76] se convierte a porcentaje de riesgo físico, mediante la función de transformación, ver Figura 4-3, derivando en el intervalo de porcentajes de riesgo físico: [28.25%, 65.35%] (Figura 4-9d).

a)

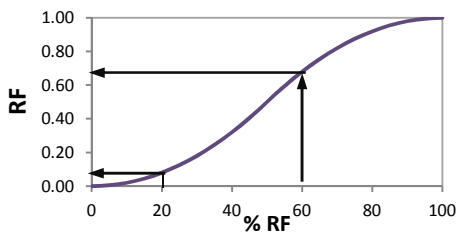


$N_{3\alpha=0} = [20\%; 60\%]$ en el dominio de las variables lingüísticas de nivel de riesgo físico

c)

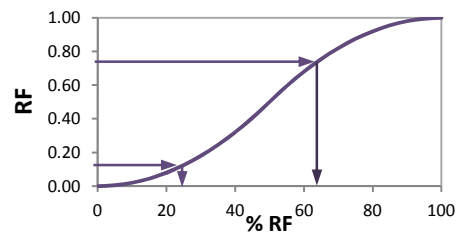


b)



$N_{3\alpha=0} = [0.08; 0.68]$ en el dominio del riesgo físico

d)



Nuevo intervalo = $[28.25\%; 65.35\%]$ en el dominio de las variables lingüísticas de nivel de riesgo físico

Figura 4-9. Tercer paso para establecer la consecuencia si el cociente entre los valores numéricos de los límites superior de las entradas de riesgo físico es menor a 3.

❖ Cuarto: el intervalo de porcentajes de riesgo físico $[28.25\%, 65.35\%]$ obtenido en el paso anterior define el dominio de porcentaje de la *consecuencia* de la regla *Si-Entonces* cuando los antecedentes satisfechos son números de amenazas igual a dos ($m=2$) y niveles de riesgo físico N_3 y N_2 ($U_1=N_2$, $U_2=N_3$) y el cociente entre los límites superiores de las entradas de riesgo físico con $\alpha \geq 0.5$ es menor a 3 ($0.50/0.18=2.78 < 3$). La consecuencia en sí (D_1) se obtiene al entrar en la Figura 4-2 y limitar su dominio para el intervalo $[28.25\%, 65.35\%]$, como se muestra en la Figura 4-10.

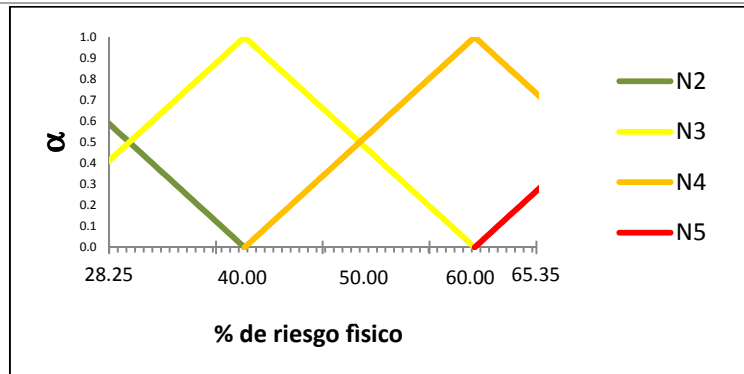


Figura 4-10. Consecuencia de Regla tipo Sí-Entonces cuando se satisfacen los antecedentes: $m=2$ y niveles de riesgo físico bajo y medio.

En la Tabla 4-4 se puede observar que la Figura 4-10 corresponde a la consecuencia para las variables de entrada cuyos niveles de riesgo físico son: N_2 y N_3 (o: N_3 y N_2).

Paso 5:

Mediante el razonamiento de inferencia del tipo Mamdani, ver Figura 4-5, se establece tanto el grado de disparo τ_1 , mediante la ecuación 4-3, como la salida difusa del riesgo físico multiamenaza ($F(Y) = \tau_1 \wedge D_1$).

En esta investigación se considera como valor de disparo τ_1 el máximo grado o nivel de pertenencia, α_i , entre las amenazas consideradas. Para el ejemplo, que se desarrolla, se tiene: $\tau_1 = \max(\alpha_1 = 0.60; \alpha_2 = 0.80) = 0.80$.

La salida difusa $F(Y) = \tau_1 \wedge D_1$, en este ejemplo, también se puede obtener gráficamente, se deriva al entrar en la ordenada de la Figura 4-10 con el nivel de disparo ($\tau_i=0.80$), de modo que con una línea horizontal se corte dicha función de pertenencia, para así establecer un nuevo conjunto difuso que conformará la salida $F(Y)$, ver Figura 4-11, área gris.

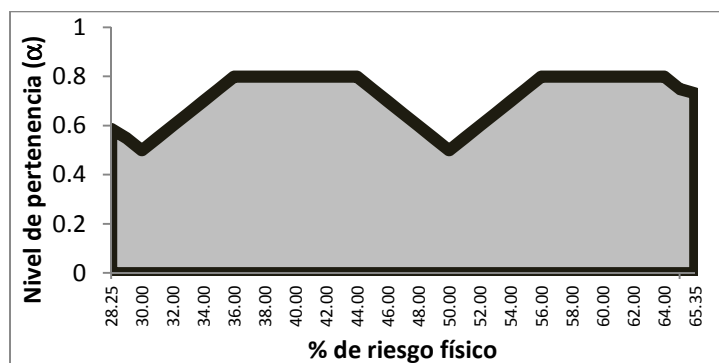


Figura 4-11. Salida difusa ($F(Y)$) para el nivel de riesgo físico multiamenaza en una zona urbana que se ve amenazada por dos amenazas naturales y éstas generarían niveles de riesgo físico bajo y medio, respectivamente.

Paso 6:

Una vez obtenida la salida difusa, $F(y)$, se realiza el proceso de defusificación para estimar numéricamente el riesgo físico multiamenaza con un cierto grado de pertenencia. En primer lugar, se establece una salida numérica expresada en porcentaje de riesgo físico, denominada R_{FmH}^* . En segundo lugar, se transforma R_{FmH}^* a un valor numérico de riesgo físico mediante la función dada en la Figura 4-3, y así, obtener la salida *crisis* R_{FmH} .

En el caso particular que se analiza, los valores defusificados del porcentaje de riesgo físico, según cada método, se expresan en la Figura 4-12 y son:

- a) $Y_{\%}^{MAX_{Entrada}} = 44\%$, en el ejemplo el mayor nivel de riesgo físico es el nivel N_3 , y su grado de pertenencia es 0.80, ver Figura 4-8b.
- b) $Y_{\%}^{COA} = 47.35\%$ es el porcentaje de riesgo físico correspondiente al centroide de la salida difusa del nivel de riesgo $F(y)$, área naranja de la Figura 4-11.
- a) $Y_{\%}^{MOM} = 50\%$ es el porcentaje de riesgo físico correspondiente al valor medio de los valores cuyas funciones de membresía alcanzan el valor máximo. Según la Figura 4-12 el valor máximo de la función de membresía es 0.80, y los valores extremos de % de riesgo físico con $\alpha=0.80$ son: 36, 44, 56 y 64.
- b) $Y_{\%}^{LOM} = 64\%$ es el porcentaje de riesgo físico obtenido como el máximo valor de todos aquellos que generan el valor más alto de la función de membresía.

De donde resulta como salida numérica en el dominio de porcentaje de riesgo físico:

$$R_{FmH}^* = 64\% = \max(44\%; 47,35\%; 50\%; 64\%).$$

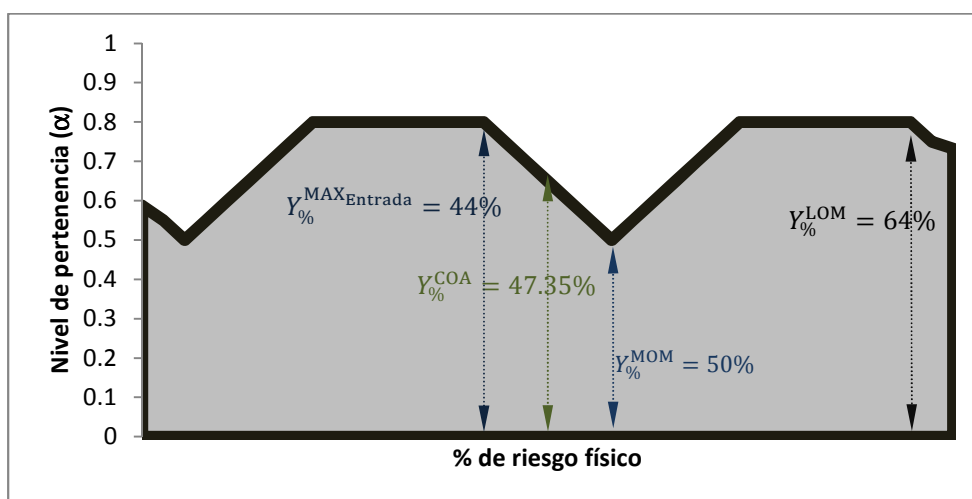


Figura 4-12. Salida difusa $F(y)$ del nivel de riesgo físico (área gris) y las salidas numéricas de porcentaje de riesgo físico, defusificados (líneas verticales con flechas).

Luego, se transforma el $R_{FmH}^* = 64\%$ a un valor numérico de riesgo físico. Derivando, en este caso, que *el riesgo físico multiamenaza* en la zona urbana k estudiada, debido a la superposición de los posibles dos niveles de riesgos físicos (N_2 : Nivel Bajo, N_3 : Nivel Medio) que generan las dos amenazas naturales (H_1, H_2) seleccionadas, es *0.741 con nivel de pertenencia de 0.80*.

Paso 7:

El riesgo físico multiamenaza como variable lingüística es un nivel *alto* (N_4) con nivel de pertenencia de 0.8, valor obtenido al entrar en el criterio lingüístico de evaluación (Figura 4-2) con $\%R_F = 64\%$.

CAPÍTULO 5

5. TOMA DE DECISIONES A PARTIR DE UNA EVALUACIÓN HOLÍSTICA DE RIESGO SÍSMICO

La evaluación holística del riesgo total sísmico permite aseverar que el riesgo depende de aspectos físicos, pero también de un impacto intangible de carácter social, económico, ambiental (Carreño, 2006). Por ello, todos los actores sociales que tienen influencia en llevar a cabo políticas públicas requieren de herramientas que les permitan establecer en qué nivel se encuentran y que política han de seguir, es decir saber establecer qué acciones son más pertinentes para disminuir, en lo posible, dicho riesgo antes de que ocurra un desastre en una zona urbana. Precisamente, en esta investigación se plantean llevar a ejecución acciones expresadas en estrategias que ayuden a reducir por una parte el riesgo físico sísmico y por otra parte el factor de agravamiento que genera el contexto social.

5.1 ESTRATEGIAS QUE AYUDAN A REDUCIR EL RIESGO FÍSICO SÍSMICO

Para disminuir el riesgo físico sísmico en una zona urbana se puede evaluar, con base en la opinión de expertos, el nivel de desempeño de la gestión del riesgo en que se encuentra dicha zona (Carreño et al., 2007b). Esta evaluación tiene en cuenta 24 indicadores relacionados con 4 políticas pública para la gestión del riesgo: 1) Identificación de riesgo (*IR*), 2) Reducción de riesgo (*RR*), 3) Gestión de riesgo (*MD*) y 4) Gobernabilidad y protección financiera (*PF*) (Cardona et al., 2005).

En esta investigación se propone una metodología que emplea un análisis morfológico (Ritchey, 2011a,b; Ritchey Consulting AB., 2003) para plantear las estrategias más convenientes para disminuir cada uno de los descriptores de daño físico sísmico. El modelo morfológico incluye como parámetros, por una parte, 6 descriptores de daño físico sísmico y, por otra parte, los 24 indicadores propuestas por Carreño (2006) (Ver Tabla 5-1). En esta investigación, cada indicador corresponde a una estrategia que ayudará a disminuir el riesgo físico sísmico.

Tabla 5-1: Modelo morfológico para disminuir el riesgo físico sísmico de una zona urbana.

Descriptores de Riesgo Físico Sísmico		Estrategias relacionadas con la identificación del riesgo		Estrategias relacionadas con la reducción de riesgo		Estrategias relacionadas con el manejo de desastres		Estrategias relacionadas con la gobernabilidad y protección financiera	
XRF1	Área destruida	IR1	Inventario sistemático de desastres y pérdidas	RR1	Integración del riesgo en la definición de usos del suelo y la planificación urbana	MD1	Organización y coordinación de operaciones de emergencia	PF1	Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada
XRF2	Fallecidos	IR2	Monitoreo de amenazas y pronóstico	RR2	Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental	MD2	Planificación de la respuesta en caso de emergencia y sistemas de alerta	PF2	Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional
XRF3	Heridos	IR3	Evaluación mapeo de amenazas	RR3	Implementación de técnicas de protección y control de fenómenos peligrosos	MD3	Dotación de equipos, herramientas e infraestructura	PF3	Localización y movilización de recursos de presupuesto
XRF4	Personas que se quedan sin hogar (Homeless)	IR4	Evaluación de vulnerabilidad y riesgo	RR4	Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos de Área s propensas	MD4	Simulación, actualización y prueba de la respuesta interinstitucional	PF4	Implementación de redes y fondos de seguridad social
XRF5	Daño en el sistema de agua potable	IR5	Información pública y participación comunitaria	RR5	Actualización y control de la aplicación de normas y códigos de construcción	MD5	Preparación y capacitación de la comunidad	PF5	Cobertura de seguros y estrategias de transferencia de pérdidas de activos públicos
XRF6	Daño medio en el sistema de vialidad=potable	IR6	Capacitación y educación en gestión de riesgos	RR6	Refuerzo e intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados	MD6	Planificación para la rehabilitación y reconstrucción	PF6	Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado

Con ambos parámetros de la Tabla 5-1 se crea una matriz de consistencia transversal, y aplicando las claves de evaluación “-”, “x” y “k”, se comparan los parámetros establecidos en el modelo morfológico con el propósito de disminuir el riesgo físico sísmico.

La clave “-” representa que el indicador (estrategia) influye favorablemente en el descriptor de daño físico sísmico (celda de color gris oscuro), es decir mejora el descriptor de daño físico correspondiente para que genere un valor bajo de factor contribuyente al riesgo

físico sísmico. La clave “x” indica que el indicador (estrategia) no influye favorablemente en el descriptor de daño físico sísmico (celda de color blanco). Finalmente, la clave “k” indica que el indicador (estrategia) es poco probable que influya favorablemente en el descriptor de daño físico sísmico (celda de color gris claro).

La evaluación de la matriz de consistencia transversal que se ajusta en esta investigación se muestra en la Tabla 5-2. Donde, los 24 indicadores que permiten disminuir el riesgo físico sísmico se presentan en la primera columna, mientras que, los descriptores que dan cuenta de los daños físicos se presentan en la primera fila. Las evaluaciones de comparación entre los parámetros establecidos en el modelo morfológico (columna 1 y fila 1), con el propósito de disminuir el riesgo físico sísmico, se presentan desde la columna XF1 a XF6 de la Tabla 5-2.

Tabla 5-2: Matriz de consistencia del análisis morfológico para disminuir el riesgo físico sísmico en una zona urbana (Ver Tabla 5-1).

		DESCRIPTORES					
		XRF1	XRF2	XRF3	XRF4	XRF5	XRF6
ESTRATEGIAS	IR1	k	k	k	k	k	k
	IR2	k	k	k	k	k	k
	IR3	k	k	k	k	k	k
	IR4	k	k	k	k	k	k
	IR5	k	-	-	-	k	k
	IR6	-	-	-	-	-	-
	RR1	-	-	-	-	-	-
	RR2	-	-	-	-	-	-
	RR3	-	-	-	-	-	-
	RR4	-	-	-	-	-	-
	RR5	-	-	-	-	-	-
	RR6	-	-	-	-	-	-
	MD1	x	-	-	-	x	x
	MD2	x	-	-	-	k	k
	MD3	x	-	-	-	x	x
	MD4	x	-	-	-	x	x
	MD5	k	-	-	-	x	x
	MD6	k	k	k	-	-	-
	PF1	-	-	-	-	-	-
	PF2	-	-	-	-	k	k
	PF3	-	-	-	-	k	k
	PF4	-	-	-	-	-	-
	PF5	k	k	k	k	-	-
	PF6	k	k	k	k	x	x

A continuación se presenta en las Tablas 5-3 a la Tabla 5-6 las diferentes estrategias que influyen favorablemente (celdas de color gris oscuro), poco probable (celdas de color gris claro) o no influyen (celdas de color blanco) en cada uno de los 6 descriptores de riesgo físico sísmico XRF1 a XRF6 respectivamente para disminuir el riesgo físico de una zona urbana. El

descriptor daño medio en el sistema de vialidad (XRF6) requiere las mismas estrategias que XRF5.

El descriptor *área destruida* (XRF1) se mejoraría significativamente si se ejecutan 11 estrategias: una de la política pública identificación del riesgo (IR6); las seis de la política pública reducción del riesgo (RR1 a RR6); y cuatro de la política pública gobernabilidad y protección financiera (PF1 a PF4) (Tabla 5-3).

Tabla 5-3: Estrategias que ayudan a disminuir el descriptor Área destruida.

Descriptor de Riesgo Físico		Estrategias para la política pública identificación del riesgo		Estrategias para la política pública de reducción de riesgo		Estrategias para la política pública de manejo de desastres		Estrategias para la política pública gobernabilidad y protección financiera	
XRF1	Área destruida	IR1	Inventario sistemático de desastres y pérdidas	RR1	Integración del riesgo en la definición de usos del suelo y la planificación urbana	MD1	Organización y coordinación de operaciones de emergencia	PF1	Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada
XRF2	Fallecidos	IR2	Monitoreo de amenazas y pronóstico	RR2	Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental	MD2	Planificación de la respuesta en caso de emergencia y sistemas de alerta	PF2	Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional
XRF3	Heridos	IR3	Evaluación mapeo de amenazas	RR3	Implementación de técnicas de protección y control de fenómenos peligrosos	MD3	Dotación de equipos, herramientas e infraestructura	PF3	Localización y movilización de recursos de presupuesto
XRF4	Personas que se quedan sin hogar (Homeless)	IR4	Evaluación de vulnerabilidad y riesgo	RR4	Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos de Área s propensas	MD4	Simulación, actualización y prueba de la respuesta interinstitucional	PF4	Implementación de redes y fondos de seguridad social
XRF5	Daño en el sistema de agua potable	IR5	Información pública y participación comunitaria	RR5	Actualización y control de la aplicación de normas y códigos de construcción	MD5	Preparación y capacitación de la comunidad	PF5	Cobertura de seguros y estrategias de transferencia de pérdidas de activos públicos
XRF6	Daño medio en el sistema de vialidad	IR6	Capacitación y educación en gestión de riesgos	RR6	Refuerzo e intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados	MD6	Planificación para la rehabilitación y reconstrucción	PF6	Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado

Los descriptores Fallecidos (XRF2) y Heridos (XRF3) se disminuirían significativamente si se ejecutan 17 estrategias: 2 de la política pública identificación del riesgo (IR5, IR6); las 6 de la política pública reducción del riesgo (RR1 a RR6); 5 de la política pública manejo de desastre (MD1 a MD5) y 4 de la política pública gobernabilidad y protección financiera (PF1 a PF4). En la Tabla 5-4 se muestra dichas estrategias para el descriptor daño Fallecidos (XRF2).

Tabla 5-4: Estrategias que ayudan a disminuir los descriptores de riesgo físico fallecidos.

Descriptores de Riesgo Físico		Estrategias para la política pública identificación del riesgo		Estrategias para la política pública de reducción de riesgo		Estrategias para la política pública de manejo de desastres		Estrategias para la política pública gobernabilidad y protección financiera	
XRF1	Área destruida	IR1	<i>Inventario sistemático de desastres y pérdidas</i>	RR1	Integración del riesgo en la definición de usos del suelo y la planificación urbana	MD1	Organización y coordinación de operaciones de emergencia	PF1	Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada
XRF2	Fallecidos	IR2	<i>Monitoreo de amenazas y pronóstico</i>	RR2	Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental	MD2	Planificación de la respuesta en caso de emergencia y sistemas de alerta	PF2	Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional
XRF3	Heridos	IR3	<i>Evaluación mapeo de amenazas</i>	RR3	Implementación de técnicas de protección y control de fenómenos peligrosos	MD3	Dotación de equipos, herramientas e infraestructura	PF3	Localización y movilización de recursos de presupuesto
XRF4	Personas que se quedan sin hogar (Homeless)	IR4	<i>Evaluación de vulnerabilidad y riesgo</i>	RR4	Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos de Área s propensas	MD4	Simulación, actualización y prueba de la respuesta interinstitucional	PF4	Implementación de redes y fondos de seguridad social
XRF5	Daño en el sistema de agua potable	IR5	Información pública y participación comunitaria	RR5	Actualización y control de la aplicación de normas y códigos de construcción	MD5	Preparación y capacitación de la comunidad	PF5	<i>Cobertura de seguros y estrategias de transferencia de pérdidas de activos públicos</i>
XRF6	Daño medio en el sistema de vialidad	IR6	Capacitación y educación en gestión de riesgos	RR6	Refuerzo e intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados	MD6	<i>Planificación para la rehabilitación y reconstrucción</i>	PF6	<i>Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado</i>

El descriptor *personas que se quedan sin hogar* se mejoraría significativamente si se ejecutan las 17 estrategias que mejoran al descriptor Fallecidos (XF2) o Heridos (XFR3), más otra estrategia de la política pública manejo de desastre (MD6) (Tabla 5-5).

Tabla 5-5: Estrategias que ayudan a disminuir los descriptores de riesgo físico personas que se quedan sin hogar.

Descriptores de Riesgo Físico		Estrategias para la política pública identificación del riesgo		Estrategias para la política pública de reducción de riesgo		Estrategias para la política pública de manejo de desastres		Estrategias para la política pública gobernabilidad y protección financiera	
XRF1	Área destruida	IR1	<i>Inventario sistemático de desastres y pérdidas</i>	RR1	Integración del riesgo en la definición de usos del suelo y la planificación urbana	MD1	Organización y coordinación de operaciones de emergencia	PF1	Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada
XRF2	Fallecidos	IR2	<i>Monitoreo de amenazas y pronóstico</i>	RR2	Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental	MD2	Planificación de la respuesta en caso de emergencia y sistemas de alerta	PF2	Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional
XRF3	Heridos	IR3	<i>Evaluación mapeo de amenazas</i>	RR3	Implementación de técnicas de protección y control de fenómenos peligrosos	MD3	Dotación de equipos, herramientas e infraestructura	PF3	Localización y movilización de recursos de presupuesto
XRF4	Personas que se quedan sin hogar (Homeless)	IR4	<i>Evaluación de vulnerabilidad y riesgo</i>	RR4	Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos de Área s propensas	MD4	Simulación, actualización y prueba de la respuesta interinstitucional	PF4	Implementación de redes y fondos de seguridad social
XRF5	Daño en el sistema de agua potable	IR5	Información pública y participación comunitaria	RR5	Actualización y control de la aplicación de normas y códigos de construcción	MD5	Preparación y capacitación de la comunidad	PF5	<i>Cobertura de seguros y estrategias de transferencia de pérdidas de activos públicos</i>
XRF6	Daño medio en el sistema de vialidad	IR6	Capacitación y educación en gestión de riesgos	RR6	Refuerzo e intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados	MD6	Planificación para la rehabilitación y reconstrucción	PF6	<i>Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado</i>

Los descriptores que dan cuenta del daño físico en las líneas vitales (XRF5 y XRF6) se mejorarían si se ejecutan 11 estrategias: 1 de la política pública de identificación de riesgo (IR6); 6 de la política pública de reducción de riesgo (RR1 a RR6); 1 de la política pública manejo de desastre (MD6) y 3 de la política pública gobernabilidad y protección financiera (PF1, PF4 y PF5). En la Tabla 5-6 se muestra dichas estrategias para el descriptor daño en el sistema de agua potable (XRF5).

Tabla 5-6: Estrategias que ayudan a disminuir los descriptores de riesgo físico daño en el sistema de agua potable.

Descriptores de Riesgo Físico		Estrategias para la política pública identificación del riesgo		Estrategias para la política pública de reducción de riesgo		Estrategias para la política pública de manejo de desastres		Estrategias para la política pública gobernabilidad y protección financiera	
XRF1	Área destruida	IR1	<i>Inventario sistemático de desastres y pérdidas</i>	RR1	Integración del riesgo en la definición de usos del suelo y la planificación urbana	MD1	Organización y coordinación de operaciones de emergencia	PF1	Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada
XRF2	Fallecidos	IR2	<i>Monitoreo de amenazas y pronóstico</i>	RR2	Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental	MD2	<i>Planificación de la respuesta en caso de emergencia y sistemas de alerta</i>	PF2	<i>Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional</i>
XRF3	Heridos	IR3	<i>Evaluación mapeo de amenazas</i>	RR3	Implementación de técnicas de protección y control de fenómenos peligrosos	MD3	Dotación de equipos, herramientas e infraestructura	PF3	<i>Localización y movilización de recursos de presupuesto</i>
XRF4	Personas que se quedan sin hogar (Homeless)	IR4	<i>Evaluación de vulnerabilidad y riesgo</i>	RR4	Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos de Área s propensas	MD4	Simulación, actualización y prueba de la respuesta interinstitucional	PF4	Implementación de redes y fondos de seguridad social
XRF5	Daño en el sistema de agua potable	IR5	<i>Información pública y participación comunitaria</i>	RR5	Actualización y control de la aplicación de normas y códigos de construcción	MD5	Preparación y capacitación de la comunidad	PF5	Cobertura de seguros y estrategias de transferencia de pérdidas de activos públicos
XRF6	Daño medio en el sistema de vialidad	IR6	Capacitación y educación en gestión de riesgos	RR6	Refuerzo e intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados	MD6	Planificación para la rehabilitación y reconstrucción	PF6	Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado

5.2 ESTRATEGIAS QUE AYUDAN A REDUCIR EL COEFICIENTE DE AGRAVAMIENTO

Para disminuir el coeficiente de agravamiento, se requiere mejorar el contexto social disminuyendo su vulnerabilidad social. Esto puede resultar una tarea compleja que requiere una serie de estrategias. Por ello, en esta investigación se plantean cinco grupos de estrategias que permiten mejorar el contexto social: 1) Identificación del contexto social (Tabla 5-7), 2) Estrategias de capacitación (Tabla 5-8), 3) Estrategias de desarrollo socio-económico (Tabla 5-9), 4) Estrategias de desarrollo físico (Tabla 5-10) y, 5) Mejora de la gobernabilidad (ver Tabla 5-11).

Cada uno de los cinco grupos anteriores contiene diferentes estrategias expresadas en acciones a seguir, algunas en concordancia con las estrategias propuestas en la evaluación de la efectividad de la gestión del riesgo (Carreño, 2006). Y aplicando un análisis morfológico se establecen qué estrategias son más convenientes para mejorar cada uno de los 13 indicadores sociales predominantes del contexto social comentados en el capítulo 3 (Tabla 3-8). A continuación se detalla cada uno de los grupos de estrategias.

El primer grupo de identificación del contexto social (I) lo constituyen cinco estrategias, identificadas en la Tabla 5-7. Estas estrategias permiten diagnosticar diferentes aspectos del contexto social y permitirán realizar un buen análisis de las problemáticas, de los recursos del entorno, de los valores y necesidades de una determinada zona urbana. También, permiten definir las alternativas posibles de solución, jerarquizar las necesidades detectadas, racionalizar las acciones y proveer los efectos de éstas.

Tabla 5-7: Estrategias que constituyen el grupo 1 de identificación del contexto social para disminuir el agravamiento generado por el contexto social.

Estrategia del Grupo 1: Identificación del contexto social	Código de la estrategia
Identificación los indicadores de vulnerabilidad social utilizando bases de datos (de INE: Instituto de Estadística -nacional y/o regional-; de OU -observadores urbanos-). En caso de que no existan previamente bases de datos se debe realizar la recopilación pertinente y crearlas.	I1
Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Identificación del Riesgo (IR).	I2
Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Reducción del riesgo (RR).	I3
Identificación del nivel de desempeño en la política pública Gestión de Desastres (MD).	I4
Identificación del nivel de desempeño en la política pública Gobernabilidad y protección Financiera (PF).	I5

El grupo 2 de estrategias de capacitación (C) lo constituyen cinco estrategias, identificadas en la Tabla 5-8. Las estrategias, de este segundo grupo, permiten a los diferentes actores del contexto social capacitarse en diferentes aspectos que permitirán mitigar o disminuir la vulnerabilidad social. También, permiten que dichos actores comprendan su realidad, para darle explicación y poder definir el cambio deseado; debido a que se generan las habilidades para el trabajo en equipo, tales como: la comunicación, habilidades de relación, asunción de responsabilidades, toma de decisiones, y resolución de conflictos. Por otro lado, estos, aspectos pueden constituirse como factores de protección. Así que en general, se establecen estrategias de educación para los individuos que constituyen una zona urbana, en concordancia con los cuatro pilares básicos para la educación en el nuevo milenio

(enunciados por la UNESCO en 1995: aprender a aprender, aprender a convivir, aprender hacer y aprender a ser). Se potencia así, la educación ciudadana para la transformación social, y se prepara a cada sujeto o colectivo de la zona urbana para la vida, para la toma de decisiones, la autogestión, el afrontamiento de conflictos, solución de problemas individuales y colectivos, y sobre todo para el desempeño eficiente y altruista de sus diferentes roles sociales.

Tabla 5-8: Estrategias que constituyen el grupo 2 de estrategias de capacitación.

Estrategias Grupo 2: Estrategias de capacitación	Código de la estrategia
Capacitación y Educación en gestión de riesgos (IR6).	C1
Educación Básica.	C2
Capacitación y educación en Técnica-Profesional.	C3
Información pública y participación comunitaria (IR5).	C4
Preparación y capacitación de la comunidad en respuesta a emergencia (MD5).	C5

El grupo 3 de estrategias de desarrollo socio-económico (EDS) lo constituyen tres estrategias, identificadas en la Tabla 5-9. Las estrategias, de este tercer grupo, contemplan conjuntos de actividades, técnicas y procedimientos que se pueden realizar en distintos niveles con el propósito de utilizar y desarrollar sus recursos y la autoayuda en la búsqueda de soluciones que se ajusten a las diferentes situaciones socio-económicas conflictivas existentes en una zona urbana. Las estrategias de desarrollo socio-económico posibilitan el tomar parte, mediar o dirigir al individuo, la familia, y/o la comunidad en el proceso de crecimiento y desarrollo, facilitando la toma de decisiones adaptativas y a desarrollarse, ante las situaciones que afecten: el bienestar, la planificación familiar y participación ciudadana.

Tabla 5-9: Estrategias que constituyen el grupo 3 de estrategias de desarrollo socio-económico.

Estrategia Grupo 3: Estrategias de desarrollo socio-económico	Código de la estrategia
Promover la integración social y apoyar a los grupos desfavorecidos.	EDS1
Mejorar la participación social, mediante políticas públicas (existentes o a desarrollar) de participación ciudadana.	EDS2
Planificación Familiar.	EDS3

El grupo 4 de estrategias de desarrollo físico (EDF) lo constituyen siete estrategias, identificadas en la Tabla 5-10. Las estrategias, de este cuarto grupo, benefician inmediatamente y directamente a la zona urbana.

Tabla 5-10: Estrategias que constituyen el grupo 4 de estrategias de desarrollo físico.

Estrategia Grupo 4: Estrategias de desarrollo físico	Código de la estrategia
Promover una correcta ubicación y distribución de las Áreas de los asentamientos urbanos existentes o a desarrollar (garantizando así una estructura geográfica equilibrada en éstos).	EDF1
Implementación de técnicas de protección y control de fenómenos peligrosos (RR3).	EDF2
Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos (RR4).	EDF3
Actualización y control de la aplicación de normas y códigos de construcción (RR5).	EDF4
Intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados (RR6).	EDF5
Integración del riesgo en la definición de usos y la planificación (RR1).	EDF6
Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental (RR2).	EDF7

El grupo 5 de mejora de la gobernabilidad (EG) lo constituyen doce estrategias identificadas en la Tabla 5-11. Las estrategias, de este quinto grupo, permiten que la interrelación de diferentes actores sociales (que necesariamente tienen diversos enfoques disciplinarios, valores e intereses) logre coordinar, ejecutar y establecer una adecuada asignación y utilización de recursos financieros apropiados de retención y transferencia de pérdidas asociadas a los desastres. Siendo por tanto, dichas estrategias fundamentales para la sostenibilidad del desarrollo social desde la aplicación de políticas públicas para gobernabilidad de una zona urbana.

Tabla 5-11: Estrategias que constituyen el grupo 5 de mejora de la gobernabilidad.

Estrategia Grupo 5: Mejora de la gobernabilidad	Código de la estrategia
Organización y coordinación de operaciones de emergencia (MD1).	EG1
Planificación de la respuesta en caso de emergencia y sistemas de alerta (MD2).	EG2
Dotación de equipos, herramientas e infraestructura en protección civil (MD3).	EG3
Simulación, actualización y prueba de la respuesta interinstitucional (MD4).	EG4
Planificación para la rehabilitación y reconstrucción (MD6)	EG5
Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada (PF1).	EG6
Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional (PF2).	EG7
Localización y movilización de recursos de presupuesto (PF3).	EG8
Implementación de redes y fondos de seguridad (PF4).	EG9
Seguros y estrategias de transferencia de pérdidas activos públicos (PF5).	EG10
Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado (PF6).	EG11
Mejorar el sistema sanitario	EG12

Con el objetivo de lograr obtener factores contribuyentes al agravamiento social con un valor numérico lo más bajo posible, cercano a cero, se establecen qué estrategias son más convenientes para mejorar cada uno de los indicadores sociales predominantes del contexto social. Para lo cual, se establece un modelo morfológico que contiene como parámetros, por una parte los trece indicadores con mayor nivel de independencia que dan cuenta de los aspectos sociales de una zona urbana y por otra parte las 32 estrategias propuestas y organizadas en cinco grupos (ver Tabla 5-12).

Tabla 5-12: Modelo morfológico para disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.

Indicadores que miden el contexto social	Grupo 1: Identificación del contexto social		Grupo 2: Estrategias de capacitación		Grupo 3: Estrategias de desarrollo socio-económico		Grupo 4: Estrategias de desarrollo físico		Grupo 5: Mejora de la gobernabilidad		
V1	Área insuficiente para vivir	I1	Identificar los indicadores de vulnerabilidad social utilizando bases de datos. En caso de que no existan previamente bases de datos se debe realizar la recopilación pertinente y crearlas.	C1	Capacitación y Educación en gestión de riesgos (IR6).	EDS1	Promover la integración social y apoyar a los grupos desfavorecidos.	EDF1	Promover una correcta ubicación y distribución de las Áreas de asentamientos urbanos existentes o a desarrollar (garantizando así una estructura geográfica equilibrada en éstos).	EG1	Organización y coordinación de operaciones de emergencia (MD1).
V2	Estado de la vivienda	I2	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Identificación del Riesgo (IR).	C2	Educación Básica.	EDS2	Mejorar la participación social, mediante políticas públicas (existentes o a desarrollar) de participación ciudadana.	EDF2	Implementación de técnicas de protección y control de fenómenos peligrosos (RR3).	EG2	Planificación de la respuesta en caso de emergencia y sistemas de alerta (MD2).
DS5	Hogares pobres	I3	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Reducción del riesgo (RR).	C3	Capacitación y educación en Técnica-Profesional.	EDS3	Planificación Familiar.	EDF3	Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos (RR4).	EG3	Dotación de equipos, herramientas e infraestructura en protección civil (MD3).
DS6	Tasa de alfabetización	I4	Identificación del nivel de desempeño en la política pública Gestión de Desastres (MD).	C4	Información pública y participación comunitaria (IR5).			EDF4	Actualización y control de la aplicación de normas y códigos de construcción (RR5).	EG4	Simulación, actualización y prueba de la respuesta interinstitucional (MD4).
O1	Crecimiento de los asentamientos espontáneos	I5	Identificación del nivel de desempeño en la política pública Gobernabilidad y protección Financiera (PF).	C5	Preparación y capacitación de la comunidad en respuesta a emergencia (MD5).			EDF5	Intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados (RR6).	EG5	Planificación para la rehabilitación y reconstrucción (MD6)
O2	Nivel de ordenamiento urbano							EDF6	Integración del riesgo en la definición de usos y la planificación (RR1).	EG6	Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada (PF1).
O3	Proporción de viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo							EDF7	Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental (RR2).	EG7	Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional (PF2).
G1	Índice de gestión de riesgo (IGR, DRM)									EG8	Localización y movilización de recursos de presupuesto (PF3).
F1	Camas hospitalarias									EG9	Implementación de redes y fondos de seguridad (PF4).
F2	Recursos humanos en salud									EG10	Seguros y estrategias de transferencia de pérdidas activos públicos (PF5).
F3	Personal de socorro									EG11	Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado (PF6).
D1	Densidad de población									EG12	Mejorar el sistema sanitario
D2	Crecimiento de población urbana										

Con ambos parámetros de la

Tabla 5-12 se crea la matriz de consistencia transversal, y aplicando las claves de evaluación “-”, “x” y “k”, se comparan los parámetros establecidos en el modelo morfológico con el propósito de disminuir el agravamiento del contexto social. La evaluación de la matriz de consistencia transversal que se ajusta en esta investigación se muestra en la Tabla 5-13. Donde las estrategias para disminuir F se presentan en las filas (agrupadas según los cinco grupos comentados) y los indicadores que dan cuenta del contexto social en las columnas de la Tabla 5-13. Las evaluaciones de comparación entre los parámetros establecidos en el modelo morfológico (columna 2 y fila 2) con el propósito de disminuir el agravamiento del contexto social se presentan desde la columna V1 a D2 de la Tabla 5-13. Se utilizan las mismas claves que en el análisis hecho para el riesgo físico sísmico.

Tabla 5-13: Matriz de consistencia del análisis morfológico para disminuir el coeficiente de agravamiento (F) en una zona urbana (“-“ influye, “x” no influye y “k” es poco probable que influya).

		Indicadores contribuyentes a F													
		V1	V2	DS5	DS6	O1	O2	O3	G1	F1	F2	F3	D1	D2	
Estrategias para disminuir F	Grupo 1: Identificación del contexto social	I1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		I2	x	x	x	x	-	-	-	-	x	x	x	x	x
		I3	x	x	x	x	-	-	-	-	x	x	x	x	x
		I4	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	x	x
		I5	x	x	x	x	x	-	-	-	x	x	x	x	x
	Grupo 2: Estrategias de capacitación	C1	-	x	x	x	-	x	-	-	x	x	x	x	x
		C2	x	x	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		C3	x	x	-	-	x	x	x	x	x	-	-	x	x
		C4	x	x	x	x	x	x	-	-	x	x	x	x	x
		C5	x	x	x	x	x	x	-	-	x	x	x	x	x
	Grupo 3: Estrategias de desarrollo socio-económico	EDS1	k	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x
		EDS2	k	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x
		EDS3	-	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-

Tabla 5-13 (Continuación): Matriz de consistencia del análisis morfológico para disminuir el coeficiente de agravamiento (F) en una zona urbana (“-“ influye, “x” no influye y “k”es poco probable que influya).

		Indicadores contribuyentes a F													
		V1	V2	DS5	DS6	O1	O2	O3	G1	F1	F2	F3	D1	D2	
Estrategias para disminuir F	Grupo 4: Estrategias de desarrollo físico	EDF1	-	-	x	x	-	-	-	x	x	x	x	-	x
		EDF2	k	x	x	x	-	-	-	-	x	x	x	x	x
		EDF3	-	-	x	x	-	-	-	-	x	x	x	x	x
		EDF4	k	-	x	x	k	-	x	-	x	x	x	x	x
		EDF5	x	-	x	x	x	-	x	-	-	x	x	x	x
		EDF6	k	x	x	x	k	-	-	-	x	x	x	x	x
		EDF7	x	x	x	x	x	-	-	-	x	x	x	x	x
	Grupo 5: Mejora de la gobernabilidad	EG1	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	-	x	x
		EG2	x	x	x	x	x	x	x	-	x	-	-	x	x
		EG3	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	x	x
		EG4	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x
		EG5	x	k	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x
		EG6	-	-	x	x	-	-	-	-	x	x	x	x	x
		EG7	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x
		EG8	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x
		EG9	k	-	-	x	x	x	-	-	x	x	x	x	x
		EG10	x	x	x	x	x	-	x	-	x	x	x	x	x
		EG11	k	x	x	x	x	-	x	-	x	x	x	x	x
		EG12	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	x	x

A modo de ejemplo, según la evaluación de consistencia transversal de la Tabla 5-13 se presenta sobre el modelo morfológico propuesto las cinco estrategias que mejoran al indicador social *camas hospitalarias* (F1) en la Tabla 5-14 (ver celdas en color gris oscuro y en negrita). Este indicador F1 pertenece a la categoría falta de resiliencia y da cuenta de la cantidad de camas hospitalarias por cada mil habitantes, permitiendo garantizar una buena

capacidad de respuesta bajo una emergencia en la zona urbana. Concretamente, las cinco estrategias que deben ejecutarse son las siguientes:

Grupo 1 -identificación del contexto- se establece realizar dos estrategias: *I1*, Identificar los indicadores de vulnerabilidad social utilizando bases de datos (de INE: Instituto de Estadística -nacional y/o regional-; de OU -observadores urbanos-). En caso de que no existan previamente bases de datos se debe realizar la recopilación pertinente y crearlas, e *I2*, - Identificación del nivel de desempeño en la política pública Gestión de Desastres.

Grupo 4 -estrategias de desarrollo físico- se establece realizar la estrategia *EDF5* - Intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados (similar a RR6)-.

Grupo 5 -mejora de la gobernabilidad- se establece realizar dos estrategias: *EG3* - Dotación de equipos, herramientas e infraestructura en protección civil (MD3)- y *EG12* - Mejorar el sistema sanitario-.

En las tablas del Anejo C, se presentan sobre el modelo morfológico propuesto las estrategias resultantes del análisis morfológico para cada uno de los 13 indicadores que describen el contexto social (Tabla 5-13).

Tabla 5-14: Estrategias recomendadas (sombreadas en color gris) para aumentar el indicador F1 con el propósito de disminuir el coeficiente de agravamiento (F) de una zona urbana.

Indicadores que miden el contexto social	Grupo 1: Identificación del contexto social		Grupo 2: Estrategias de capacitación		Grupo 3: Estrategias de desarrollo socio-económico		Grupo 4: Estrategias de desarrollo físico		Grupo 5: Mejora de la gobernabilidad	
		Identificar los indicadores de vulnerabilidad social utilizando bases de datos (de INE: Instituto de Estadística Nacional y/o regional; de OU -observadores urbanos-). En caso de que no existan previamente bases de datos se debe realizar la recopilación pertinente y crearlas.		Capacitación y Educación en gestión de riesgos (IR6).	EDS1	Promover la integración social y apoyar a los grupos desfavorecidos.	EDF1	Promover una correcta ubicación y distribución de las Áreas de los asentamientos urbanos existentes o a desarrollar (garantizando así una estructura geográfica equilibrada en éstos).	EG1	Organización y coordinación de operaciones de emergencia (MD1).
V1	I1	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Identificación del Riesgo (IR).	C1	Educación Básica.	EDS2	Mejorar la participación social, mediante políticas públicas (existentes o a desarrollar) de participación ciudadana.	EDF2	Implementación de técnicas de protección y control de fenómenos peligrosos (RR3).	EG2	Planificación de la respuesta en caso de emergencia y sistemas de alerta (MD2).
V2	I2	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Reducción del riesgo (RR).	C2	Educación Básica.	EDS3	Planificación Familiar.	EDF3	Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos (RR4).	EG3	Dotación de equipos, herramientas e infraestructura en protección civil (MD3).
DS5	I3	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Reducción del riesgo (RR).	C3	Capacitación y educación en Técnica-Profesional.			EDF4	Actualización y control de la aplicación de normas y códigos de construcción (RR5).	EG4	Simulación, actualización y prueba de la respuesta interinstitucional (MD4).
DS6	I4	Identificación del nivel de desempeño en la política pública Gestión de Desastres (MD).	C4	Información pública y participación comunitaria (IR5).			EDF5	Intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados (RR6).	EG5	Planificación para la rehabilitación y reconstrucción (MD6)
O1	I5	Identificación del nivel de desempeño en la política pública Gobernabilidad y protección Financiera (PF).	C5	Preparación de la capacitación de la comunidad en respuesta a emergencia (MD5).			EDF6	Integración del riesgo en la definición de usos y la planificación (RR1).	EG6	Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada (PF1).
O2							EDF7	Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental (RR2).	EG7	Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional (PF2).
O3									EG8	Localización y movilización de recursos de presupuesto (PF3).
G1									EG9	Implementación de redes y fondos de seguridad (PF4).
F1									EG10	Seguros y estrategias de transferencia de pérdidas activos públicos (PF5).
F2									EG11	Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado (PF6).
F3									EG12	Mejorar el sistema sanitario
D1										
D2										

Las estrategias propuestas, que tienen correspondencia con los 24 indicadores agrupadas en cuatro políticas públicas según Carreño (2006), en el modelo morfológico para disminuir el riesgo físico sísmico (*RFi*) de una zona urbana, se deberán ejecutar en función del *nivel de desempeño* que cada una de éstas presenten con la idea de disminuir el riesgo total sísmico.

La valoración de cada estrategia se realiza utilizando cinco niveles de desempeño: *bajo* (1), *incipiente* (2), *apreciable* (3), *notable* (4) y *óptimo* (5). Además, cada nivel simultáneamente hace referencia al *objetivo de desempeño* que permite facilitar la comparación y la identificación de resultados o logros hacia los cuales los gobiernos deben dirigir sus esfuerzos de formulación, implementación y evaluación de cada estrategia perteneciente a cada política pública (Carreño, 2006).

CAPÍTULO 6

6. APLICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS PROPUESTAS

En este capítulo se muestra la aplicación de las metodologías propuestas en los capítulos 3, 4 y 5, particularizadas a la ciudad de Mérida-Venezuela (caso de estudio). Se evalúa en primer lugar, el riesgo sísmico desde un enfoque holístico, y se evalúa el riesgo físico multiamenaza para dicha ciudad y finalmente se presentan las posibles estrategias a seguir para lograr disminuir el riesgo total sísmico en la ciudad de Mérida. Adicionalmente, se aplica la metodología del capítulo 3 a la ciudad de Barcelona-España y se compara con el caso de estudio.

6.1 EVALUACIÓN HOLÍSTICA DEL RIESGO SÍSMICO PARA MÉRIDA-VENEZUELA

6.1.1 CONTEXTO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO

La República Bolivariana de Venezuela se divide en veintitrés (23) Estados, un (1) Distrito Capital y Dependencias Federales compuestas por 311 islas, cayos e islotes. El estado Mérida está constituido por veintitrés (23) Municipios¹, y éstos a su vez se dividen en parroquias. La

¹ Municipio: Constituye la unidad política primaria y autónoma dentro de la organización nacional de Venezuela, establecida en una extensión determinada del territorio. Tienen personalidad jurídica y su representación la ejercerán los órganos determinados en la Ley. Su organización será de carácter democrático y tendrá por finalidad el eficaz gobierno y administración de la Entidad. Para la creación de un Municipio debe concurrir una población no menor de 10.000 habitantes o la existencia de un grupo social asentado estable con vínculos de vecindad permanente; un centro de población no menor de 2500 habitantes que sirva de asiento a sus autoridades y capacidad para gerenciar recursos propios suficientes para atender los gastos de gobierno, administración y prestación de servicios mínimos obligatorios y un territorio obligatorio. (Art. 18, Capítulo.2 Ley Orgánica de Régimen Municipal, Decreto 1443 del 22-03-82, de Venezuela).

ciudad de Mérida es la capital tanto del Estado Mérida como del municipio Libertador, y se conforma por 12 parroquias.

En la Figura 6-1 se muestra un mapa de la distribución político-territorial de Venezuela, el cual incluye ampliaciones sucesivas, primero para el estado Mérida y a partir de la misma, la del municipio Libertador y, finalmente, la de la ciudad de Mérida.

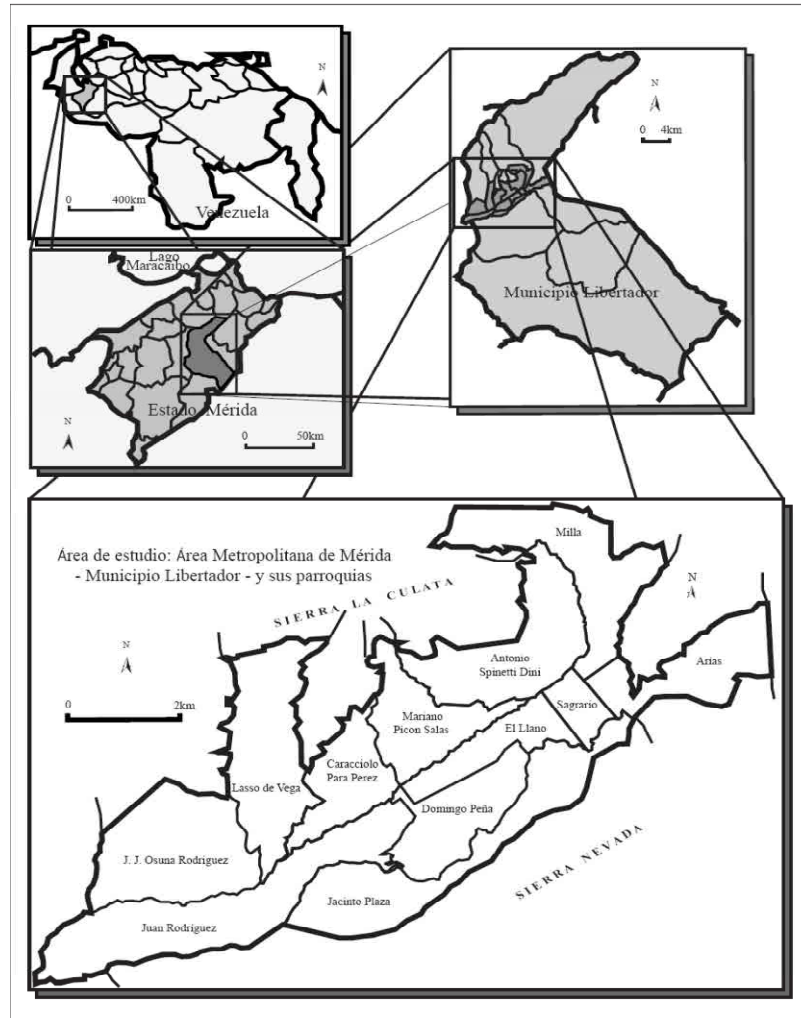


Figura 6-1. Mapa político-territorial de Venezuela, y de la ciudad de Mérida, contenida en 12 de las parroquias del municipio libertador del estado Mérida (Rebotier, 2006).

La ciudad de Mérida se encuentra en la parte noroeste de Venezuela, ubicada en la parte central de la cordillera andina venezolana, está asentada sobre una meseta o terraza alargada dentro de un valle aluvial (sedimentos cuaternarios), limitada por dos cordilleras: la sierra Nevada al sureste, y la sierra de la Culata al Noroeste (Ministerio de Obras Públicas, 1976; Gutiérrez, 2008).

La meseta de Mérida, ubicada en la parte noroeste de Venezuela, se extiende sobre un área de, aproximadamente, 60km² con una configuración general de forma rectangular y alargada en la dirección SO-NE, delimitada por las coordenadas geográficas: 8°32'34'' y 8°38'49'' de latitud norte en sus extremos superior e inferior, y 71°7'20'' y 71°5'42'' de longitud este en sus lados (Castillo et al., 2008).

La ciudad de Mérida está contenida en doce (12) de las quince (15) parroquias del municipio Libertador (Figura 6-1). La parte norte de la ciudad contiene parcialmente las parroquias: Arias y Milla, mientras que la parte sur contiene a las parroquias: J.J. Osuna Rodríguez y Juan Rodríguez Suárez; la este a Jacinto Plaza, la oeste a: Lasso de Vega, Caracciolo Parra Pérez, Mariano Picón Salas y Antonio Spinetti Dini; y la interior contiene la totalidad de las parroquias: El Llano, Sagrario y Domingo Peña.

Morfológicamente, el área urbana del Municipio Libertador se circunscribe a las cuencas de los ríos: Albarregas y Chama, y delimitadas por las vertientes y unidades de depósitos al Sur de la Sierra de La Culata y Norte de la Sierra Nevada de Mérida. El terreno presenta una variación altitudinal entre 1080 y 2420 msnm, con pendientes muy variada, producto de los procesos dinámicos en vertientes y drenajes naturales se originan las unidades deposicionales que conforman las unidades de fondo de valle y la terraza de Mérida. Los fondos de valle están conformados por los depósitos acumulados de las quebradas que confluyen a los ríos Albarregas, Mucujún y Chama (Ministerio de Obras Públicas, 1976; INGEOMIN, 2010).

Concretamente, la ciudad de Mérida es atravesada por el río Albarregas en toda su longitud con un cañón de profundidad promedio de veinte metros, mientras que el río Chama al sureste se encuentra en un cañón de cien metros de profundidad. Ambos cañones presentan pendientes pronunciadas, inclusive mayores a 40%, en las vegas de los ríos. El resto de la meseta tiene pendientes suaves, en promedio del 10% (Ministerio de Obras Públicas, 1976).

El relieve montañoso de los Andes Venezolanos es joven, por ende, en constante evolución y dinamismo manifestado por la incidencia de factores endógenos y exógenos asociados a la sismicidad, las precipitaciones, la meteorización, los procesos erosivos, entre otros que conllevan a la ocurrencia de movimientos en masa que influyen en la morfología del terreno (INGEOMIN, 2010).

El concepto *movimientos de masa* se refiere a todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de suelo por efectos de la gravedad (Cruden, 1991). Algunos movimientos de masa, como la reptación de suelos, son lentos, a veces imperceptibles y difusos, en tanto que otros, como algunos deslizamientos, pueden desarrollar

velocidades altas y pueden definirse con límites claros, determinados por superficies de ruptura (Glade y Crozier, 2005). Este tipo de procesos engloban desde los derrumbes, deslizamientos, hasta los flujos y son causados e influenciados por la gravedad, las lluvias, las fuerzas sísmicas y volcánicas, entre otras.

El estudio morfodinámico de INGEOMIN (2010), permitió la identificación, caracterización y ubicación de los movimientos en masa en el municipio Libertador del Estado Mérida. Los más característicos, son, en vertientes, las caídas de rocas, deslizamientos compuestos y reptación y, por procesos fluvio-torrenciales, los flujos de detritos.

En la ciudad de Mérida, existe evidencia de que los movimientos en masa, asociados a la actividad sísmica, han generado tanto daños materiales como pérdidas de vidas. Por ejemplo, el derrumbe ocurrido el 30/10/1977 en la urbanización “Los Chorros” dejó un saldo lamentable de dos muertos, o los deslizamientos, derrumbes y caídas de rocas ocurridos el 30/06/1976 por la Avenida 1 Las Piedras (barranco de Albarregas) generó 50 damnificados y la destrucción de 7 edificaciones (Singer et al., 1983; INGEOMIN, 2010).

Por otra parte, a manera de ejemplo, Laffaille y Ferrer (2006) señalan que el Barrio San José de Las Flores (parroquia Antonio Spinetti Dini al norte de la ciudad de Mérida) ha sido afectado por deslizamientos debido a tres factores fundamentalmente: La sobresaturación del material del suelo, los cortes en el terreno con la finalidad de realizar obras de ingeniería (calles, viviendas, urbanismos o avenidas) y la sobrecarga por construcción de viviendas sobre masas deslizadas, condicionando desfavorablemente el terreno para un escenario sísmico.

Según Gutiérrez (2008), el levantamiento geológico de la superficie del Área Metropolitana de Mérida² (AMM) es atravesada por un conjunto de fallas, de dirección NE-SO, paralelas a la cordillera de Mérida. Además, existen en menor proporción fallas locales más o menos perpendiculares a los lineamientos principales. Igualmente Gutiérrez (2008) acota que en el AMM “afloran rocas de edades diversas, desde el Precámbrico, hasta sedimentos cuaternarios. El Precámbrico está representado por la Asociación Sierra Nevada, que se presenta en dos franjas paralelas de dirección NE-SO, delimitando una especie de graben que agrupa unidades Paleozoicas, Mesozoicas, Terciarias y Cuaternarias. La Asociación Tostos y Las Formaciones Sabaneta y Palmarito (Paleozoico), afloran a lo largo del eje panamericano, desde La Hechicera, hasta el sector Manzano Alto”.

En cuanto a la sismicidad, el estado Mérida se encuentra dentro de una zona de alta sismicidad, definida como de alto peligro sísmico, zona 4 y 5 según la clasificación sísmica de

² Área metropolitana de Mérida, definida como la conurbación de los municipios Libertador, como cabecera de área, y los municipios campo Elias, Santos Marquinas y Surcre del estado Mérida en Venezuela. Acoge una población de 408.164 habitantes en un área de 2.602 m².

la norma sismorresistente de Venezuela, la cual divide al país en siete zonas de diferente amenaza sísmica (COVENIN, 2001), como se aprecia en la Figura 6-2. Por debajo de la ciudad pasa la mayor falla tectónica activa del occidente de Venezuela. La falla de Boconó que forma parte de la Placa Suramericana, ver Figura 6-3.

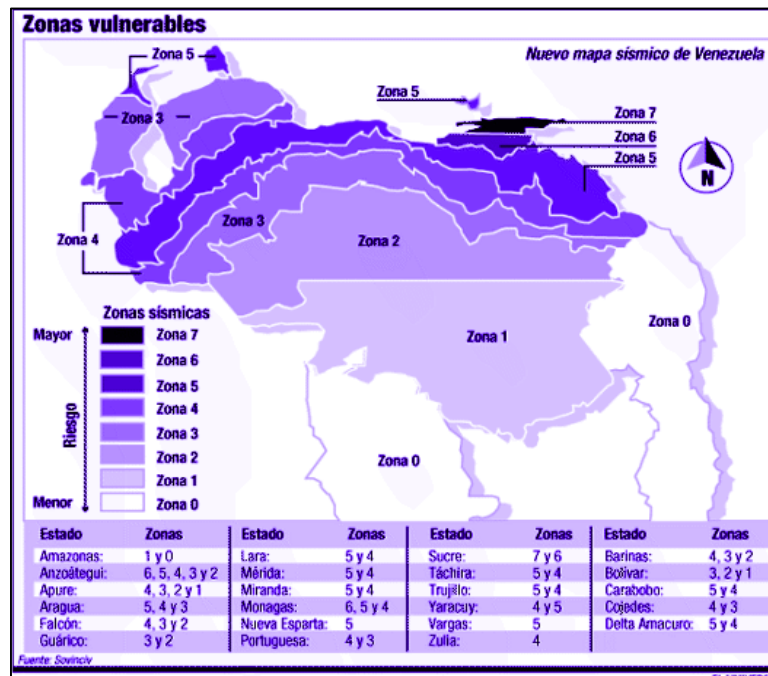


Figura 6-2. Zonas sísmicas de Venezuela.



Figura 6-3. Fallas de Venezuela.

Los eventos que han sacudido violentamente varias poblaciones del estado Mérida y específicamente la ciudad de Mérida, se sucedieron en el terremoto de 1610 con una magnitud estimada de $M_s = 7,3$ (6,5 mb); el terremoto de 1812 con una magnitud estimada de $M_s = 7,0$ (6,4 mb), y el gran terremoto de Los Andes venezolanos, el día 28/04/1894 a las 10:00 pm, con una magnitud estimada de $M_s 7,0$ (6,4 mb) (Laffaille y Ferrer, 2003).

En esta investigación se considera la amenaza sísmica en términos de intensidad macrosísmica, de acuerdo a la Escala Europea EMS-98 (Grünthal, 1998), considerando escenarios sísmicos definidos por las intensidades VIII y IX. Los posibles efectos inducidos por licuefacción y deslizamientos fueron evaluados a través de la metodología HAZUS-99 por Castillo (2005). Los efectos locales se indican con un incremento de media intensidad sísmica en algunas zonas del caso de estudio.

El origen de la ciudad de Mérida se remonta al siglo XVI, al ser fundada entre los ríos Albarregas y Chama, sobre el terreno más plano de la meseta. Su estructura inicial es el típico damero³ de las ciudades iberoamericanas de fundación, que aún persiste en el centro de la ciudad. El crecimiento de Mérida es lento en los tres primeros siglos de existencia, con un período de especial ralentización en el siglo XIX (Castillo, 2005), debido a la ocurrencia de sendos terremotos destructivos, uno en 1812 y otro en 1894 (Laffaille y Ferrer, 2003).

La tasa de crecimiento se incrementó en la primera mitad del siglo XX, con la construcción de infraestructura vial que conecta la ciudad con el resto del estado, permitiendo un desarrollo típico de ciudad capital, sede de las administraciones regionales. La segunda mitad del siglo XX está marcada por un gran crecimiento en población e infraestructura producto de la bonanza petrolera entre las décadas del cincuenta y setenta, lo cual desborda los límites de la banda norte del río Albarregas ocupando casi completamente el valle donde se asienta (INE, 2001).

Según datos del censo de Venezuela de octubre de 2001, la población del Municipio Libertador era de 213.239 habitantes; la ciudad de Mérida, que es parte de este municipio, tenía, para la misma fecha, una población un poco menor a 200.000 habitantes. La Tabla 6-1 muestra la población por parroquias del municipio Libertador, y se resaltan las parroquias que forman parte de la ciudad de Mérida (INE, 2001). Además, se puede apreciar que entre las parroquias que conforman la ciudad de Mérida, la más habitada es la parroquia Antonio Spinetti Dini y la menos habitada corresponde con la parroquia Sagrario.

³ Planta de zonas urbanas que presenta una distribución por cuadrados o rectángulos.

Tabla 6-1: Población del municipio Libertador según el censo 2001 de Venezuela y estimación para el año 2010.

Parroquias del Municipio Libertador del Estado Mérida	Censo 2001 (hab.)	Proyección 2010 (hab.)
*Parroquia Antonio Spinetti Dini	27.979	34.763
*Parroquia Arias	13.212	9.631
*Parroquia Caracciolo Parra Pérez	10.844	10.234
*Parroquia Domingo Peña	22.404	29.582
*Parroquia El Llano	10.385	11.858
Parroquia Gonzalo Picón Febres	5.826	6.949
*Parroquia Jacinto Plaza	26.463	25.761
*Parroquia Juan Rodríguez Suárez	15.740	18.103
*Parroquia Lasso de La Vega	13.022	14.022
*Parroquia Mariano Picón Salas	16.052	19.808
*Parroquia Milla	21.826	25.516
*Parroquia Osuna Rodríguez	20.339	24.994
*Parroquia Sagrario	7.025	9.059
Parroquia El Morro	1.466	1.667
Parroquia Los Nevados	656	631
Municipio Libertador	213.239	242.578

* Parroquias que constituyen la ciudad de Mérida

Fuente: Instituto Nacional de Estadística República Bolivariana de Venezuela (INE, 2001).

En la actualidad, Mérida es una ciudad de casi 230.000 habitantes⁴ distribuidos en 12 parroquias. Las principales actividades que se desarrollan son administrativas del Estado Mérida, y educativas a nivel nacional y regional.

Para presentar los resultados en el caso de estudio se hace uso de la división político-territorial, ya que ésta ayuda a determinar el efecto del contexto social. La evaluación del riesgo total sísmico de la ciudad de Mérida-Venezuela se lleva a cabo parroquia⁵ por parroquia.

⁴ Proyección para el año 2010, basado en el censo del 2001 del Instituto Nacional de Estadística de Venezuela.

⁵ Parroquia: son demarcaciones de carácter local dentro del territorio de un Municipio, creadas con el objeto de descentralizar la administración municipal, promover la participación ciudadana y la mejor prestación de los servicios públicos locales (Art. 32 Capítulo V de la Ley Orgánica de Régimen Municipal Decreto 1443 del 22-03-82). En otras palabras es la unidad político-territorial mínima en Venezuela, según censo del año 2001.

6.1.2 EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO FÍSICO

Para estimar el índice de riesgo físico de cada una de las parroquias de la ciudad de Mérida se estiman los daños de los elementos expuestos, a la amenaza sísmica, tales como: área de edificios colapsados, daños en las líneas vitales y afectación de la población expresada en las posibles víctimas-fallecidos, heridos, y personas que se quedan sin hogar-.

6.1.2.1 Daño de edificaciones

En base a la matriz de clasificación de edificaciones (*BTM, Building Typology Matrix*) de Risk-UE, Castillo (2005) identifica las siguientes 7 tipologías de edificación predominantes para la ciudad de Mérida:

- Edificaciones de hormigón armado, conformadas por pórticos con o sin diseño sismorresistente: RC3.1, RC3.2, RC5, NENG_RC.
- Edificaciones de adobe (M2).
- Estructuras metálicas clásicas, con elementos estructurales metálicos horizontales y verticales (S1).
- Edificaciones tipo Rancho (R) construidas por sus habitantes con materiales de muy mala calidad y sin ningún diseño estructural.

Cabe destacar que las estructuras de madera son casi inexistentes en las áreas urbanas de la ciudad de Mérida.

Al igual que en estudios previos (Laffaille, 1996; Castillo, 2005), el área metropolitana de Mérida se divide en sectores, teniendo en cuenta la homogeneidad (similitud entre edificios predominantes), barreras físicas (sobre todo la de los dos ríos próximos a la ciudad) y accesibilidad (puentes y carreteras). Cada sector se divide en varios subsectores, tal que la mayoría de las construcciones en cada subsector pertenezca a la misma clase de vulnerabilidad física. Esto último implica que no se cuenta con información sobre ubicación específica de cada tipología de los edificios. Sin embargo, los sectores y subsectores proporcionan información útil sobre la distribución de las diferentes tipologías de edificación dentro de éstos.

En esta tesis, se completó la base de datos de edificaciones empleada por Castillo (2005) (16.147 edificaciones), incorporando la totalidad de edificaciones existentes en un sector predominante de la parroquia Osuna Rodríguez (Los Curos), que no se habían considerado en los estudios previos (Castillo, 2005; Laffaille, 1996). De forma que el número total del parque de edificaciones es 17.664 (Figura 6-4). Los datos nuevos de edificación se

caracterizaron con la *matriz de clasificación de edificios* de Risk-UE adoptada para la ciudad de Mérida en Castillo (2005) (Figura 6-5). Por otra parte, de las doce parroquias que constituyen el caso de estudio, no se cuenta con información de la tipología estructural existente en la parroquia Jacinto Plaza.

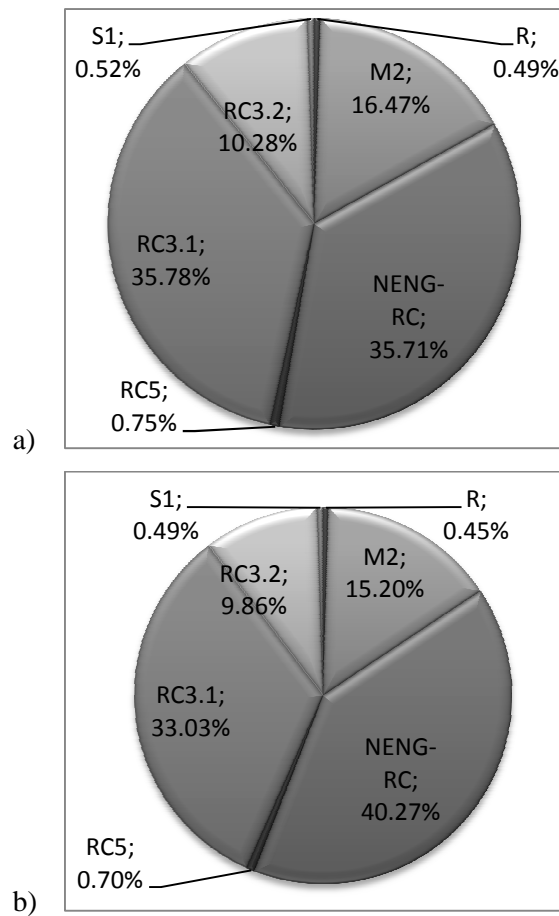


Figura 6-4. Distribución porcentual de las tipologías en la ciudad de Mérida según la BTM, Building Typology Matrix de Risk-UE, para el estudio de a) Castillo (2005); b) la presente investigación.

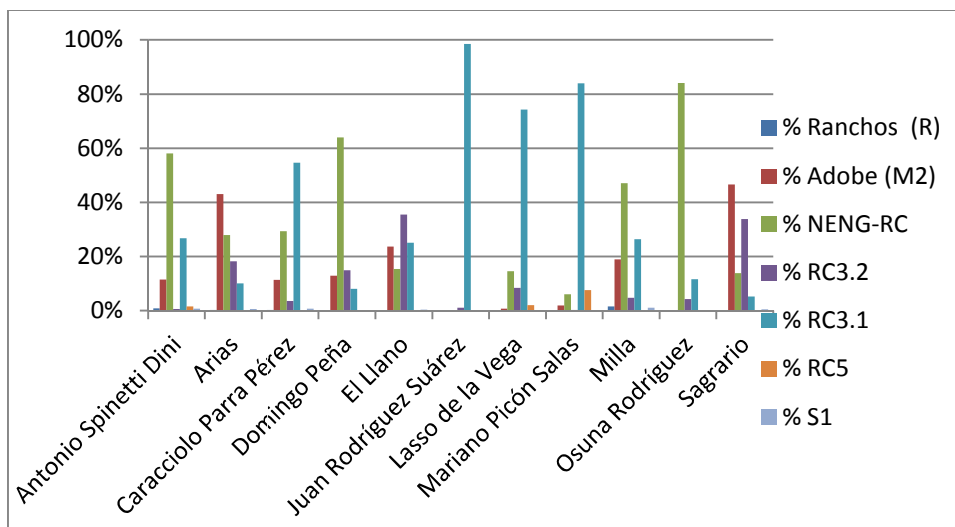


Figura 6-5. Distribución porcentual de las siete tipologías predominantes por parroquia de la ciudad de Mérida-Venezuela.

Por otra parte, es importante tener en cuenta que los efectos locales del suelo pueden generar una amplificación de la amenaza sísmica; para el caso de estudio los efectos locales del suelo se consideraran como un incremento de media unidad de intensidad (Castillo, 2005; Gutiérrez, 2008; Ministerio de Obras Públicas, 1976). La Figura 6-6 indica, mediante polígonos en color rojo, los subsectores expuestos a efectos locales de suelo; este efecto se presenta en 6 de las 11 parroquias a estudiar: Arias, Sagrario, El Llano, Domingo Peña, Juan Rodríguez Suárez y Milla.

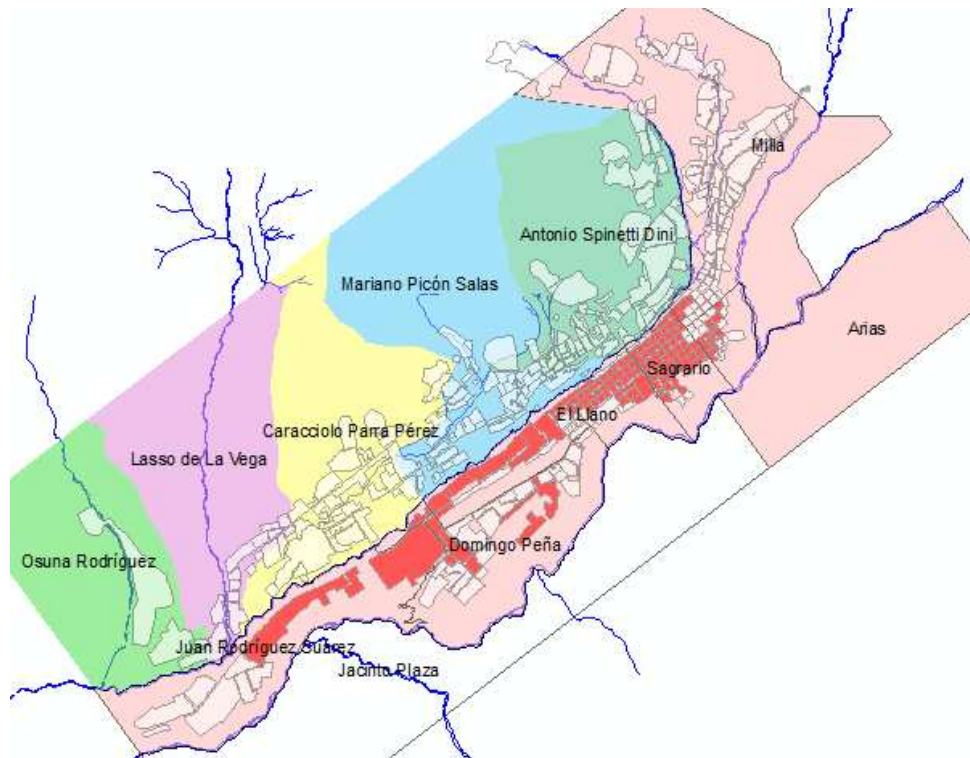


Figura 6-6. Parroquias afectadas por efectos de sitio.

En tal sentido, es de gran importancia tomar en cuenta el efecto local de suelo sobre las distintas tipologías; para ello, se desglosa por parroquia el porcentaje de las siete tipologías que se encuentren en áreas con y sin efectos locales de suelo (Ver la Tabla 6-2 y la Figura 6-5).

En general, cada parroquia tiene una tipología de edificación predominante: *RC3.1* para las parroquias *Caracciolo Parra Pérez*, *Juan Rodríguez Suárez*, *Lasso de La Vega* y *Mariano Picón Salas*; *NEGN-RC* para las parroquias *Antonio Spinetti Dini*, *Domingo Peña*, *Milla* y *Osuna Rodríguez*; *M2* para las parroquias *Arias* y *Sagrario*; *RC3.2* para la parroquia *El Llano*.

Las parroquias *El Llano* y *Sagrario* tienen más del 60% de las edificaciones en áreas con efectos locales del suelo. La ciudad de Mérida (para la información disponible en las 11

parroquias estudiadas) tiene un 21,3% del total de edificaciones sobre áreas con efectos locales de suelo.

Tabla 6-2: Porcentaje de cada tipología de edificación por parroquia en áreas sin efectos locales (basado en Castillo, 2005).

Código Nacional (Venezuela)	Nombre de la Parroquia	% Ranchos (R)	% Adobe (M2)	% NENG-RC	% RC3.2	% RC3.1	% RC5	% S1	Total
141201	Antonio Spinetti Dini	0.8%	11.5%	58.0%	0.6%	26.7%	1.6%	0.8%	100%
141202	Arias	0.2%	24.7%	21.3%	7.9%	8.0%	0.0%	0.5%	63%
141203	Caracciolo Parra Pérez	0.3%	11.4%	29.4%	3.6%	54.6%	0.1%	0.7%	100%
141204	Domingo Peña	0.0%	9.8%	47.0%	12.5%	6.5%	0.0%	0.0%	76%
141205	El Llano	0.0%	7.0%	9.8%	8.8%	5.2%	0.0%	0.1%	31%
141208	Juan Rodríguez Suárez	0.0%	0.0%	0.1%	0.8%	53.3%	0.0%	0.0%	54%
141209	Lasso de la Vega	0.0%	0.7%	14.6%	8.5%	74.2%	2.0%	0.0%	100%
141210	Mariano Picón Salas	0.1%	2.0%	6.1%	0.3%	84.0%	7.5%	0.0%	100%
141211	Milla	1.5%	17.3%	46.5%	4.0%	26.3%	0.1%	1.1%	97%
141212	Osuna Rodríguez	0.0%	0.0%	84.0%	4.2%	11.6%	0.0%	0.1%	100%
141213	Sagrario	0.0%	4.8%	1.6%	1.6%	0.7%	0.0%	0.4%	9%

En la Tabla 6-3 se resumen las siete tipologías de la ciudad de Mérida señalando la similitud entre las escalas MKS-1964, EMS-98, y los valores característicos del índice de vulnerabilidad por tipología (Castillo, 2005). De donde se subraya que directamente cinco tipologías (M2, RC3.1, RC3.2, RC5, S1) son similares a la matriz de clasificación de edificios (BTM) de la metodología del índice de vulnerabilidad (LM1) de RISK-UE (Milutinovic y Trendafiloski, 2003) y que las tipologías Rancho y NENG-RC no cumplen por completo las descripciones de la BTM. Sin embargo, dicha metodología permite adecuar el índice de vulnerabilidad para las tipologías que no se identifican directamente con la matriz BTM (Castillo, 2005).

La tipología más vulnerable es la tipo Rancho ($V_I^* = 0.90$) y la menos vulnerable es la tipo S1 ($V_I^* = 0.363$).

Tabla 6-3: Matriz de tipología de edificación para la ciudad de Mérida según Castillo (2005) y su relación con la escala EMS-98 y el trabajo de Laffaille (1996).

Clasificación		Valores representativos para el índice de vulnerabilidad, según la metodología WP4_LM1 Matriz de tipología de edificios (BTM)						
Laffaille (1996) basado en la escala MKS-1964	Escala EMS-98	Tipología Castillo (2005)	Descripción	V^{min}	V^-	V^*	V^+	V^{max}
Rancho: autoconstrucción con materiales de mala calidad.	N/A: considerado en A.	R	Rancho	0.78	0.860	0.900	0.940	1.02
A: Edificios con muros de piedra y tierra, estructura rural, casas de adobe, casas de barro.	A: paredes con bloque de adobe, escombros de piedra (llenos con piedra)	M2	Adobe	0.62	0.687	0.840	0.980	1.02
B: sin diseño ingenieril o estructura de hormigón armado reforzados de varios niveles con paredes de ladrillo hueco.	B-RC: Pórticos resistentes diseñados sólo para cargas gravitacionales (sin acciones sísmicas) o mampostería confinada.	NENG_RC	Basado en pórticos de concreto armado	0.23	0.290	0.685	0.970	1.02
C5: Estructuras de acero con uno o varios niveles, con losas unidireccional tanto en pisos como en techos, y paredes de ladrillo hueco sin refuerzo.	E: Pórtico resistente de acero con mampostería de ladrillo.	S1	Basado en pórticos de acero	-0.02	0.467	0.363	0.640	0.86
C6: Estructura de pórticos de acero, con losas unidireccionales y paredes de ladrillo hueco sin refuerzo.	D-RC: Pórtico diseñado baja acciones sísmicas.	RC3.1	Con regularidad muros rellenos	0.02	0.007	0.402	0.760	0.96
C7: Edificios de varios niveles con losas de concreto reforzado.	C-RC: Losa estructural.	RC3.2	Pórticos irregulares	0.06	0.127	0.522	0.880	1.02
C8: Edificios de varios niveles con losas y paredes de concreto armado hormigonadas en sitio.	E-RC: Muros de corte, vaciados u hormigonados en sitio.	RC5	Prefabricados de hormigón	0.14	0.207	0.384	0.510	0.70

Para más detalle de las tipologías (R, M2, NENG_RC, S1, RC3.1, RC3.2 y RC5) ver Castillo (2005).

Matrices de Probabilidad de Daño de las tipologías de edificación

La metodología del índice de vulnerabilidad LM1 de Risk-UE (Milutinovic y Trendafiloski, 2003) considera la estimación del índice de vulnerabilidad como el primer paso en la estimación de daños, que en este caso para la ciudad de Mérida se especificó por tipología en la Tabla 6-3. Se estimar el grado de daño medio (μ_D) para las diferentes tipologías de edificación con un determinado índice de vulnerabilidad (V_i) e intensidad sísmica (I) correspondiente, en Mérida se calcularon para intensidades macrosísmicas desde grado VI hasta grado XII. La Figura 6-7 representa las curvas medias (semi-empírica) de las funciones de vulnerabilidad para cada tipología considerada.

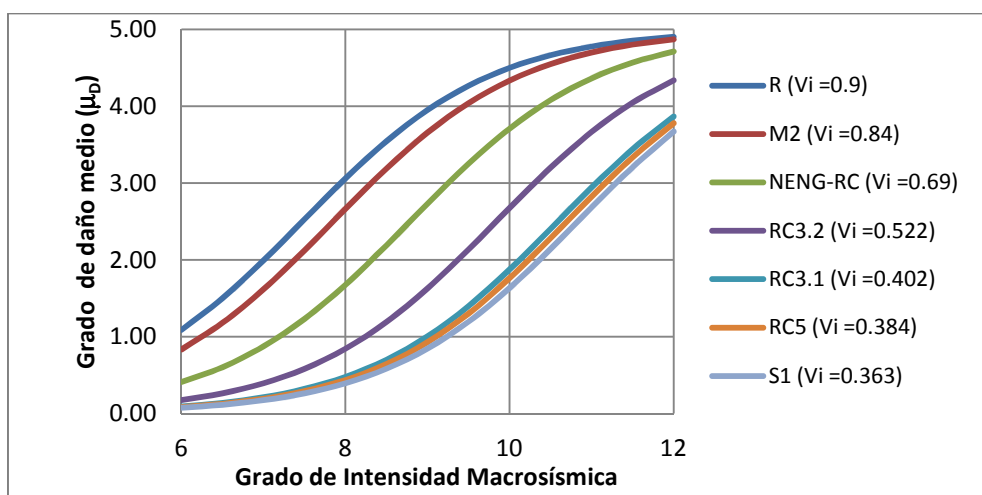


Figura 6-7. Funciones de vulnerabilidad media semi-empíricas por tipología de edificación en la ciudad de Mérida para el índice de vulnerabilidad (V_i) más probable (Castillo, 2005).

Las matrices de daños se calculan por tipología de edificación, considerando que la distribución de daño se calcula mediante el uso de una *distribución beta*. La Metodología del Índice de Vulnerabilidad (LM1), de acuerdo con la escala macrosísmica ESM-98, considera cinco grados o estados de daño más el grado de daño nulo. Estos grados son: sin daño (DG0); daño leve (DG1); daño moderado (DG2); daño severo (DG3); daño muy severo (DG4) y daño destrucción o colapso (DG5). En Tabla 6-4 se resumen las matrices de probabilidad de daño por tipologías características de la ciudad de Mérida para las intensidades macrosísmica desde intensidad VIII hasta IX-X para los seis grados de daño.

Tabla 6-4: Matrices de probabilidad de daño para las tipologías de edificación del caso de estudio.

Intensidad = VIII						
Tipología de edificación	DG0 (sin daño)	DG1 (leve)	DG2 (moderado)	DG3 (severo)	DG4 (muy severo)	DG5 (colapso)
R	0.007	0.090	0.263	0.358	0.240	0.042
M2	0.012	0.125	0.303	0.345	0.190	0.026
NENG_RC	0.105	0.344	0.339	0.172	0.039	0.002
RC3.2	0.449	0.372	0.143	0.032	0.003	0.000
RC3.1	0.718	0.222	0.051	0.007	0.000	0.000
RC5	0.749	0.201	0.044	0.006	0.000	0.000
S1	0.749	0.201	0.044	0.006	0.000	0.000
Intensidad = (VIII-IX)						
Tipología de edificación	DG0 (sin daño)	DG1 (leve)	DG2 (moderado)	DG3 (severo)	DG4 (muy severo)	DG5 (colapso)
R	0.001	0.034	0.158	0.330	0.357	0.119
M2	0.003	0.052	0.201	0.352	0.313	0.080
NENG_RC	0.036	0.223	0.356	0.277	0.101	0.008
RC3.2	0.256	0.411	0.243	0.078	0.011	0.000
RC3.1	0.548	0.326	0.104	0.020	0.002	0.000
RC5	0.590	0.303	0.089	0.016	0.001	0.000
S1	0.590	0.303	0.089	0.016	0.001	0.000
Intensidad = IX						
Tipología de edificación	DG0 (sin daño)	DG1 (leve)	DG2 (moderado)	DG3 (severo)	DG4 (muy severo)	DG5 (colapso)
R	0.000	0.011	0.076	0.239	0.411	0.263
M2	0.001	0.017	0.105	0.281	0.401	0.195
NENG_RC	0.010	0.114	0.291	0.351	0.205	0.030
RC3.2	0.115	0.354	0.333	0.162	0.035	0.001
RC3.1	0.349	0.403	0.191	0.051	0.006	0.000
RC5	0.394	0.391	0.169	0.042	0.004	0.000
S1	0.394	0.391	0.169	0.042	0.004	0.000
Intensidad = (IX-X)						
Tipología de edificación	DG0 (sin daño)	DG1 (leve)	DG2 (moderado)	DG3 (severo)	DG4 (muy severo)	DG5 (colapso)
R	0.000	0.003	0.031	0.140	0.369	0.457
M2	0.000	0.005	0.046	0.178	0.397	0.374
NENG_RC	0.002	0.046	0.187	0.347	0.327	0.091
RC3.2	0.041	0.235	0.358	0.267	0.092	0.007
RC3.1	0.177	0.394	0.293	0.115	0.020	0.001
RC5	0.211	0.405	0.271	0.097	0.016	0.000
S1	0.211	0.405	0.271	0.097	0.016	0.000

Finalmente, usando las matrices de probabilidad de daño se obtiene el área destruida para cada parroquia para las intensidades sísmicas VIII y IX. Ver Tabla 6-5.

Tabla 6-5: Porcentaje de área destruida para el caso de estudio para intensidad sísmica de VIII y IX.

Nombre de la Parroquia	Área destruida	
	VIII	IX
Antonio Spinetti Dini	3.24%	15.03%
Arias	8.29%	24.91%
Caracciolo Parra Pérez	1.82%	7.95%
Domingo Peña	5.04%	21.16%
El Llano	4.29%	14.33%
Juan Rodríguez Suárez	0.12%	1.37%
Lasso de la Vega	0.46%	2.94%
Mariano Picón Salas	0.32%	1.76%
Milla	3.92%	15.81%
Osuna Rodríguez	3.06%	17.72%
Sagrario	10.27%	27.32%

La diferencia de orden de magnitud en el descriptor *área destruida* en las parroquias *Juan Rodríguez Suárez*, *Lasso de la Vega* y *Mariano de Picón Salas* respecto a las demás parroquias de la ciudad de Mérida, se debe a que para los datos disponibles en esta investigación, las tipologías de edificación predominantes en dichas parroquias, son menos vulnerables físicamente a una amenaza sísmica.

6.1.2.2 Daño en líneas vitales

Para la ciudad de Mérida-Venezuela se evaluó el daño potencial *en el sistema de agua potable y daño medio en el sistema de vialidad*.

Daño en el sistema de agua potable

Para el caso de estudio, se cuenta con un estudio realizado por Astorga (2011), donde el número total de roturas esperadas por tubería se estimó mediante la metodología de la PAHO OPS (PAHO, 1998). Para facilitar los procedimientos de cálculo y la presentación de resultados, es necesario sectorizar las tuberías que componen el sistema de acueductos de la ciudad de Mérida. Astorga realizó una sectorización tomando como referencia la ubicación de los estanques de almacenamiento, y con esto, las distintas zonas de presión que se generan en la ciudad. En total surgieron diez zonas, que para efectos de presentación de sus resultados, se agrupan en dos grandes conjuntos (Ver Figura 6-8 y Tabla 6-6):

1. Norte de la ciudad: conformado por las tuberías de cinco zonas de presión, las zonas I, II, V, VI y VII, que corresponden a los estanques de Milla, Av. Don Tulio Febres Cordero, El Depósito, La Vuelta de Lola y La Hechicera. La población estimada en el norte de la ciudad es de aproximadamente, 113.100 habitantes.
2. Sur de la ciudad: conformado por las tuberías de las cinco zonas de presión restantes, las zonas III, IV, VIII, IX y X, que son las zonas de presión generadas por los estanques de Los Corrales, Urb. San José (Av. Los Próceres), La Pedregosa, Los Curos y La Parroquia. La población incluida en este grupo es de 87.000 personas, aproximadamente.

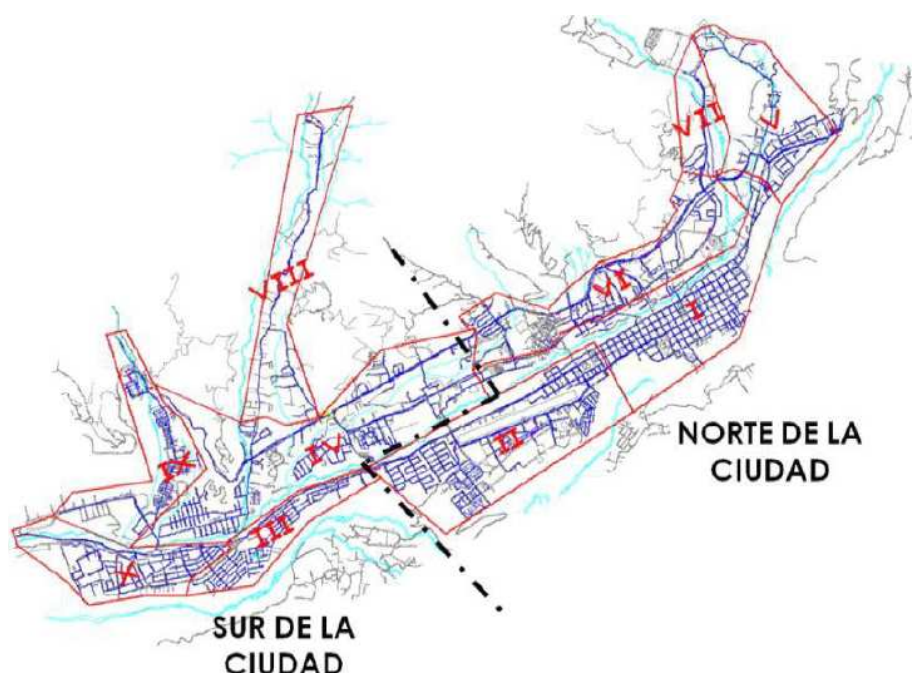


Figura 6-8. Distribución aproximada del sistema de acueductos de la ciudad de Mérida según las zonas de presión (Astorga, 2011).

Tabla 6-6: Sectorización del sistema de acueductos de la ciudad de Mérida (Astorga, 2011).

Zona de presión	Ubicación Estanque de almacenamiento	Capacidad (m ³)	Población aproximada	Algunos sectores involucrados	Ubicación general
I	Milla	4300	31500	Hoyada de Milla, Milla, Belén, Av. Universidad, todo el Casco Central de la ciudad, Las Heroínas, Cruz verde, Paseo de Las Ferias, Plaza el Llano, Parte de Av. Las Américas.	Norte de la Ciudad
II	Av. Don Tulio Febres Cordero	2500 2500	35500	Glorias Patrias, Av. Urdaneta, Mercado Periférico, Av. 16 de Septiembre, Santa Elena, Hospital, Campo de Oro, El Encanto, Parte alta de Av. Andrés Bello, Santa Juana, Las Delias, San Antonio.	
V	La vuelta de Lola	1200 600	21600	Vuelta de Lola, Parte alta de Av. Universidad, Hoyada de Milla, Chorros de Milla, La Milagrosa, Santa María Norte y Sur.	
VI	El Depósito	1800 1700	18500	Parte Alta Av. Los Próceres, Sta. Ana, Sta. Anita, Residencias Domingo Salazar, Av. Las Américas, El Campito, Alto Prado, El Caucho, Mercado Principal, San José, Av. Cardenal Quintero, Los Sauzales, El Rodeo.	
VII	La Hechicera	1000	6000	La hechicera hasta conexión con Av. Los Próceres	
III	Los Corrales	2000	26000	Av. Andrés Bello, Las Tapias, La Sabana, La Estancia, Carrizal B	Sur de la Ciudad
IV	Urb. San José	4000	35000	Av. Los Próceres, Parte Baja de Av. Las Américas, Humboldt, Belensate, La Mata, La Linda, La Floresta, Santa Bárbara.	
VIII	La Pedregosa	180 1000	5500	La Pedregosa alta y media	
IX	Los Cursos	1200	14000	Los Cursos	
X	La Parroquia	2000	6500	Carrizal A, La Parroquia, Alto Chama, La Mara, Zumba	

Una vez realizada dicha sectorización, Astorga efectuó el conteo de los distintos tipos de tubería presentes en cada zona de presión, obteniendo la longitud de cada tramo de tubería en función del tamaño de su diámetro y de su material. Luego, se aplicó la metodología propuesta en PAHO (1998) para obtener el número de roturas en tubería en las diferentes zonas de presión y para distintas intensidades (Ver Figura 6-9).

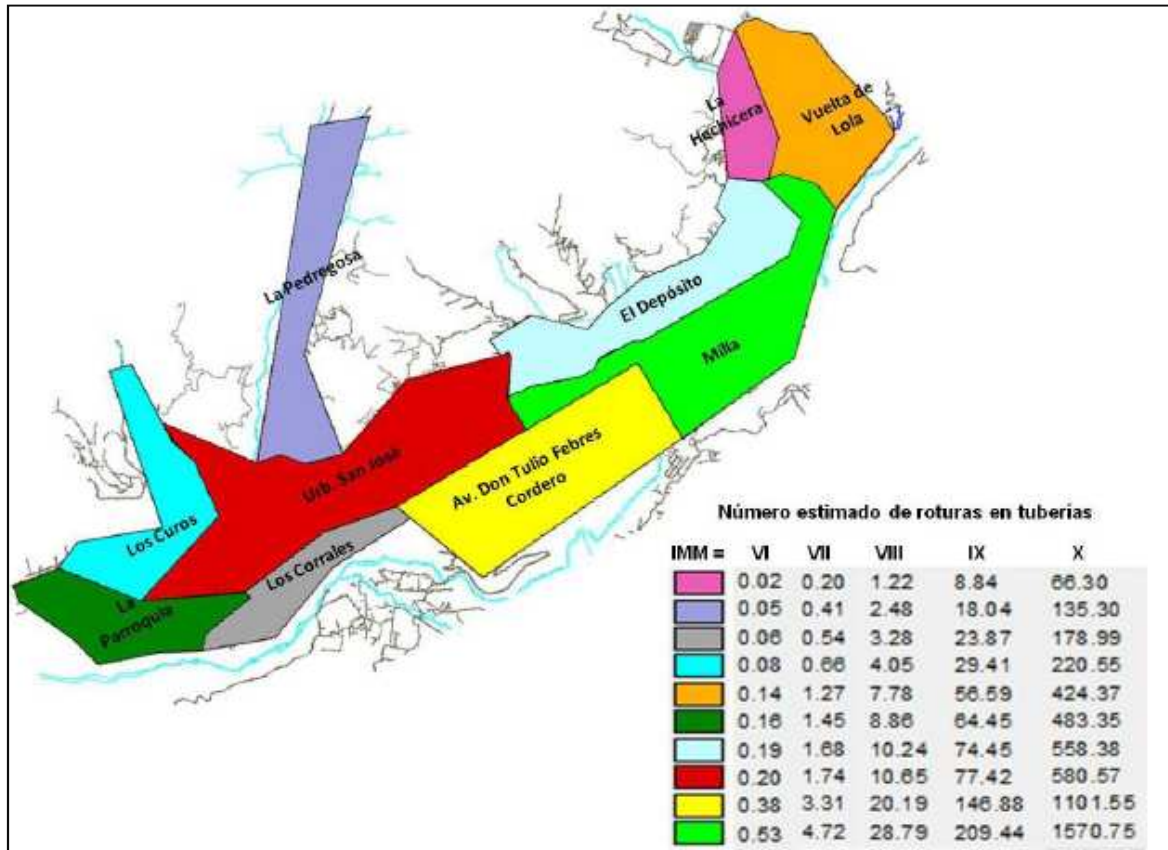


Figura 6-9. Número estimado de roturas en tuberías para las 10 zonas de sectorización del sistema de acueducto de la ciudad de Mérida para distintas intensidades sísmicas según Astorga (2011).

En base al estudio de Astorga (2011), en esta investigación se realizó una correspondencia entre las diez zonas de presión y las parroquias de la ciudad de Mérida (Tabla 6-7), y se estimó el descriptor de riesgo físico *daño en el sistema de agua potable*, en roturas por kilómetro, en las diferentes parroquias para las dos intensidades sísmicas VIII y IX (Ver Tabla 6-8). En la Tabla 6-7 el valor de porcentaje se refiere a la distribución de roturas por tubería de la zona de presión que le corresponde a cada parroquia.

Tabla 6-7: Porcentaje de roturas de tuberías de agua por zonas de presión y parroquias que contienen.

Zona de presión	Número de Parroquias que la contienen	Parroquia
I	4	Sagrario (40%), Llano (30%), Milla (10%), Arias (20%),
II	3	Domingo Peña (55%), Juan Rodríguez Suárez (35%), Llano (10%)
V	1	Milla (100%)
VI	2	Antonio Spinetti Dini (50%), Mariano Picón Salas (50%)
VII	1	Antonio Spinetti Dini (100%)
III	1	Juan Rodríguez Suárez (100%)
IV	4	Caracciolo Parra (50%), Lasso de la Vega (20%), Mariano Picón Salas (20%), Osuna Rodríguez-La Mata- (10%),
VIII	1	Lasso de la Vega (100%)
IX	1	Osuna Rodríguez -Los Curos-(100%)
X	1	Juan Rodríguez Suárez (100%)

Tabla 6-8: Daño en el sistema de agua potable (en roturas/km) por parroquias para las intensidades de VIII y IX.

Parroquia	Roturas / km	
	VIII	IX
Antonio Spinetti Dini	4.5	26.5
Arias	1.8	13.6
Caracciolo Parra Pérez	1.5	25.5
Domingo Peña	2.75	20.9
El Llano	4.45	33.7
Juan Rodríguez Suárez	7.5	82.8
Lasso de la Vega	1.6	17.2
Mariano Picón Salas	4.1	17.7
Milla	6.9	13.8
Osuna Rodríguez	1.3	15.1
Sagrario	3.6	27.2

En la Figura 6-10 se muestra en un mapa el descriptor daño en el sistema de agua potable por parroquia para la intensidad de IX. Las parroquias que presentaron un mayor valor de este descriptor son El Llano y Juan Rodríguez Suárez (mayor a 30 roturas por kilómetro).

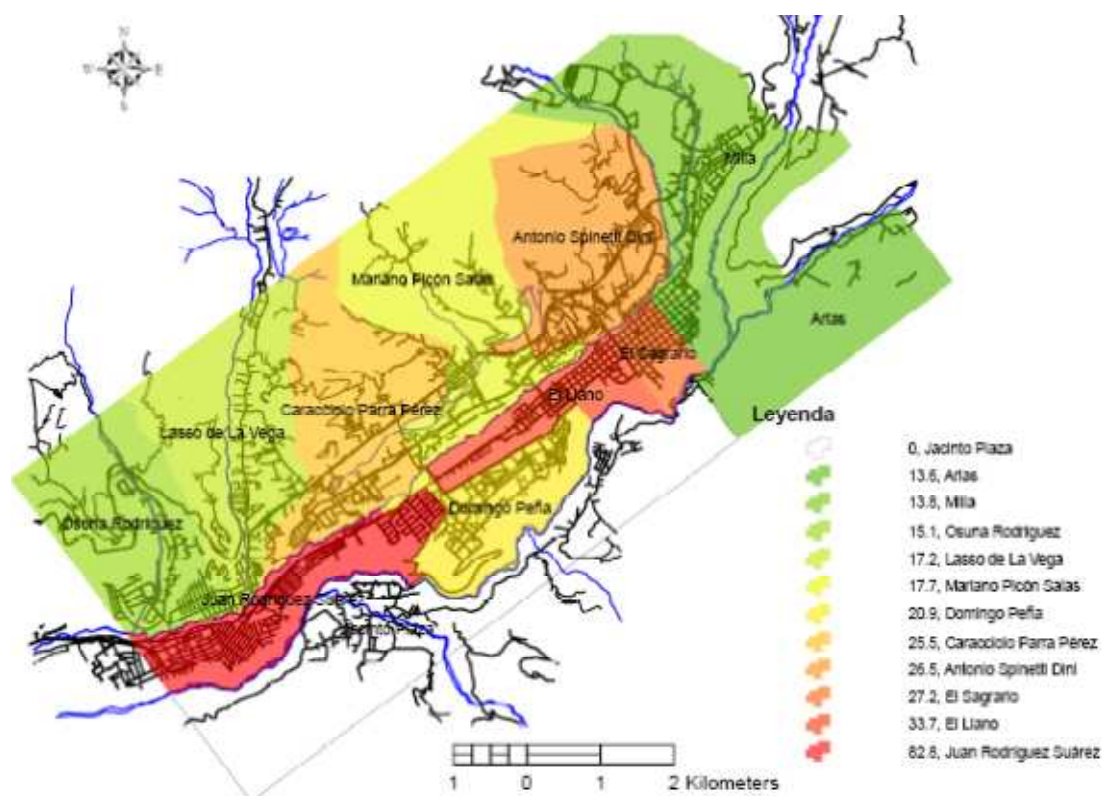


Figura 6-10. Número de roturas por kilómetro de longitud de tubería para un escenario de intensidad IX.

Daño medio en el sistema de vialidad

El *daño medio del sistema de vialidad* en cada parroquia de la ciudad de Mérida; para lo cual, se categorizaron los diferentes sistemas de la vialidad urbana, en base a Hazus-99 (FEMA, 1999).

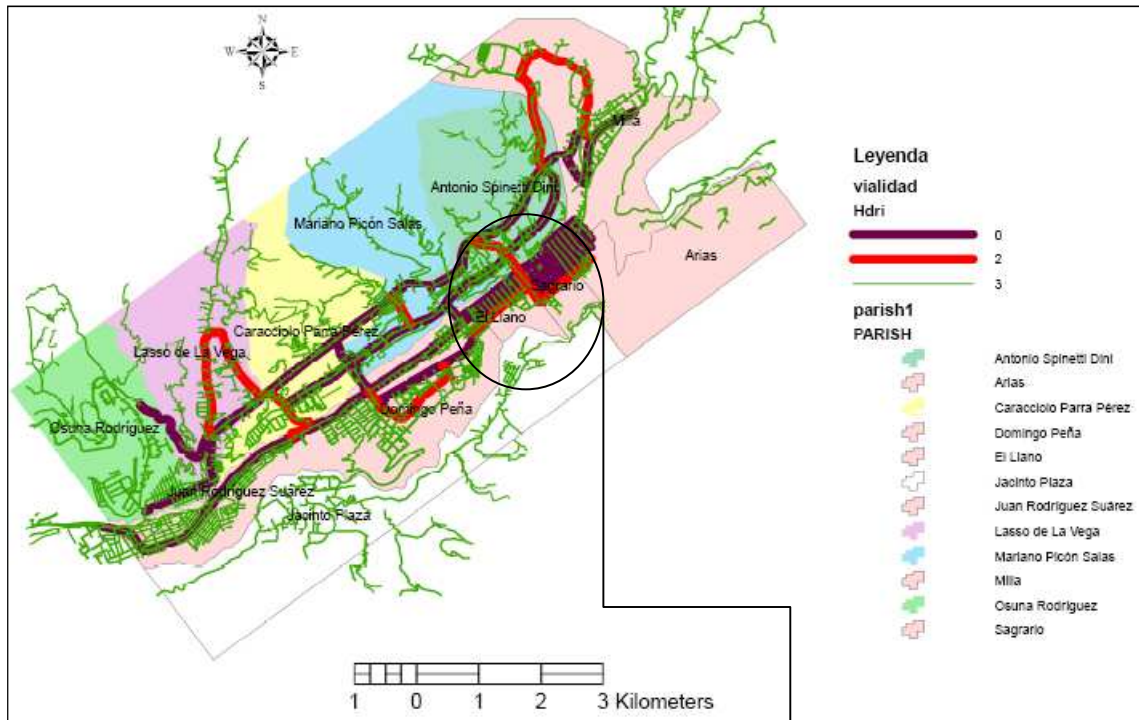
En Mérida-Venezuela se entiende por Red Urbana la infraestructura que enlaza los diferentes sectores del Área Metropolitana (centros poblados de: Tabay, Mérida y Ejido) (Alcaldía de Mérida, 2002), bien sea para el tránsito de Vehículos o de Peatones. En este caso se centra en la red para el tránsito de vehículos, la cual está constituida por los sistemas: arterial, colector y local. En la Tabla 6-9 se muestra la correspondencia de la caracterización de los componentes de la red urbana de la ciudad de Mérida con los componentes de vialidad dados en Hazus-99 (FEMA, 1999).

Tabla 6-9: Sistemas de vialidad de la ciudad de Mérida-Venezuela.

Sistema de la vialidad urbana (Alcaldía de Mérida, 2002)	Características generales	Categorización basada en Hazus-99 (FEMA, 1999).
Sistema Arterial	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Vías Arterias. ❖ Aquel que sirve a los viajes interurbanos y urbanos de mediana longitud. ❖ Sus vías ofrecen un alto nivel de tránsito. ❖ Alimenta la ciudad con el flujo proveniente de otras ciudades, a través del sistema carretero Nacional. ❖ Vialidad arterial: Es la que permite comunicación entre las vías colectoras y las vías expresas. 	<p><i>(Hrd1):</i> <i>Freeways,</i> <i>arterial streets</i> <i>(Hrd2):</i> <i>Secondary</i> <i>arterial,</i> <i>collectors, local</i> <i>streets</i></p>
Sistema Colector	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Vías Colectoras. ❖ Es aquel cuya función esencial es la de completar e integrar los sistemas básicos, relacionando los viajes generados en el sector con el resto del sistema principal. ❖ Conecta la red arterial y local. ❖ Es la que garantiza la conexión de las zonas residenciales, a través de las vías locales con otros sectores de la ciudad. Vía para conducir el tráfico de las vías locales a las arteriales o a sectores vecinos. 	<p><i>(Hrd2):</i> <i>Secondary</i> <i>arterial,</i> <i>collectors, local</i> <i>streets</i></p>
Sistema Local	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Vías Locales principales. ❖ Sus vías ofrecen un medio o bajo nivel de tránsito. ❖ Alimenta a los colectores ❖ Vialidad Local: Se refiere a las vías de acceso a las propiedades o edificaciones. 	<p><i>(Hrd2):</i> <i>Secondary</i> <i>arterial,</i> <i>collectors, local</i> <i>streets</i></p>

La Figura 6-11, fundamentada en la información de la Tabla 6-9, indica la caracterización de la vialidad matriz de la ciudad de Mérida, en términos generales: morado (0) para las vías arteriales –Avenidas-; rojo (2) para las vías colectoras y verde (3) para las vías locales. En la Figura 6-11b se muestra la toponimia de algunas vías de la ciudad.

a)



b)

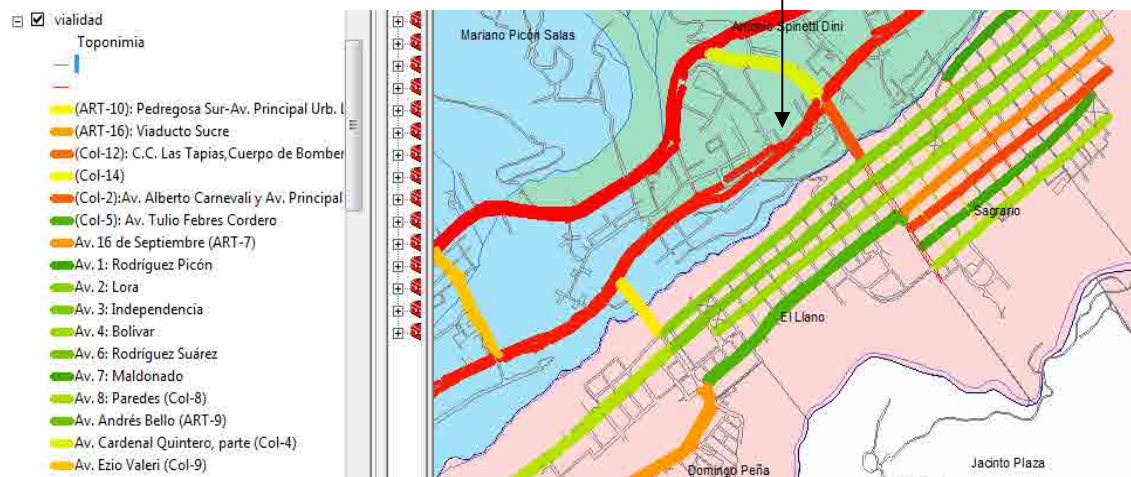
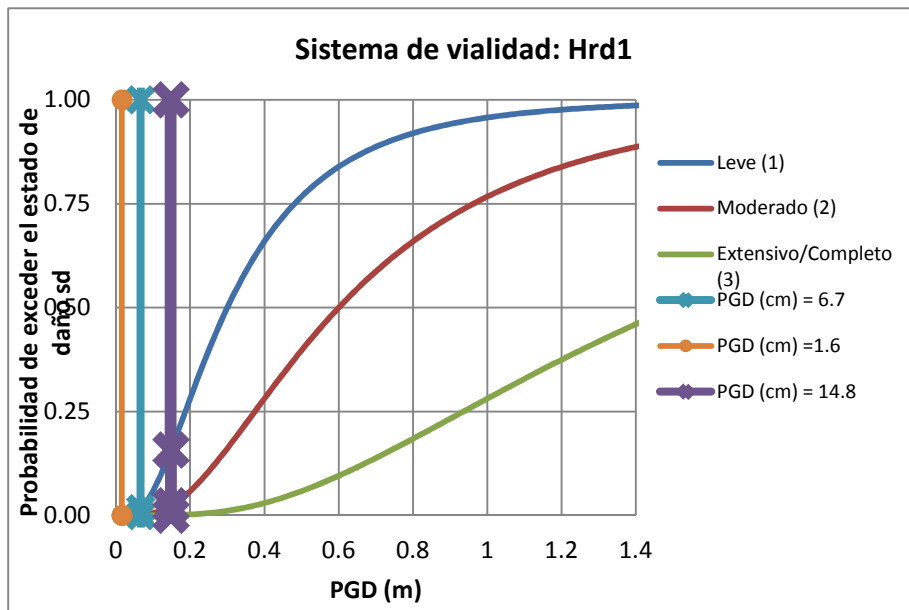


Figura 6-11. Categorización de la vialidad matriz de la ciudad de Mérida-Venezuela. 0: Avenidas, 2: vías colectoras, 3: vías locales.

El daño medio por cada tipo de vialidad (Hrd1 y Hrd2) se obtiene, para cada uno de los niveles de movimiento del suelo (PGD), como una media de la probabilidad del estado de daño sd (Tabla 6-10), la cual se obtiene a partir de las curvas de fragilidad, que se desarrollan de manera general para cada tipo de componente del sistema de vialidad (FEMA, 1999). Las curvas de fragilidad describen el comportamiento de la probabilidad de alcanzar o superar cada estado de daño para un PGD dado. Los diferentes valores de movimiento en el suelo PDG de las diferentes zonas del caso de estudio, para las intensidades VIII y IX, se

obtuvieron de Castillo (2005). Los valores de la probabilidad de exceder el estado de daño sd se obtienen en las ordenadas de la Figura 6-12 entrando en las abscisas con los valores de PGD. Para los tipos de vialidad (Hrd1 y Hrd2) sd toma valores de: 0 para el estado de daño nulo -*none*-, 1 para el estado leve -*sligt/minor*-, 2 para el moderado (2) -*moderate*- y 3 para los estados de daño extensivo y completo -*extensive/complete*- de Hazus (FEMA, 1999).

a)



b)

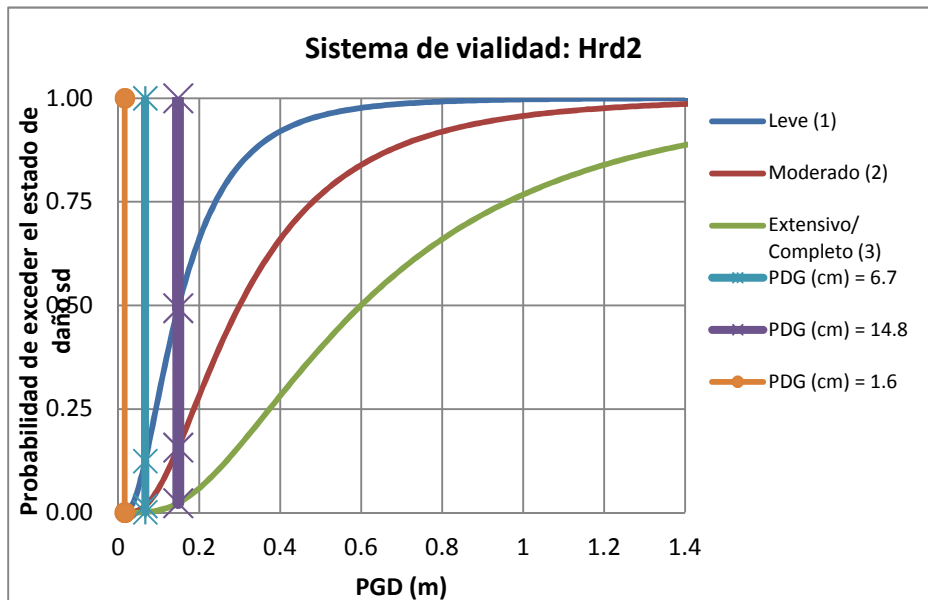


Figura 6-12. Curvas de Fragilidad para a) Vías Arteriales Principales (Hrd1) y b) Vías arteriales secundarias, vías colectoras y vías locales (Hrd2).

Tabla 6-10: Probabilidades para el estado de daño sd para vialidad tipo Hrd1 y Hdr2.

Intensidad	PGD (cm) para diferentes zonas (Castillo, 2005)	Probabilidad para el estado de daño sd P(sd=di)				Daño Medio (Hrd1)
		Nulo (sd=0)	Leve (sd=1)	Moderado (sd=2)	Extensivo/ Completo (sd=3)	
VIII	0.4459	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
VIII	6.689	0.9840	0.0151	0.0009	0.0000	0.0169
IX	0.494	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
IX	1.6477	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
IX	14.8292	0.8429	0.1341	0.0225	0.0005	0.1805
Intensidad	PGD (cm) para diferentes zonas (Castillo, 2005)	Probabilidad para el estado de daño sd P(sd=di)				Daño Medio (Hrd2)
		Nulo (sd=0)	Leve (sd=1)	Moderado (sd=2)	Extensivo/ Completo (sd=3)	
VIII	0.4459	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
VIII	6.689	0.8757	0.1083	0.0152	0.0009	0.1400
IX	0.494	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
IX	1.6477	0.9992	0.0008	0.0000	0.0000	0.0000
IX	14.8292	0.5065	0.3364	0.1342	0.0229	0.6700

Así, el descriptor de *daño medio en el sistema de vialidad*, se estableció como un promedio ponderado de los daños medios en función de la longitud afectada por cada PDG dada una intensidad sísmica. La longitud afectada de cada tipo de vialidad por el valor de PGD, correspondiente a cada una de las intensidades en estudio (VIII y IX). Esto se hizo en concordancia con los siguientes niveles de daño: *Nulo* (si $D_m \leq 0.50$), *Leve* (si $0.5 < D_m \leq 1.5$), *Moderado* (si $1.5 < D_m \leq 2.5$) y, *Excesivo/ Completo* (si $2.5 < D_m \leq 3.0$). Luego este procedimiento se repitió para ambas intensidades sísmicas; en general, el daño medio del sistema de vialidad resultó ser un valor mucho menor a 0.50.

6.1.2.3 Estimación de víctimas para diferentes escenarios sísmicos

En esta investigación se ha considerado conveniente el modelo de Risk-UE para determinar las cantidades de víctimas (fallecidos, heridos y personas que se quedan sin hogar) dado que, para la zona en estudio, se cuenta con los datos básicos que este modelo requiere, y porque la zona presenta una peligrosidad sísmica moderada (COVENIN, 2001).

Fallecidos y Heridos

Para estimar el número de fallecidos y heridos para una intensidad de VIII y IX se emplea la propuesta por Coburn y Spence (1992) (ver ecuación 2.7); estableciendo cada uno de los parámetros siguientes:

El parámetro M_1 : número de personas que residen en cada edificación, se obtuvo multiplicando el número promedio de niveles o plantas de tipología de edificación por el número promedio de personas que conforma una familia en Venezuela, 4.3 personas/familia (INE, 2001).

El parámetro M_2 : porcentaje de ocupación en cada edificio. Se estableció considerando que las edificaciones de la zona urbana de la ciudad de Mérida, tienen un uso residencial y que el evento sísmico ocurre en la condición más desfavorable, a media noche, su valor es $M_2 = 0.80$.

El parámetro M_3 : porcentaje de ocupantes del edificio que quedan atrapados por su colapso, depende de la amenaza sísmica, tipo de material de la edificación y su resistencia a las acciones sísmicas; por ello, por tipología y para cada escenario de intensidad sísmica el parámetro M_3 toma diferentes valores (Tabla 6-11).

Los parámetros M_4 y M_5 permiten estimar la distribución de los diferentes tipos de víctimas (Tabla 6-11). M_5 representa la mortalidad post-terremoto, es decir, tendrá valor nulo para la estimación de víctimas tipo heridos y mayores a cero para la estimación de víctimas tipo fallecidos.

Tabla 6-11: Parámetros para estimar víctimas para el caso de estudio a media noche ($M_2=0.80$).

Tipología de edificación	Parámetro M_3		Parámetro M_4				Parámetro M_5	
	Intensidad sísmica VIII	Intensidad sísmica IX	Fallecidos	Heridos severos	Heridos que requieren hospitalización	Heridos Leves	para personas fallecidas post-terremoto	Para cualquier tipo de herido
Rancho (R)	0.30	0.60	0.10	0.20	0.30	0.40	0.60	0
Adobe (M2)	0.30	0.60	0.15	0.25	0.30	0.30	0.60	0
NENG-RC, RC3.1, RC3.2, RC5	0.50	0.60	0.40	0.10	0.40	0.10	0.90	0
S1	0	0	0	0	0	0	0	0

El parámetro C: número de edificios colapsados, se obtuvo de multiplicar el número de edificios de la tipología de edificación considerada por la correspondiente probabilidad de colapso, definida en la Tabla 6-4, considerando los efectos locales de suelo según sea el caso.

En la Figura 6-13 se presenta por parroquia el total de personas que fallecerían y las personas heridas de diferente gravedad para una intensidad de VIII, se destaca que las

víctimas en las parroquias Juan Rodríguez Suárez, Lasso de la Vega y Mariano Picón Salas son mucho menores a las víctimas de las otras parroquias.

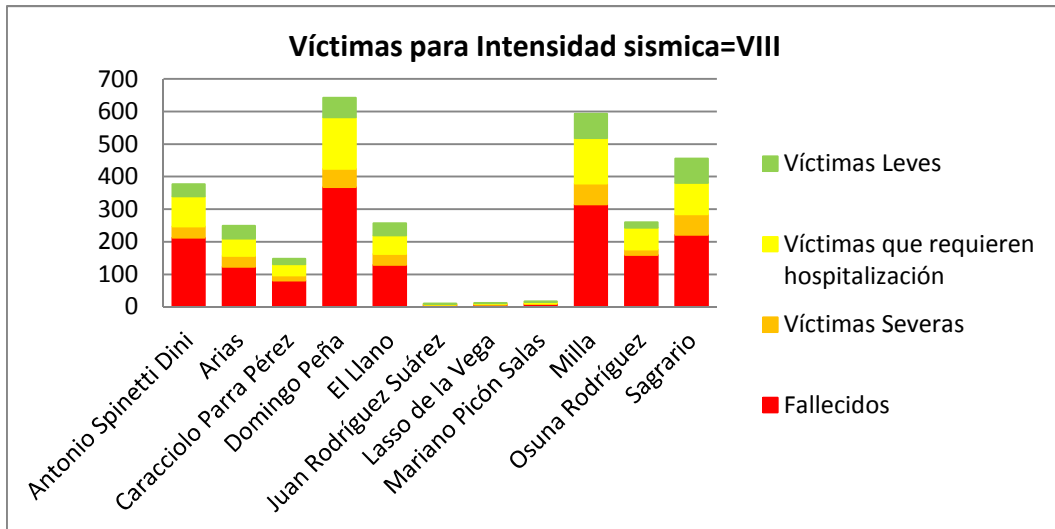


Figura 6-13. Distribución de víctimas por parroquia para una intensidad de VIII.

En la Figura 6-14 se presenta el total de personas que fallecerían y las personas heridas de diferente gravedad para una intensidad de IX. Se observa que las víctimas en las parroquias Domingo Peña y Milla son mucho mayores que en el resto de parroquias.

El total de víctimas para la ciudad de Mérida obtenido para un escenario de intensidad IX es aproximadamente seis veces más grande que el total de víctimas obtenidas para el escenario de intensidad VIII.

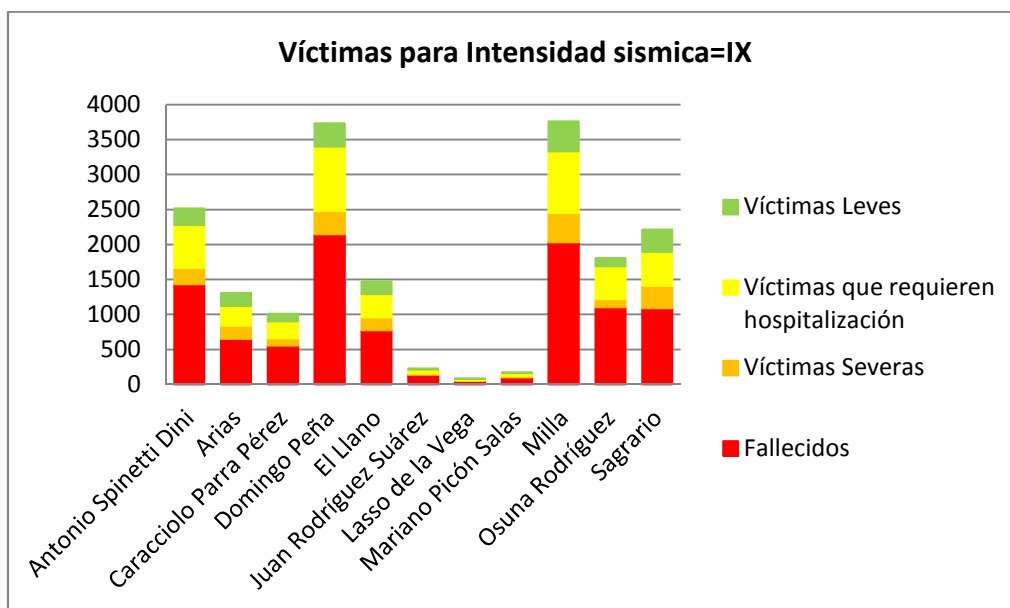


Figura 6-14. Distribución de víctimas por parroquia para una intensidad de IX.

En la Tabla 6-12 se presenta, por parroquia estudiada de la ciudad de Mérida, los descriptores de riesgo físico que dan cuenta de las víctimas: Fallecidos y Heridos. Se observa que el número de fallecidos para una intensidad sísmica de VIII es, en casi todas las parroquias de la ciudad de Mérida, menor a 25 fallecidos por cada mil habitantes. Sin embargo, una sola parroquia (Sagrario) sobrepasa ligeramente ese límite. Para intensidad de IX en la mayoría de las parroquias de la ciudad (7 de 11), dicho descriptor es mayor a 50 fallecidos cada mil habitantes.

Por otra parte, para el número heridos para una intensidad de VIII en todas las parroquias de la ciudad presenta un comportamiento similar, es decir es menor a 37.5 heridos por cada mil habitantes. Mientras que, para una intensidad de IX no se presenta un comportamiento uniforme en el número de heridos, en algunas parroquias (2 de 11) el valor del descriptor fue mayor a 75 heridos por cada mil habitantes, en varias parroquias (4 de 11) el valor fue menor 37.5‰ y en el resto de las parroquias (5 de 11) el valor del descriptor estuvo en el rango comprendido desde 37.5‰ hasta 75‰. De allí que, no siempre exista una tendencia uniforme en los descriptores de riesgo físico asociados a víctimas.

Tabla 6-12: Descriptores de riesgo físico sísmico Fallecidos y Heridos por parroquias de la ciudad de Mérida-Venezuela para las intensidades sísmicas de VIII y IX.

Parroquia	Descriptor de riesgo físico sísmico			
	Fallecidos (‰)		Heridos (‰)	
	VIII	IX	VIII	IX
Antonio Spinetti Dini	8.0	54.0	6.2	41.1
Arias	9.1	48.3	9.4	48.8
Caracciolo Parra Pérez	7.6	52.0	6.3	43.1
Domingo Peña	17.4	101.3	12.9	74.9
El Llano	13.0	77.6	12.9	70.5
Juan Rodríguez Suárez	0.4	9.1	0.3	6.0
Lasso de la Vega	0.6	4.1	0.4	2.9
Mariano Picón Salas	0.6	6.5	0.5	5.0
Milla	15.1	97.4	13.3	82.8
Osuna Rodríguez	8.2	57.0	5.2	36.4
Sagrario	33.3	164.1	35.2	169.0

Personas que se quedan sin hogar

En esta investigación, para cada una de las parroquias estudiadas en la ciudad de Mérida, se estima el número de personas que se quedan sin hogar (*homeless*) por cada tipología de edificación mediante la ecuación 2-8 (Vacareanu et al., 2004; Lantada, 2007). Y con la ecuación 2-9 se estima el número total de personas que se quedan sin hogar en cada parroquia de la ciudad.

Se consideró que el número de personas por vivienda en el edificio i de la tipología t es similar al parámetro M_1 de la ecuación 2-7. También, se consideró por tipología de edificación la probabilidad $Pit(severo)$ como la probabilidad de daño de grado 3 ($DG3$) y a $Pit(completo)$ como la suma de la probabilidad de daño de grado 4 ($DG4$) y de grado 5 ($DG5$) (Ver Tabla 6-4), debido a la correspondencia de estados de daño expresada en la Tabla 2-2. Y así, para cada una de las intensidades sísmicas consideradas (VIII, y IX), se estima que las viviendas que quedan no habitables son el 100% de las que sufren daño completo y el 90% de las que sufren daño severo.

Luego, por parroquia y por intensidad sísmica, se obtiene el descriptor de riesgo físico sísmico asociado a las personas que se quedan sin hogar en ‰ habitantes.

En la Figura 6-15 se muestra la distribución de personas que se quedan sin hogar en las parroquias de la ciudad de Mérida para la intensidad sísmica de VIII y IX. Se observa que la cantidad de personas que se quedan sin hogar para una intensidad sísmica de IX es, aproximadamente, dos veces el valor obtenido para una intensidad de VIII.

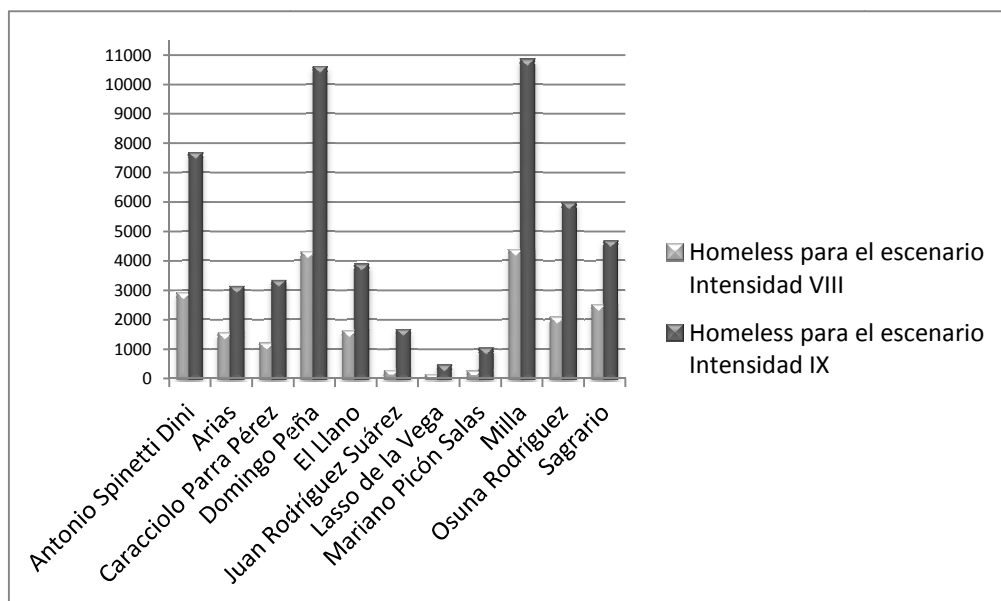


Figura 6-15. Cantidad total de personas que se quedan sin hogar (*Homeless*) para la intensidad sísmica VIII y IX.

Para el escenario de intensidad sísmica VIII, aproximadamente el 12% de la población quedaría sin hogar, mientras que, para una intensidad de IX la cantidad asciende a un 30% de la población analizada.

En la Figura 6-16 se observa que para un escenario de intensidad VIII en la mayoría de las parroquias (7 de 11) el descriptor presenta un valor menor a 150 personas por cada mil habitantes (150‰) que quedarían sin hogar. Mientras que, para una intensidad de IX la tendencia es que el descriptor es mayor que 150 ‰ en 8 de 11 parroquias.

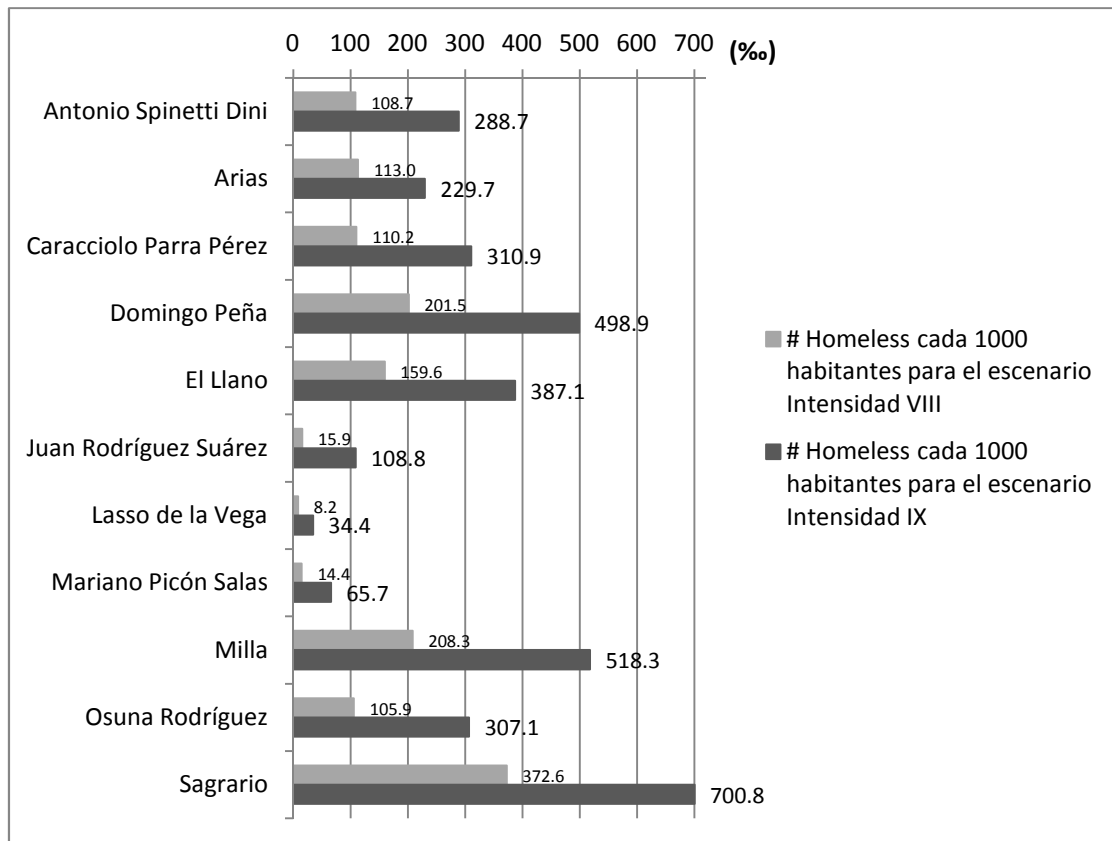


Figura 6-16. Descriptor de riesgo físico sísmico asociado a las personas que se quedan sin hogar (Homeless) por parroquias de la ciudad de Mérida-Venezuela, para intensidades de VIII y IX.

6.1.2.4 Índice de riesgo físico por parroquia

Una vez estimados los diferentes daños físicos de los elementos expuestos en las parroquias de la ciudad de Mérida, éstos se convierten en factores contribuyentes del riesgo físico sísmico empleando las correspondientes funciones de transformación (Ver Figuras 2.10 y 3.3). Posteriormente, aplicando la ecuación 3-1, y los pesos de participación dados en la Tabla 3-2, se obtienen los valores del índice de riesgo físico sísmico.

En la Tabla 6-13 se presenta, por parroquia (ver filas de la tabla), para un escenario de intensidad sísmica IX, por una parte, cada uno de los seis factores contribuyentes al riesgo

físico sísmico (ver columnas desde 2 hasta 7) y, por otra parte, los valores numéricos del riesgo sísmico físico (R_{Fi}) (ver columna 8) y la etiqueta lingüística correspondiente a cada nivel de R_{Fi} (ver columna 9). Se destaca que cinco parroquias presentan nivel *muy alto* (celdas de color rojo) para el riesgo físico sísmico: Arias, Domingo Parra, El Llano, Milla, y Sagrario. Mientras que las tres parroquias Antonio Spinetti Dini, Caracciolo Parra Pérez y Osuna Rodríguez, presentan nivel *alto* de R_{Fi} . El resto de las parroquias presentan nivel *bajo* para el riesgo físico sísmico.

Tabla 6-13: Factores contribuyentes al riesgo sísmico físico para un escenario de intensidad IX en las parroquias de la ciudad de Mérida-Venezuela.

Parroquia	Factor contribuyente al R_{Fi} asociado al descriptor de daño:						R_{Fi}	Nivel
	Área destruida	Fallecidos (escenario máximo)	Heridos (escenario máximo)	Personas que se quedan sin hogar	Daño en el sistema de agua potable	Daño medio en vialidad		
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6		
Antonio Spinetti Dini	0.877	1.000	0.591	0.997	1.000	0.000	0.778	Alto
Arias	1.000	0.998	0.756	0.890	1.000	0.000	0.833	Muy Alto
Caracciolo Parra Pérez	0.316	1.000	0.637	1.000	1.000	0.000	0.626	Alto
Domingo Peña	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.900	Muy Alto
El Llano	0.840	1.000	0.993	1.000	1.000	0.000	0.852	Muy Alto
Juan Rodríguez Suárez	0.009	0.066	0.013	0.263	1.000	0.000	0.153	Bajo
Lasso de la Vega	0.043	0.013	0.003	0.026	1.000	0.000	0.119	Bajo
Mariano Picón Salas	0.016	0.034	0.009	0.096	1.000	0.000	0.125	Bajo
Milla	0.912	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.875	Muy Alto
Osuna Rodríguez	0.974	1.000	0.470	1.000	1.000	0.000	0.781	Alto
Sagrario	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.900	Muy Alto
Ciudad de Mérida							RF = 0.648	Alto

La Figura 6-17 muestra el riesgo físico sísmico (R_{Fi}) para cada una de las parroquias de la ciudad en dos escenarios sísmicos (intensidad VIII y IX). Las barras de color rosado, representan los valores del R_{Fi} para un sismo de intensidad VIII -RF(VIII)-, mientras que las barras de color gris lo hacen para un sismo de intensidad IX -RF(IX)-. Adicionalmente, los niveles de riesgo físico, descritos lingüísticamente y en mediante límites numéricos, se delimitan mediante franjas verticales de colores, que se corresponden con los niveles que se indican en la parte inferior de la figura. El nivel muy bajo, está representado por el color azul claro; el bajo, por el color verde; el medio, por el color amarillo; el alto, por el color naranja y el muy alto, por el color rojo.

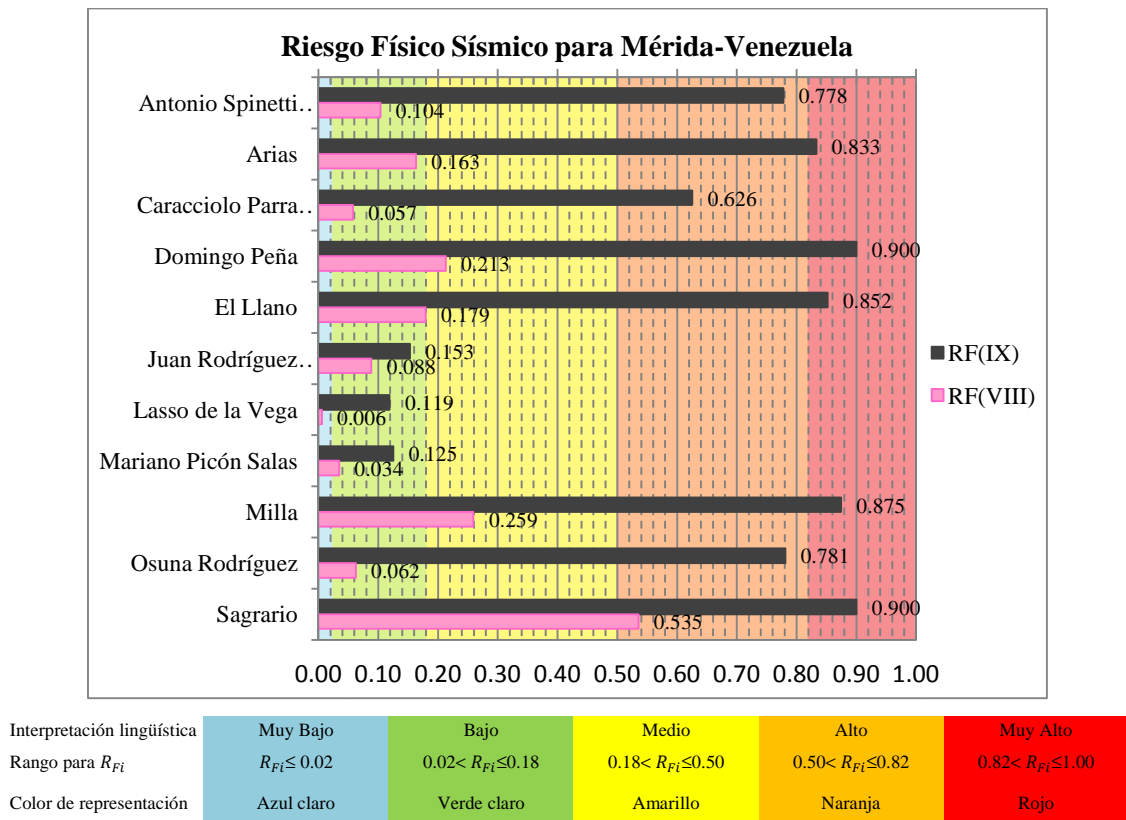


Figura 6-17. Riesgo físico sísmico para los escenarios de intensidad sísmica: VIII y IX.

En esta Figura 6-17 se puede apreciar que el nivel de riesgo físico sísmico para el escenario de intensidad IX presenta valores mucho mayores que para el escenario de intensidad VIII, excepto en Mariano Picón Salas, Lasso de la Vega y Juan Rodríguez Suárez. El riesgo físico sísmico subió por lo menos dos niveles en casi todas las parroquias. Es de destacar que en las parroquias Arias y El Llano se pasa de un nivel de riesgo físico sísmico de nivel bajo a uno de nivel muy alto.

6.1.3 EVALUACIÓN DEL CONTEXTO SOCIAL

Para el caso de estudio, se hizo una revisión bibliográfica para conocer los indicadores sociales de las parroquias de la ciudad de Mérida. Se obtuvo información de diferentes observadores urbanos para establecer numéricamente 11 indicadores de los 13 indicadores sociales predominantes propuestos en la metodología. Como se indica en la Tabla 6-14 los indicadores 10 (O1) y 16 (F2) no aplican al caso de estudio, ya que la información disponible para la fecha de estudio no permite establecer numéricamente dichos indicadores.

Tabla 6-14: Indicadores sociales existentes en el caso de estudio.

Código	Nº	Nombre del Indicador	Condición del indicador
V1	1	Área suficiente para vivir	A
V2	2	Estado de las viviendas	A
DS5	7	Hogares pobres	A
DS6	8	Tasa de alfabetización	A
O1	10	Crecimiento de los asentamientos espontáneos	N/A
O2	11	Nivel de ordenamiento urbano	A
O3	12	Proporción viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo	A
G1	13	Índice de gestión de riesgo (IGR, DRM)	A
F1	15	Camas hospitalarias	A
F2	16	Recursos humanos en salud	N/A
F3	17	Personal de socorro	A
D1	19	Densidad de población	A
D2	20	Crecimiento población urbana	A

A: Aplica y existen datos para el caso de estudio; N/A: No aplica porque no se encontró datos para el caso de estudio.

Para el caso de estudio se tiene en cuenta con información de diferentes fuentes:

- ✓ Institutos de Estadística INE de Venezuela (INE, 2001).
- ✓ Grupo de Bomberos de la ciudad de Mérida, censo interno.
- ✓ La Corporación de los Andes (CORPOANDES), en el marco del proyecto Nacional (de Venezuela) Simón Bolívar, que llevó a cabo el proyecto Sistema de información Geográfica de la Región de los Andes (SIGRA) a objeto de recabar, organizar, actualizar y generar información estadística y cartográfica de los distintos aspectos socioeconómicos de los estados Táchira, Mérida y Trujillo (SIGRA, 2008).
- ✓ Expertos locales en gestión de riesgo.
- ✓ Información de diversas investigaciones locales (entre otros, INGEOMIN, 2010; Ramírez y Saito, 2011; Rebotier, 2006).

Con el Dossier 2008 del municipio Libertador de Mérida se pueden obtener datos estadísticos útiles de variables que permitan cuantificar la vulnerabilidad social de la ciudad de Mérida (SIGRA, 2008). De los cuales se destacan, entre otros:

- Las tasas de natalidad y mortalidad general e infantil,
- El número de camas por nivel de atención del municipio en hospitales y por clínicas privadas.

- Distribución de los establecimientos médico asistenciales de acuerdo a su clasificación.
- Matrícula por niveles educativos del municipio Libertador para el año 2007-2008
- Acueductos rurales y urbanos
- Datos estadísticos de seguridad ciudadana, por ejemplo delitos cometidos.

Adecuando la metodología propuesta para estimar el coeficiente de agravamiento en el caso de estudio, se establece que el número de factores contribuyentes al agravamiento es 11 ($n = 11$). Los pesos de participación ($w_{F_{indicador_j}}$) se establecen aplicando el proceso analítico jerárquico a los 11 factores contribuyentes empleando la matriz de comparación de pares de la Tabla 6-15, consiguiendo una relación de consistencia aceptable ($CR=0.0837$). Ver Tabla 6-16.

Tabla 6-15: Matriz de comparación de pares para once factores contribuyentes al agravamiento que definen el contexto social del caso de estudio.

		C1		C2		C3		C4	C5		C6	
		F(V1)	F(V2)	F(DS5)	F(DS6)	F(O2)	F(O3)	F(G1)	F(F1)	F(F3)	F(D1)	F(D2)
C1	F(V1)	1	0.5	1	4	1	1	1	3	3	1	2
	F(V2)	2	1	3	4	0.5	0.5	0.5	1	1	1	2
C2	F(DS5)	1	0.33	1	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	0.33	1
	F(DS6)	0.25	0.25	2	1	0.33	0.5	1	1	1	0.5	3
C3	F(O2)	1	2	2	3	1	1	0.5	2	1	1	2
	F(O3)	1	2	2	2	1	1	1	0.5	0.5	2	3
C4	F(G1)	1	2	2	1	2	1	1	3	2	2	2
C5	F(F1)	0.33	1	1	1	0.5	2	0.33	1	3	1	1
	F(F3)	0.33	1	1	1	1	2	0.5	0.33	1	1	1
C6	F(D1)	1	1	3	2	1	0.5	0.5	1	1	1	3
	F(D2)	0.5	0.5	1	0.33	0.5	0.33	0.5	1	1	0.33	1

Tabla 6-16: Pesos de participación ($w_{F_{indicador_j}}$) de los factores contribuyentes al agravamiento.

Factor asociado al Indicador j	F(V1)	F(V2)	F(DS5)	F(DS6)	F(O2)	F(O3)	F(G1)	F(F1)	F(F3)	F(D1)	F(D2)	F(D1)	F(D2)
$w_{F_{indicador_j}}$ $j=1, \dots, n=11$	0.122	0.106	0.054	0.065	n/a	0.110	0.109	0.135	0.084	n/a	0.074	0.093	0.048

En la Tabla 6-17 se presentan los valores numéricos de los 11 indicadores sociales predominantes disponibles para las parroquias que definen la ciudad de Mérida, Venezuela. En la última fila, de dicha tabla, se presenta la fuente de donde se estableció los valores numéricos de cada indicador social por parroquia.

Tabla 6-17: Valores de los indicadores sociales predominantes para el caso de estudio

Categoría	C1		C2		C3		C4	C5		C6	
Indicador	Indicador 1	Indicador 2	Indicador 7	Indicador 8	Indicador 11	Indicador 12	Indicador 13	Indicador 15	Indicador 17	Indicador 19	Indicador 20
Código del indicador	V1	V2	DS5	DS6	O2	O3	G1	F1	F3	D1	D2
Nombre del indicador	Área suficiente para vivir	Estado de las viviendas	Hogares pobres	Tasa de alfabetización	Nivel de ordenamiento	Proporción de viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo	Índice de gestión de riesgo	Camas hospitalarias	Personal de socorro	Densidad poblacional	Crecimiento población urbana
Unidad del indicador	Casos de viviendas con hacinamiento *1000 / Total de viviendas	(Viviendas con déficit de servicio/ total de viviendas)* 1000 viviendas	Viviendas pobres cada 1000 viviendas	Tasa de alfabetización %	Valor de 6-12, 6 indica que el nivel de ordenamiento territorial urbano es alto o de buena calidad; 12 indica que el nivel de ordenamiento territorial urbano es muy bajo	(Viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo /total de viviendas) * 100000 viviendas	Valor de 0-100, obtenido por entrevistas a expertos de la ciudad	Cama cada 1000 habitantes (pública y privada)	Bomberos*1000 habitantes /población	(hab/km ²)*10 ⁴	Tasa de crecimiento
Parroquia											
Antonio Spinetti Dini	69	67	154.06	97	9.5	974	34.55	2.21	0.74	1.50	0.89
Arias	94	81	193.27	95	9.5	2150	34.55	0.00	0.74	0.80	1.33
Caracciolo Parra Pérez	39	33	86.88	97	9.5	3524	34.55	0.24	4.62	0.70	5.82
Domingo Peña	57	2	105.71	96	9.5	1333	34.55	22.45	1.91	1.50	-1.01
El Llano	25	1	48.82	98	9.5	3703	34.55	8.11	1.91	1.10	-1.8
Juan Rodríguez Suárez	31	9	53.97	98	8.5	2292	34.55	1.51	1.86	0.60	-0.05
Lasso de la Vega	72	40	132.59	96	9.5	4963	34.55	0.00	4.62	0.60	2.57
Mariano Picón Salas	26	49	82.33	97	9	1951	34.55	3.37	4.62	1.70	-0.95
Milla	69	65	161.38	96	9.5	2426	34.55	1.06	0.74	1.20	-0.15
Osuna Rodríguez	84	12	130.52	96	10	5000	34.55	6.35	4.62	0.80	1.29
Sagrario	35	1	52.91	98	10	4718	34.55	0.00	1.91	1.50	-2.22
Fuente	Basado en Censo 2001	Basado en Censo 2001	Basado en Censo 2001	Censo 2001	Fuente Propia	Fuente Propia	Basado en instrumento para IGR de Carreño (2006), y opiniones de expertos locales	Basado en el Dossier 2008	Basado en el Censo interno del grupo de bomberos del municipio Libertador	Basado en Censo 2001 y Rebotier (2006)	Censo 2001

El indicador social *ordenamiento territorial* (O2), se obtiene dando respuesta a varias preguntas. Por ello, en esta investigación, se establecieron criterios propios para responder algunas de esas preguntas, como:

- a) *El porcentaje de edificaciones de baja calidad*, para responder ¿Se aplica los códigos de construcción en la mayoría de las edificaciones de la zona urbana? Así, si éste porcentaje estaba en un rango de 55% a 100% la respuesta es negativa, mientras que la respuesta es afirmativa si el porcentaje de edificaciones de baja calidad estaba en el rango de 0% a 5%, y la respuesta es parcial si el porcentaje estaba en el rango de 6% a 45%.
- b) *El porcentaje de edificaciones presentes en áreas susceptibles a movimientos en masa*, para responder por parroquia ¿Se ha cumplido el no construir en zonas de riesgo? Así, la respuesta es: negativa, si dicho porcentaje es de 55% a 100%; afirmativa, si el porcentaje es de 0%-5%; y parcial, si el porcentaje es de 6% a 45%.

Para las parroquias del caso de estudio, se consideró como edificaciones de baja calidad las tipologías R, M2 y NENG-RC. De allí que, para la base de edificaciones disponibles, las parroquias que han aplicado muy poco los códigos de construcción son: *Antonio Spinetti Dini, Arias, Domingo Peña, Milla, Osuna Rodríguez y Sagrario*. Mientras que, la parroquia *Juan Rodríguez Suárez*, si ha aplicado los códigos de construcción de manera aceptable. En las demás parroquias se ha aplicado parcialmente los códigos de construcción en las edificaciones (*Caracciolo Parra Pérez, El Llano, Lasso de la Vega, y Mariano Picón Salas*).

La mayoría de las parroquias de la ciudad de Mérida, presentan un nivel de ordenamiento de calidad regular (factor contribuyente al coeficiente de agravamiento asociado al indicador social nivel de ordenamiento mayor o igual a 0.30 - $F(O2) \geq 0.30$ -). Las parroquias que presentan mejor ordenamiento territorial son: *Juan Rodríguez Suárez* ($F(O2)=0.056$) y *El Llano* ($F(O2)=0.125$).

Con base en el mapa de susceptibilidad propuesto por Ramírez y Saito (2011) para movimientos de masa se estimó el *porcentaje de viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo* (O3) (Figura 6-18).

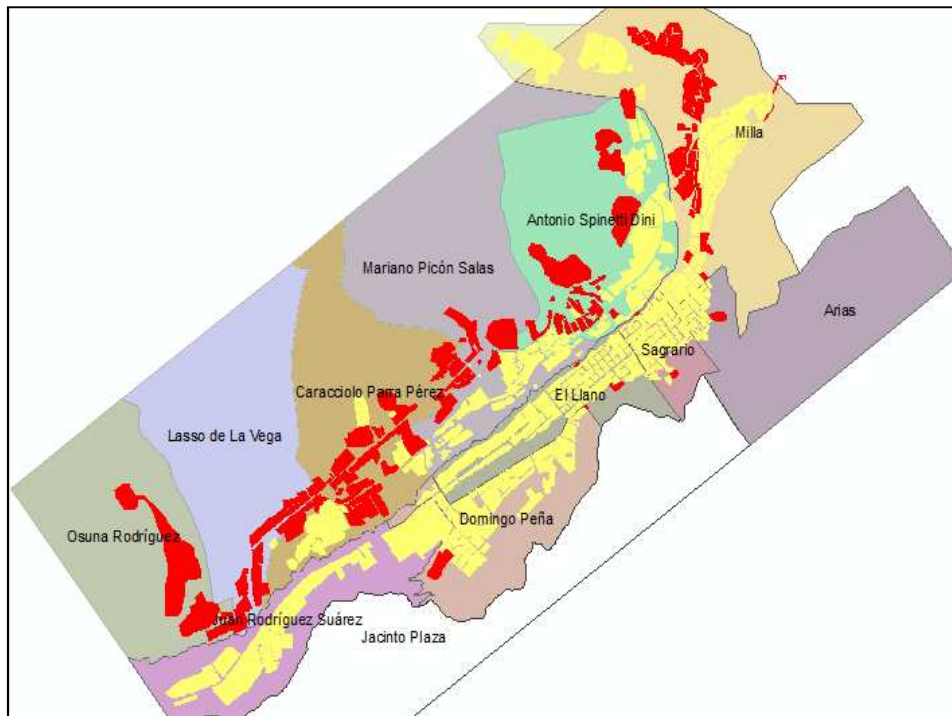


Figura 6-18. Zonas con mayor susceptibilidad a movimientos en masa en las parroquias de Mérida-Venezuela (polígonos rojos).

Con base en la opinión de expertos locales en gestión de riesgo, se calculó para la ciudad de Mérida el índice de gestión de riesgo, el resultado obtenido fue un índice de 34.55, el cual indica un nivel de desempeño de gestión de riesgo apreciable para el año 2010 (Carreño, 2006). Este valor corresponde al indicador 13 (G1) en las parroquias de la ciudad.

En la Tabla 6-17, el indicador 15 muestra la distribución de las camas por cada mil habitantes en la ciudad de Mérida para el año 2008. Donde destaca la parroquia Domingo Peña (con un valor de 22.3), debido a que en dicha parroquia se encuentra el hospital Universitario de Los Andes (el más grande de la ciudad). Por otra parte, no existe presencia de hospitales ni de clínicas privadas que presten un nivel de atención (# camas cada mil habitantes igual a cero) en las parroquias: Caracciolo Parra Pérez, Lasso de La Vega y Sagrario. También, se observa que existe un nivel aceptable en el servicio de atención en las parroquias: Domingo Peña, El Llano, Mariano Picón Salas y Osuna Rodríguez.

La densidad poblacional es considerada como una de las variables que permiten ponderar y/o medir la vulnerabilidad social en zonas urbanas. En esta investigación se estableció la densidad poblacional para el año 2001 comparando diferentes fuentes (INE, 2001;). Rebotier (2006) consideró cinco intervalos de densidad poblacional, que van desde nula (cero habitantes por kilómetro cuadrado) hasta muy alta (más de diez mil habitantes por kilómetro cuadrado) (ver Figura 6-19).

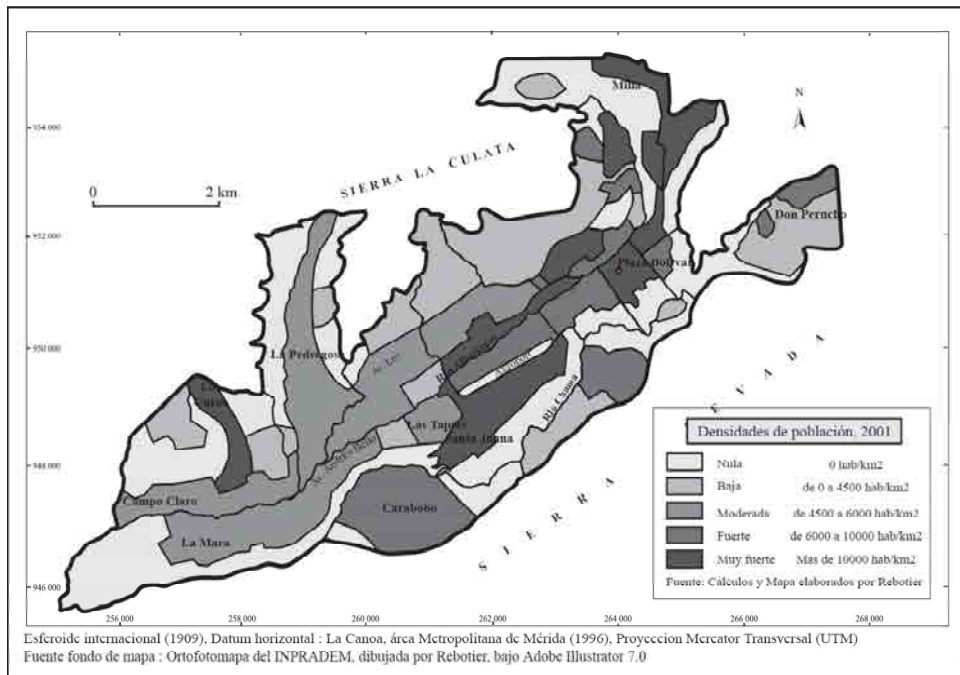


Figura 6-19. Densidades de población en el área metropolitana de Mérida-Venezuela (Rebotier, 2006).

En esta investigación se utilizan cinco niveles de densidad poblacional (D1): *Muy Baja* ($D1 \leq 6100 \frac{hab.}{km^2}$); *Baja* ($6100 \frac{hab.}{km^2} < D1 \leq 10300 \frac{hab.}{km^2}$); *Media* ($10300 \frac{hab.}{km^2} < D1 \leq 14500 \frac{hab.}{km^2}$); *Alta* ($14500 \frac{hab.}{km^2} < D1 \leq 18700 \frac{hab.}{km^2}$) y *Muy Alta* ($D1 > 18700 \frac{hab.}{km^2}$).

Una vez establecidos los diferentes indicadores sociales predominantes del caso de estudio, éstos se convierten a factores contribuyentes del agravamiento que generará el contexto social, mediante las funciones de transformación dadas en el apartado 3.4.2. Dichos factores se resumen en la Tabla 6-18, y se ordenaron por categoría: vivienda (C1), desarrollo social y erradicación de la pobreza (C2), ordenamiento territorial (C3), gobernanza (C4), falta de resiliencia (C5) y demografía (C6).

Tabla 6-18: Factores contribuyentes al agravamiento del contexto social del caso de estudio.

	Factores contribuyentes al agravamiento del contexto social asociados a los diferentes indicadores “j”(Fj) ordenados por categoría (C)										
	C1		C2		C3		C4	C5		C6	
Parroquia	F(V1)	F(V2)	F(DS5)	F(DS6)	F(O2)	F(O3)	F(G1)	F(F1)	F(F3)	F(D1)	F(D2)
Antonio Spinetti Dini	0.105	0.099	0.188	0.000	0.653	0.211	0.754	0.999	1.000	0.546	0.016
Arias	0.198	0.146	0.297	0.000	0.653	0.839	0.754	1.000	1.000	0.073	0.035
Caracciolo Parra Pérez	0.033	0.024	0.059	0.000	0.653	1.000	0.754	1.000	0.314	0.041	0.651
Domingo Peña	0.073	0.000	0.088	0.000	0.653	0.395	0.754	0.000	0.954	0.546	0.000
El Llano	0.014	0.000	0.018	0.000	0.653	1.000	0.754	0.303	0.954	0.222	0.000
Juan Rodríguez Suárez	0.021	0.002	0.023	0.000	0.347	0.889	0.754	1.000	0.959	0.018	0.000
Lasso de la Vega	0.117	0.035	0.139	0.000	0.653	1.000	0.754	1.000	0.314	0.018	0.132
Mariano Picón Salas	0.015	0.053	0.053	0.000	0.500	0.756	0.754	0.963	0.314	0.710	0.000
Milla	0.105	0.095	0.207	0.000	0.653	0.927	0.754	1.000	1.000	0.290	0.000
Osuna Rodríguez	0.158	0.003	0.135	0.000	0.778	1.000	0.754	0.621	0.314	0.073	0.033
Sagrario	0.028	0.000	0.022	0.000	0.778	1.000	0.754	1.000	0.954	0.546	0.000

Luego, para cada parroquia se obtiene el valor numérico del coeficiente de agravamiento (F) para los dos casos:

Caso 1: considerando once factores contribuyentes al agravamiento, junto con los pesos de participación dados en la Tabla 6-16. Adecuación del caso General de la metodología propuesta para $n = 11$.

Caso 2: para $n= 6$, considerando un factor por cada una de las seis categorías propuestas, junto con los pesos de participación dados en la metodología propuesta (capítulo 3). En este caso, corresponde a la combinación de los seis factores $F(V1)$, $F(DS5)$, $F(O2)$, $F(G1)$, $F(F1)$ y $F(D1)$ (Ver Tabla 6-18).

Para ambos casos, en la Tabla 6-19 se muestran los valores numéricos del coeficiente de agravamiento para cada una de las parroquias estudiadas de la ciudad de Mérida. También, se indica que en ambos Casos (1 y 2) todos los valores de F en las parroquias de la ciudad de Mérida, corresponden al nivel de agravamiento medio (rango desde 0.30 hasta 0.60; Tabla 3.4). En la Tabla 6-19 se observa que en el Caso 1 ($n=11$), la parroquia que presenta mayor coeficiente de agravamiento es Sagrario y que la parroquia con menor F es Domingo Peña. Mientras que, en el Caso 2 ($n=6$) la parroquia que presentó mayor y menor coeficiente de agravamiento es Antonio Spinetti Dini y Juan Rodríguez Suárez, respectivamente.

Tabla 6-19. Valores del coeficiente de agravamiento por las parroquias de la ciudad de Mérida-Venezuela.

Parroquia	Coeficiente de agravamiento debido al contexto social			
	Caso 1: $n=11$		Caso 2: $n=6$	
	$F = \sum(w_j * F_j);$ $j=1, \dots, 11$	Nivel	$F = \sum(w_j * F_j);$ $j=1, \dots, 6$	Nivel
Antonio Spinetti Dini	0.440	Medio	0.538	Medio
Arias	0.487	Medio	0.483	Medio
Caracciolo Parra Pérez	0.435	Medio	0.420	Medio
Domingo Peña	0.352	Medio	0.432	Medio
El Llano	0.402	Medio	0.383	Medio
Juan Rodríguez Suárez	0.397	Medio	0.341	Medio
Lasso de la Vega	0.423	Medio	0.440	Medio
Mariano Picón Salas	0.420	Medio	0.497	Medio
Milla	0.494	Medio	0.494	Medio
Osuna Rodríguez	0.407	Medio	0.451	Medio
Sagrario	0.506	Medio	0.532	Medio

Por otra parte, para comprobar la metodología propuesta en el apartado 3.4 se computan los valores de coeficiente de agravamiento (F) para todas las posibles combinaciones de 6 factores contribuyentes al agravamiento del contexto social del caso de estudio (ver Tabla A.5 del Anejo A). De este cálculo se evidenció que el resultado era un nivel *Medio* de agravamiento para todas las parroquias de la ciudad de Mérida en las 32 combinaciones establecidas.

6.1.4 EVALUACIÓN DEL RIESGO TOTAL SÍSMICO

Una vez evaluado tanto el riesgo físico sísmico (Ver Figura 6-17) como el coeficiente de agravamiento (Ver Tabla 6-19) para el caso de estudio, se aplica la ecuación 3.2 para estimar los valores numéricos de riesgo total sísmico en cada una de las parroquias de la ciudad de Mérida-Venezuela.

La Figura 6-20 muestra, en un diagrama de barras, el riesgo total sísmico ($R_{total_k} = R_T$) para cada una de las parroquias de la ciudad para los dos escenarios sísmicos. Las barras de color rosado, representan los valores del R_T para un sismo de intensidad VIII - $RT(VIII)$ -, mientras que las barras de color gris lo hacen para la intensidad IX - $RT(IX)$ -. Adicionalmente, los niveles de riesgo total sísmico, descritos lingüísticamente y mediante límites numéricos, se

delimitan mediante franjas verticales de colores, que se corresponden con los niveles que se indican en la parte inferior de la figura. El nivel *muy bajo*, está representado por el color azul claro; el *bajo*, por el color verde; el *medio*, por el color amarillo; el *alto*, por el color naranja y el *muy alto*, por el color rojo.

En esta Figura 6-20 se puede apreciar que el nivel de riesgo total sísmico para el escenario de intensidad IX presenta valores mucho mayores que para el escenario de intensidad VIII, excepto Mariano Picón, Lasso de la Vega y Juan Rodríguez Suárez. El riesgo total sísmico subió por lo menos dos niveles en casi todas las parroquias. Es de destacar que las parroquias Antonio Spinetti Dini, Caracciolo Parra, y Osuna Rodríguez pasan de un nivel de riesgo total sísmico de nivel 2 a uno de nivel 5. Mientras que, las parroquias Arias, Domingo Peña, El Llano, y Milla, pasan de un nivel de riesgo total sísmico de nivel 3 a uno de nivel 5. Las parroquias que cambiaron un solo nivel son Mariano Picón Salas, Lasso de la Vega y Juan Rodríguez Suárez. Finalmente, el nivel 5 (*muy alto*) de riesgo total sísmico se mantiene en la parroquia Sagrario.

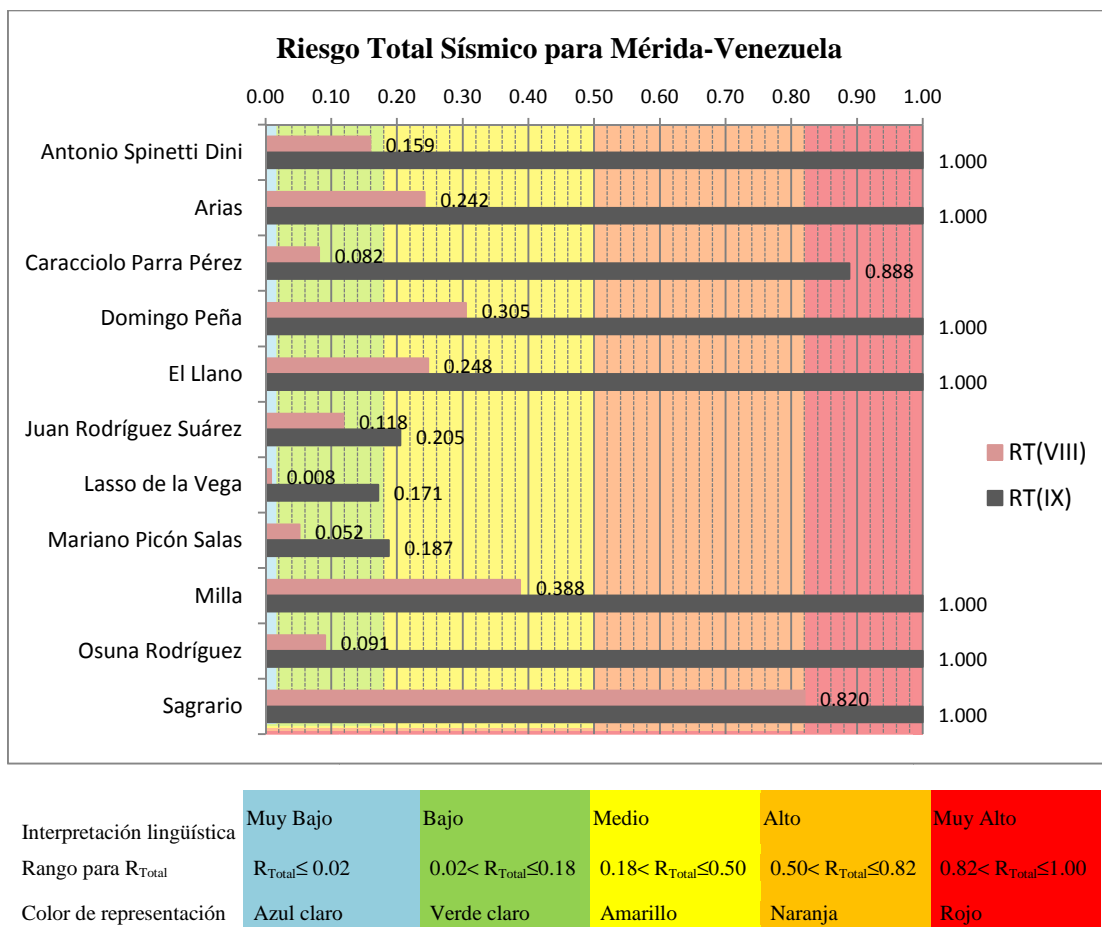


Figura 6-20. Riesgo total sísmico para el caso de estudio.

6.2 COMPARACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE RIESGO SÍSMICO ENTRE BARCELONA-ESPAÑA Y MÉRIDA-VENEZUELA

La metodología de evaluación de riesgo sísmico holístico propuesta en esta tesis (ver Capítulo 3) se aplicó también a la ciudad de Barcelona-España. Primero se explica cómo se obtuvo tanto el riesgo físico sísmico como el coeficiente de agravamiento en la ciudad de Barcelona, posteriormente, se compara con el caso de estudio.

Los datos de daños físicos sísmicos de Barcelona se obtuvieron de un informe técnico realizado para obtener simulaciones del impacto de diferentes escenarios sísmicos sobre los edificios de viviendas de la ciudad y sobre la población para proporcionar información útil para la revisión del PAEM⁶ para el riesgo sísmico (Lantada et al., 2009). El estudio se fundamentó en los datos proporcionados por el Institut Municipal de d'Informàtica de l'Ajuntament de Barcelona (IMI) actualizados con fecha de 2008 para reflejar la situación más actual del catastro y del censo de la ciudad. En dicho informe, la acción sísmica se consideró en términos de intensidad macrosísmica, de acuerdo a la escala europea EMS'98 (Grünthal, 1998) y los edificios se caracterizaron mediante índices de vulnerabilidad; es decir que se usó el método de nivel 1 llamado Método del Índice de Vulnerabilidad (Milutinovic y Trendafiloski, 2003; Lantada, 2007) desarrollado en el marco del proyecto Risk-UE (Mouroux et al. 2004). De acuerdo a las especificaciones de la propuesta de trabajo, se consideraron 5 escenarios sísmicos definidos por las intensidades V, V-VI, VI, VI-VII y VII. No se han considerado los posibles efectos de amplificación de los suelos por lo que debe entenderse que se trata de intensidades medias sentidas en la ciudad en caso de sismo.

Los resultados del estudio de Lantada et al. (2009) se encuentran disponibles para cada escenario a nivel de distrito y de barrio, entre los que encontramos: áreas de colapso o destruidas, víctimas tipo heridos, fallecidos y personas que se quedan sin hogar. Procesando dicha información se obtuvieron los descriptores de daño físico sísmico para los escenarios sísmicos definidos por las intensidades VI y VII. Los descriptores de daño físico sísmico asociados a las líneas vitales se obtuvieron de Carreño (2006). Así, los 6 descriptores de riesgo físico sísmico, que permitieron establecer numéricamente el riesgo físico sísmico para el caso de estudio, se obtuvieron también para la ciudad de Barcelona para la intensidad de VI y VII (ver Tabla B-9 en Anejo B).

Por otra parte, la información que permite establecer indicadores sociales predominantes para la ciudad de Barcelona-España se obtuvieron de observadores urbanos

⁶ PAEM Plan de Actuación de Emergencia Municipal en caso de sismo, siglas del: "Pla d'Actuació d'Emergència Municipal (PAEM) en cas de sisme".

locales, como: el Anuario Estadístico de Cataluña que recoge la información estadística básica de Cataluña, con datos de carácter anual (IDESCAT, 2010) y expertos locales en gestión de riesgo (Carreño et al., 2014).

En la Tabla 6-20 se presentan los 6 factores contribuyentes al agravamiento asociados a los indicadores sociales predominantes disponibles para la ciudad Barcelona-España, uno por categoría, que permiten obtener el coeficiente de agravamiento (F). Se observa como todos los distritos de la ciudad presentan valores de F en un nivel *Medio*, excepto el distrito de *Les Corts*, con nivel *Bajo*.

Tabla 6-20: Calculo del coeficiente de agravamiento (F) en los distritos de Barcelona -España.

DISTRITO		Factor asociado al descriptor social						F	Nivel de F
		V2	DS6	O2	G1	F1	D3		
01	Ciutat Vella	1.000	0.000	0.347	0.557	0.928	0.630	0.561	Medio
02	Eixample	0.100	0.000	0.222	0.557	0.759	0.573	0.357	Medio
03	Sants -Montjuic	0.395	0.000	0.347	0.557	1.000	0.054	0.364	Medio
04	Les Corts	0.012	0.000	0.222	0.557	0.306	0.470	0.284	Bajo
05	Sarrià-Sant Gervasi	0.454	0.000	0.347	0.557	0.179	0.357	0.355	Medio
06	Gràcia	0.618	0.000	0.222	0.557	0.697	0.761	0.472	Medio
07	Horta-Guinardó	0.190	0.000	0.222	0.557	0.000	0.957	0.374	Medio
08	Nou Barris	0.240	0.000	0.222	0.557	1.000	1.000	0.478	Medio
09	Sant Andreu	0.004	0.000	0.347	0.557	1.000	0.947	0.457	Medio
10	Sant Martí	0.083	0.000	0.347	0.557	1.000	0.935	0.468	Medio

V2: Estado de las viviendas Categoría Vivienda (C1))

DS6: Tasa de alfabetización (Categoría Desarrollo social y erradicación de la pobreza (C2))

O2: Nivel de ordenamiento (Categoría Ordenamiento territorial (C3))

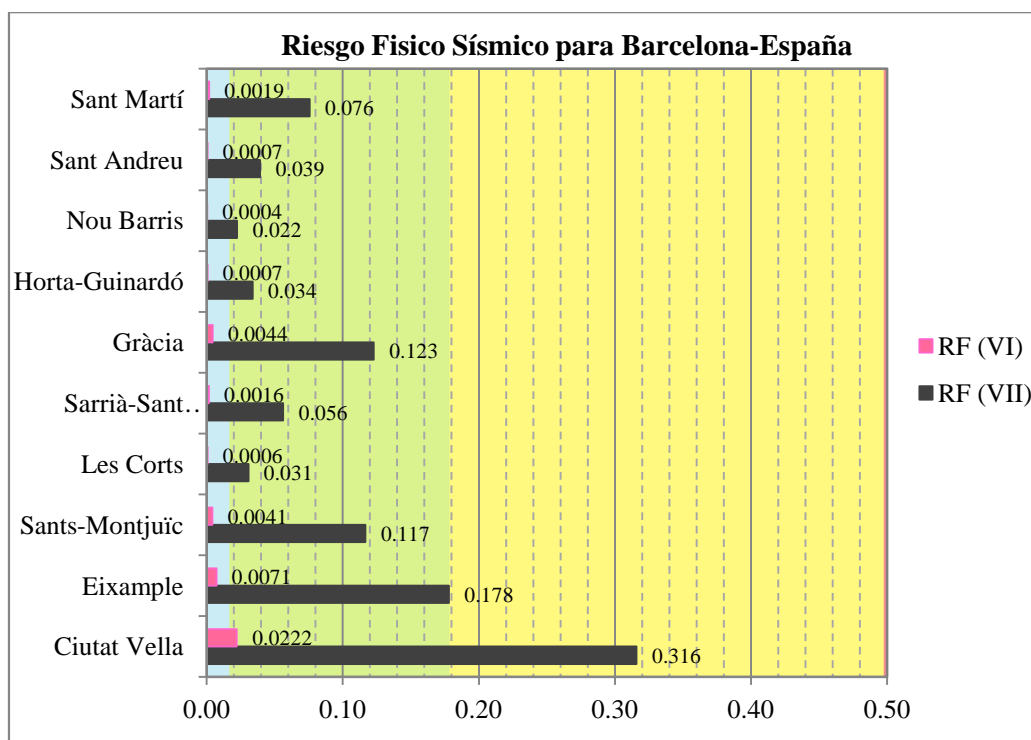
G1: Índice de gestión de riesgo (Categoría Gobernanza (C4))

F1: Camas hospitalarias (Categoría Falta de Resiliencia (C5))

D3: Densidad (Categoría Demografía (C6))

F: Coeficiente de agravamiento

En la Figura 6-21 se expresa el riesgo físico sísmico para los distritos de la ciudad de Barcelona-España para la intensidad de VI y VII.



Interpretación lingüística del nivel:	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Rango para R_{Fi}	$R_{Fi} \leq 0.02$	$0.02 < R_{Fi} \leq 0.18$	$0.18 < R_{Fi} \leq 0.50$	$0.50 < R_{Fi} \leq 0.82$	$0.82 < R_{Fi} \leq 1.00$

Figura 6-21. Riesgo físico sísmico en distritos de la ciudad de Barcelona (España).

En la Figura 6-22 se expresa el riesgo total sísmico en los distritos de Barcelona-España para la intensidad VI y VII. De la Figura 6-22 se evidencia que en cada distrito el riesgo total sísmico aumenta respecto al riesgo físico sísmico, y específicamente en la intensidad de VII dos distritos pasaron de nivel 2 a nivel 3 (Eixample y Gràcia). Los otros 8 distritos se mantuvieron en el nivel de riesgo físico sísmico (Ciutat Vella se mantuvo en nivel medio, y en los demás distritos en nivel bajo). Para la intensidad de VI no se evidencia ningún cambio de nivel de riesgo total sísmico respecto al R_{Fi} en ningún distrito.

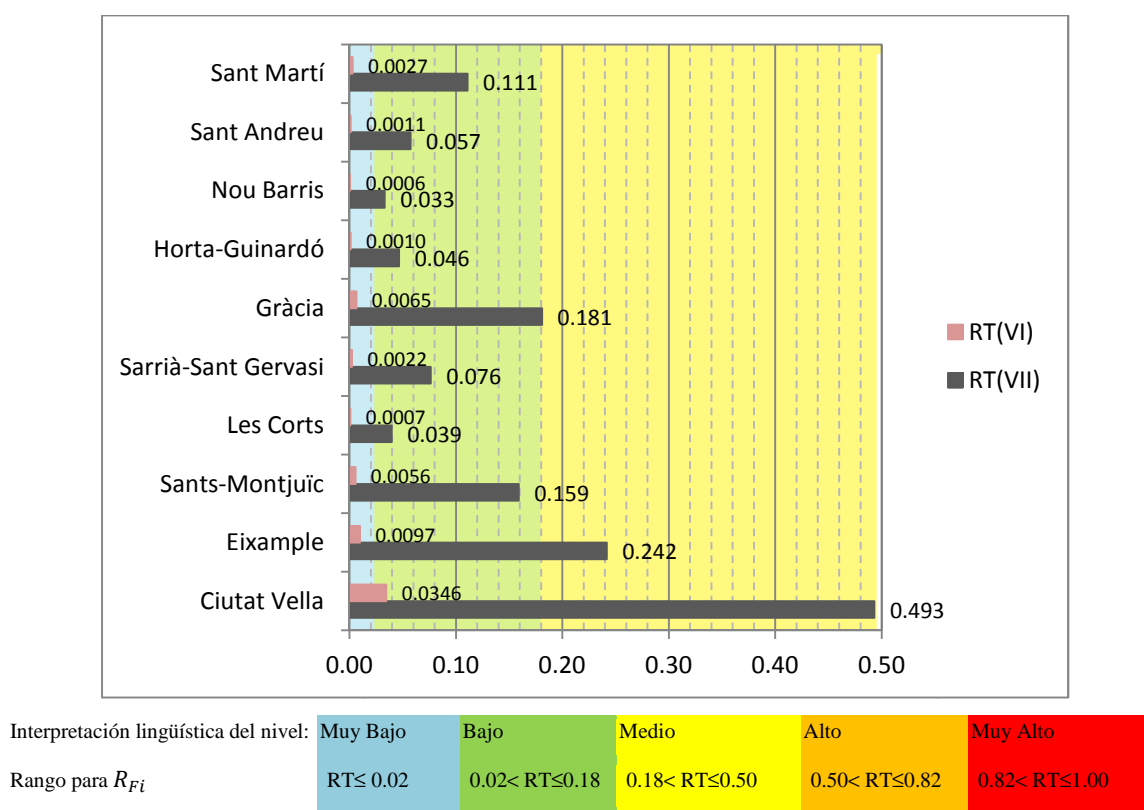


Figura 6-22. Riesgo total sísmico en distritos de la ciudad de Barcelona-España.

Una vez aplicada la metodología propuesta en el capítulo 3 a la ciudad de Barcelona, en base a los resultados obtenidos, se observa que la valoración del nivel de riesgo físico sísmico de la ciudad de Barcelona para la máxima intensidad evaluada (VII) presenta niveles mucho menores que en la ciudad de Mérida para la intensidad de IX. Esta diferencia es posible que se deba a que en el caso de estudio la vulnerabilidad física de las edificaciones y la amenaza sísmica es mayor que en la ciudad europea de Barcelona (España).

Sin embargo, en la mayoría de los distritos de Barcelona (7 de 10), el nivel de riesgo físico sísmico para la intensidad de VII es bajo y similar al nivel obtenido en la mayoría de las parroquias (7 de 11) del caso estudio para la intensidad de VIII, a pesar de que ambas ciudades tienen diferencias tanto en la amenaza sísmica como en la vulnerabilidad física de los elementos expuestos.

Por otra parte, la metodología estándar propuesta para estimar el coeficiente de agravamiento (F) en zonas urbanas (ver Capítulo 3), ha sido validada al aplicarse tanto al caso de estudio (Mérida-Venezuela) como a un segundo caso: ciudad europea (Barcelona-España). En ambas ciudades resultó fácil aplicar dicha metodología, a pesar de tratarse de 2 ciudades con características e información diferente. Los observadores urbanos, disponibles, en ambas ciudades (Mérida y Barcelona) permitieron establecer datos necesarios para obtener al menos seis indicadores sociales predominantes, uno por categoría.

En ambas ciudades (Mérida y Barcelona) se contó con las ponderaciones necesarias por expertos locales en gestión de riesgo, para establecer el descriptor social índice de gestión de riesgo (*GI*). Y, en general ambas ciudades presentaron un nivel de desempeño en gestión de riesgo *apreciable*.

Además, se observó similitud en el nivel de coeficiente de agravamiento en ambas ciudades (nivel medio) (ver Tabla 6-19 y Tabla 6-20). A pesar de esta similitud, el contexto social de cada ciudad afectaría de forma diferente el respectivo riesgo físico sísmico. La ciudad de Barcelona no se vería afectada significativamente por el contexto social, ya que en la mayoría de los distritos (8 de 10) el nivel del riesgo total sísmico se mantuvo igual al nivel de *R_{Fi}* para la intensidad de VII. Mientras que, el contexto social en la ciudad de Mérida si agravaría significativamente el riesgo físico sísmico, ya que, en 5 de 11 parroquias, el nivel de riesgo total sísmico sube un nivel respecto al nivel de *R_{Fi}* para la intensidad de IX.

6.3 EVALUACIÓN DEL RIESGO MULTIAMENAZA PARA LA CIUDAD DE MÉRIDA

La ciudad de Mérida puede verse afectada por diversas amenazas naturales, como la sísmica y la amenaza debido a movimientos en masa. Para establecer el riesgo físico multiamenaza que en el caso de estudio, se aplicó la metodología de evaluación lingüística del riesgo físico multiamenaza propuesta (*MHARLA*). Para lo cual, mediante el instrumento dado en el Anejo B, los expertos locales proporcionaron información de los diferentes niveles de daños físicos que afectan los elementos expuestos en las diferentes parroquias de la ciudad. Luego, dicha información se procesa, con la herramienta informática interna de la investigación (ver Anejo B), para establecer el nivel de riesgo físico debido a cada una de las dos amenazas naturales consideradas en este caso: amenaza sísmica (*H1*) y movimientos en masa (*H3*) y el nivel de pertenencia. Los códigos *Hi* establecidos en la encuesta a expertos (ver Anejo B).

El nivel de riesgo físico debido a cualquier amenaza natural, resultante de la evaluación lingüística, se representa mediante un color: rojo para nivel muy alto, naranja para nivel alto, amarillo para nivel medio, verde para nivel bajo y azul para el nivel muy bajo. El nivel de pertenencia es un valor numérico comprendido en un rango de 0.50 a 1.00.

En la Figura 6-23 se muestra para cada parroquia de la ciudad de Mérida tanto el nivel de riesgo físico sísmico como el nivel de pertenencia a dicho nivel. Las parroquias que presentaron nivel de riesgo físico sísmico *muy alto* son Antonio Spinetti Dini (0.90), Arias (1.00), y Jacinto Plaza (1.00). Las parroquias que presentaron nivel de riesgo físico sísmico *alto* son: Domingo Peña (0.99), Mariano Picón Salas (0.57), Milla (0.97), Osuna Rodríguez

(0.67) y Sagrario (0.99). Nivel *medio*: La parroquia Juan Rodríguez Suárez (0.57). Nivel *bajo* las parroquias: Caracciolo Parra (0.57), El Llano (0.57) y Laso de la Vega (0.57).

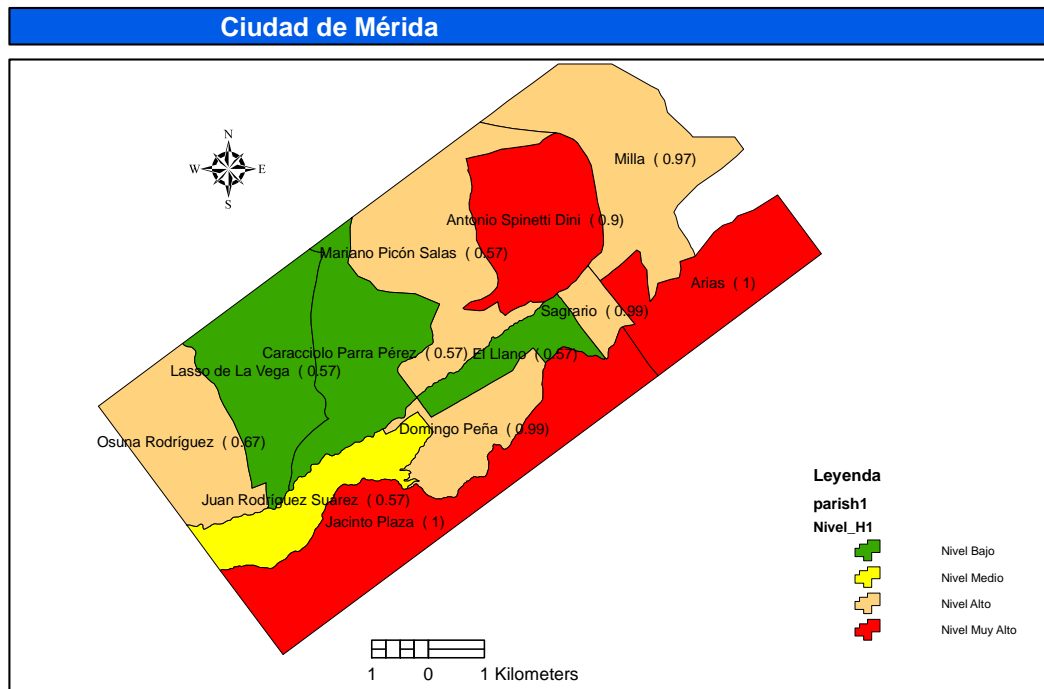


Figura 6-23. Riesgo físico sísmico y valor de pertenencia para cada parroquia en valor numérico (evaluación lingüística).

Dado que el riesgo físico sísmico (R_{Fi}) en la ciudad de Mérida se obtuvo antes, mediante una evaluación numérica, para once parroquias de la ciudad, resulta conveniente presentar aquí una comparación del R_{Fi} para ambas metodologías –numérica y lingüística-. Sin embargo, esta comparación no es necesaria para la metodología lingüística propuesta.

En la Tabla 6-21 se presenta la comparación de la evaluación lingüística y numérica del riesgo físico sísmico para el caso de estudio. Lo primero que se destaca es que, la evaluación lingüística permite obtener un nivel de riesgo físico sísmico en la parroquia donde no existía información suficiente para realizar la evaluación numérica, en este caso, en la parroquia Jacinto Plaza no existían datos de las diferentes tipologías de edificación. Además en la Tabla 6-21, se evidencia que en la mayoría de las parroquias, el nivel de riesgo físico sísmico (R_{Fi}) obtenido de la evaluación lingüística, presenta un nivel de riesgo físico similar (igual o con un nivel de diferencia, por encima o por debajo) al que se obtiene numéricamente para una intensidad sísmica de IX.

Tabla 6-21: Comparación de evaluación lingüística y numérica de los niveles de riesgo sísmico físico.

Parroquia	Evaluación numérica del riesgo físico sísmico				Evaluación lingüística del riesgo físico sísmico		
	Intensidad sísmica VIII		Intensidad sísmica IX		Nivel $RF(HI)$	R_{Fi}	α
	R_{Fi}	Nivel	R_{Fi}	Nivel			
Antonio Spinetti Dini	0.104	2	0.778	4	5	0.881	0.90
Arias	0.163	2	0.833	5	5	0.953	1.00
Caracciolo Parra Pérez	0.050	2	0.626	4	2	0.172	0.57
Domingo Peña	0.213	3	0.900	5	4	0.659	0.99
El Llano	0.179	2	0.852	5	2	0.172	0.57
Jacinto Plaza	N/A	N/A	N/A	N/A	5	0.922	1.00
Juan Rodríguez Suárez	0.088	2	0.153	2	3	0.487	0.57
Lasso de la Vega	0.006	1	0.119	2	2	0.172	0.57
Mariano Picón Salas	0.034	2	0.125	2	4	0.513	0.57
Milla	0.259	3	0.875	5	4	0.642	0.97
Osuna Rodríguez	0.062	2	0.781	4	4	0.797	0.67
Sagrario	0.535	4	0.900	5	4	0.659	0.99

De la Tabla 6-21 se observa que:

- a) En la parroquia Caracciolo Parra Pérez se presentó una diferencia de 2 niveles de R_{Fi} entre las evaluaciones lingüística y numérica, dicha diferencia se debe a que es muy posible que en la evaluación lingüística (basada en la opinión de expertos), no se haya considerado la correlación que debe existir entre el descriptor de riesgo físico de la afectación de la población y el daño predominante en el momento de generar la estimación de la afectación en la población, como se realiza en la evaluación numérica.
- b) En la parroquia El Llano se presentó una diferencia de 3 niveles de R_{Fi} entre las evaluaciones lingüística y numérica, debido a que es muy posible que en la evaluación lingüística no se haya considerado ni los efectos locales de suelo que se consideraron en la evaluación numérica, ni la correlación que debe existir entre el descriptor de riesgo físico para la afectación de la población y el daño predominante.
- c) En la parroquia Mariano Picón Salas presentó una diferencia de 2 niveles de R_{Fi} , entre las evaluaciones lingüística y numérica, la cual se debe a que en la evaluación numérica se sabe que el 84% de las edificaciones de la parroquia son de la tipología RC3.2, la cual presenta un nivel de vulnerabilidad física relativamente baja (Tabla 6-3).

- d) En las parroquias Domingo Peña, Milla y Sagrario el nivel de R_{Fi} obtenido en la evaluación numérica es un nivel mayor al nivel obtenido de la evaluación lingüística, esto puede ser debido a que en dichas parroquias las tipologías de edificaciones predominantes -NENG-RC o M2- presentan vulnerabilidad física relativamente alta (ver Figura 6-5 y Tabla 6-3) y que, además, se consideró en la evaluación numérica efectos locales de suelo.
- e) En la parroquia Juan Rodríguez Suárez el nivel de R_{Fi} obtenido en la evaluación numérica es un nivel menor al nivel obtenido de la evaluación lingüística, esto es debido a que las tipologías de edificaciones predominantes -RC3.1- presentan vulnerabilidad física relativamente baja, a pesar de tener un 46% de edificaciones en áreas donde pueden existir efectos locales de suelo.
- f) Las parroquias Arias y Osuna Rodríguez presentaron en ambas evaluaciones (lingüística y numérica) una ponderación similar para el nivel riesgo físico sísmico. Esto puede deberse a que en la evaluación numérica para ambas parroquias se usaron bases de datos de edificación actualizada (muy cercana a la realidad).

Siguiendo con la metodología MHARLA, en la Figura 6-24 se muestra para cada parroquia de la ciudad de Mérida, tanto el nivel de riesgo físico debido a movimientos en masa, como el nivel de pertenencia a dicho nivel (valor numérico en cada parroquia). La parroquia Jacinto Plaza presentó el mayor nivel, y en este caso es el nivel *alto*. Las parroquias que presentaron nivel *medio* son: Antonio Spinetti Dini (0.93), Mariano Picón Salas (0.93), Milla (0.96) y Osuna Rodríguez (1.00). Las parroquias que presentaron nivel *bajo* son: Laso de la Vega (0.57) y Caracciolo Parra (0.79). Las parroquias que presentaron nivel *muy bajo* son, aquellas que en su extensión urbana están contenidas en zonas con pendientes bajas (sector terraza): Arias (0.83), Domingo Peña (0.83), El Llano (0.83), Juan Rodríguez Suárez (0.83) y Sagrario (0.83).

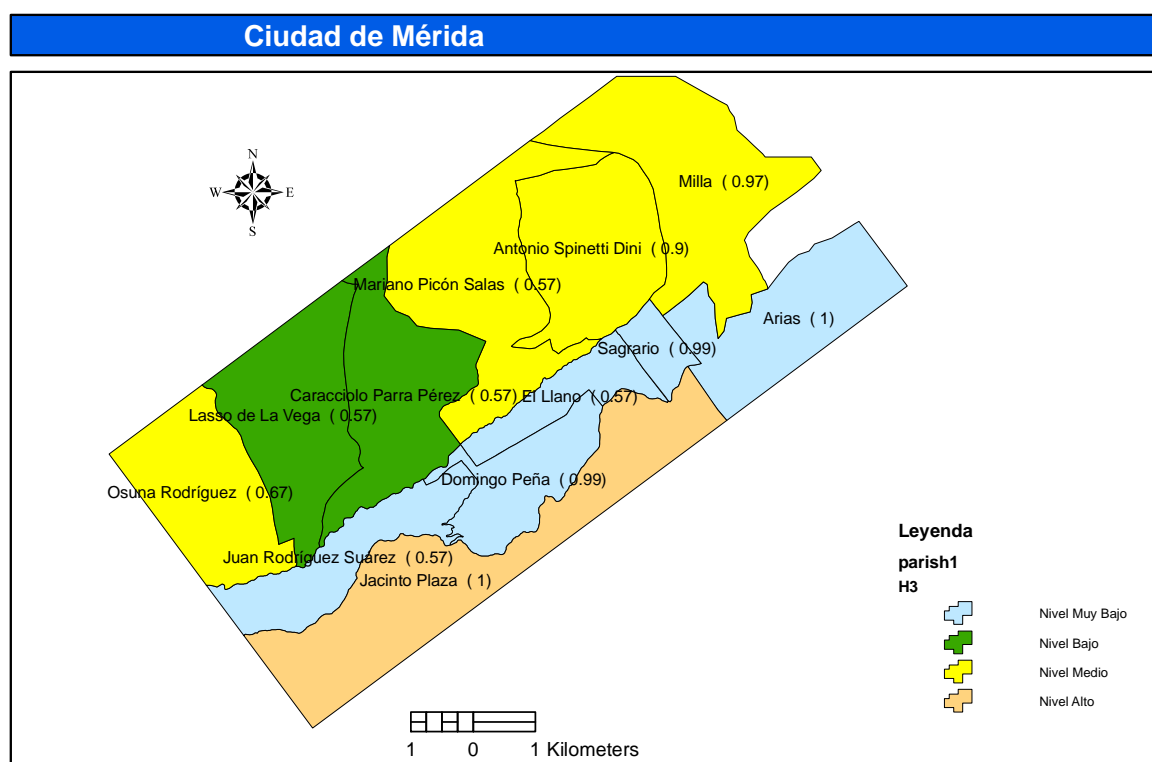


Figura 6-24. Riesgo físico debido a movimientos en masa y valor de pertenencia para cada parroquia en valor numérico (evaluación lingüística).

Los niveles de riesgo físico de la Figura 6-24 son coherentes con las zonas susceptibles a movimientos en masa presentadas en la Figura 6-18. De allí que, el gran sub-sector “la otra banda” de la ciudad de Mérida y la parroquia Jacinto Plaza presenten mayor riesgo físico.

Las variables de entrada de la metodología MHARLA para el caso la ciudad de Mérida son: el número de amenazas igual a dos ($m=2$), amenaza sísmica ($H1$) y amenaza movimientos en masa ($H3$); los niveles de riesgo físico y sus respectivos niveles de pertenecía, dados en la Figura 6-23 para la amenaza sísmica, y en la Figura 6-24 para la amenaza movimientos en masa. Una vez aplicada la metodología MHARLA en cada una de las parroquias del caso de estudio se obtiene el nivel de riesgo físico multiamenaza en cada una de ellas.

La Figura 6-25 muestra para cada parroquia de la ciudad de Mérida tanto el nivel de riesgo físico multiamenaza (sísmica y movimientos en masa) y su respectivo nivel de pertenencia (valor numérico en la parroquia). Las parroquias que presentan el mayor nivel de riesgo físico multiamenaza (*nivel muy alto*) son aquellas que tenían al menos uno de los dos niveles de riesgo físico particular ($H1$ y $H3$) un nivel muy alto, o cuando los niveles de riesgo físico de la amenaza sísmica y movimientos en masa son nivel *alto* y *medio*, respectivamente.

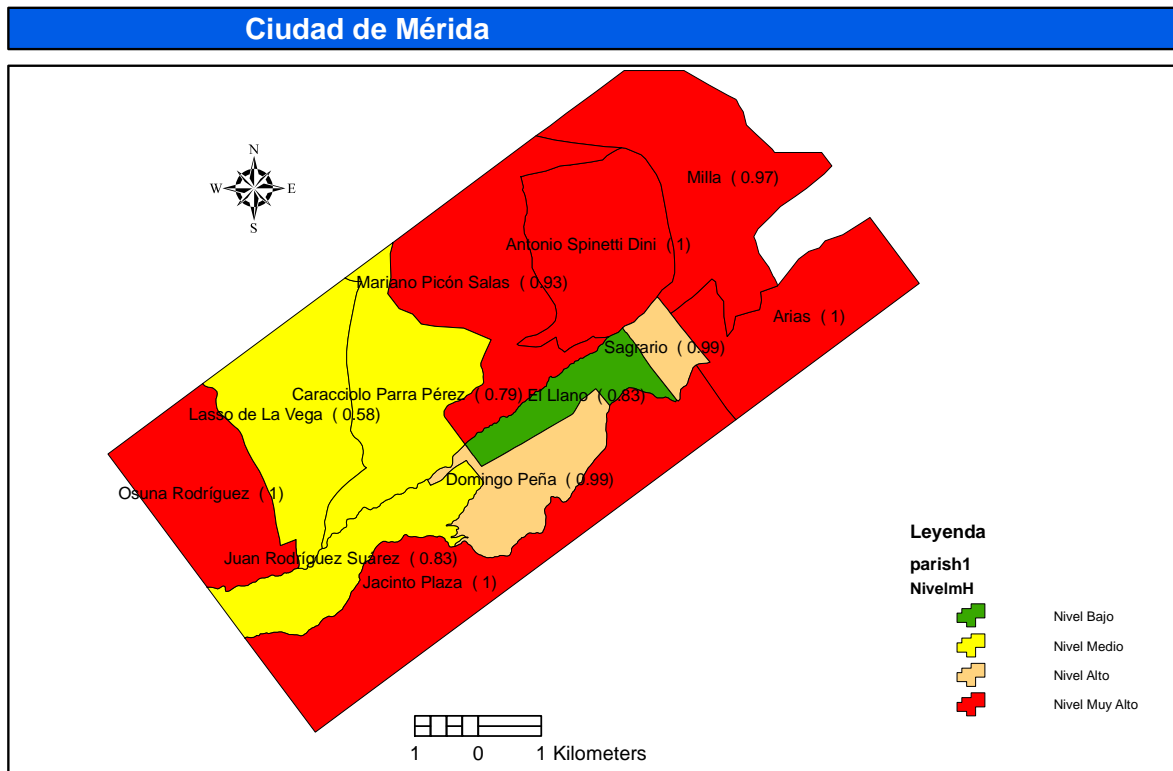


Figura 6-25. Riesgo físico multiamenaza y valor de pertenencia para cada parroquia en valor numérico (evaluación lingüística).

En la Tabla 6-22 se presenta los resultados de la evaluación lingüística del riesgo físico, basada en expertos locales de amenazas naturales, para la ciudad de Mérida-Venezuela. Se muestra el nivel de riesgo físico para cada parroquia de la ciudad, y su respectivo nivel de pertenencia (α), tanto para una amenaza sísmica ($H1$), como para la amenaza movimientos en masa ($H3$) y multiamenaza (mHi). Se observa que, en general el riesgo físico multiamenaza presenta un nivel de riesgo físico mayor o igual al mayor nivel de riesgo físico particular de las amenazas naturales $H1$ y $H3$. En detalle, las parroquias que presentan nivel *muy alto* de riesgo físico para cualquiera de las dos amenazas naturales ($H1$ y $H3$) presentan igual nivel para el riesgo físico multiamenaza.

Se sube un nivel de riesgo físico multiamenaza cuando el riesgo físico particular de las amenazas $H1$ y $H3$ es igual al nivel 2 (Caracciolo Parra y Lasso de la Vega presentan un nivel 3 en el $RF(mHi)$) o cuando los niveles de riesgo físico particulares de las amenazas $H1$ y $H3$ son nivel 4 y nivel 3, respectivamente (Mariano Picón Salas, Milla y Osuna Rodríguez presentan un nivel 5 en el $RF(mHi)$). Por otra parte se evidencia que en algunas parroquias de la ciudad el nivel de riesgo físico debido a movimientos en masa no altera el nivel de riesgo físico sísmico, cuando se consideran ambas amenazas naturales; así que, la amenaza sísmica

generará el mayor riesgo físico en las parroquias: Arias⁷, Domingo Peña, El Llano, Juan Rodríguez Suárez y Sagrario.

Tabla 6-22: Niveles de riesgo físico según la evaluación lingüística basado en expertos.

Zonas urbanas de la ciudad de Mérida	Evaluación lingüística del riesgo físico debido a:					
	Amenaza Sísmica (H1)		Movimientos en masa (H3)		Multiamenaza (mHi)	
Parroquia	Nivel RF(H1)	Pertenencia α	Nivel RF(H3)	Pertenencia α	Nivel RF(mHi=H1+H3)	Pertenencia α
Antonio Spinetti Dini	5	0.90	3	0.93	5	1.00
Arias	5	1.00	1	0.83	5	1.00
Caracciolo Parra Pérez	2	0.57	2	0.79	3	0.79
Domingo Peña	4	0.99	1	0.83	4	0.99
El Llano	2	0.57	1	0.83	2	0.83
Jacinto Plaza	5	1.00	4	0.56	5	1.00
Juan Rodríguez Suárez	3	0.57	1	0.83	3	0.83
Lasso de la Vega	2	0.57	2	0.58	3	0.58
Mariano Picón Salas	4	0.57	3	0.93	5	0.93
Milla	4	0.97	3	0.96	5	0.97
Osuna Rodríguez	4	0.67	3	1.00	5	1.00
Sagrario	4	0.99	1	0.83	4	0.99

La evaluación lingüística MHARLA, también, permite expresar los resultados mediante un valor numérico para el riesgo físico. De allí, que se presente en la Figura 6-26 a través de un diagrama de barras el riesgo físico debido a la amenaza: a) sísmica, tanto para la evaluación numérica para la intensidad de IX -RF(H1_IX)- como la evaluación lingüística -RF(H1)-; b) movimientos en masa debido a la evaluación lingüística -RF(H3)- y c) sísmica con movimientos en masa (multiamenaza) debido a la evaluación lingüística -RF(H1+H3)-.

⁷ La parte de la parroquia que es zona urbana. Ya que esta parroquia contiene zonas urbanas y rurales.

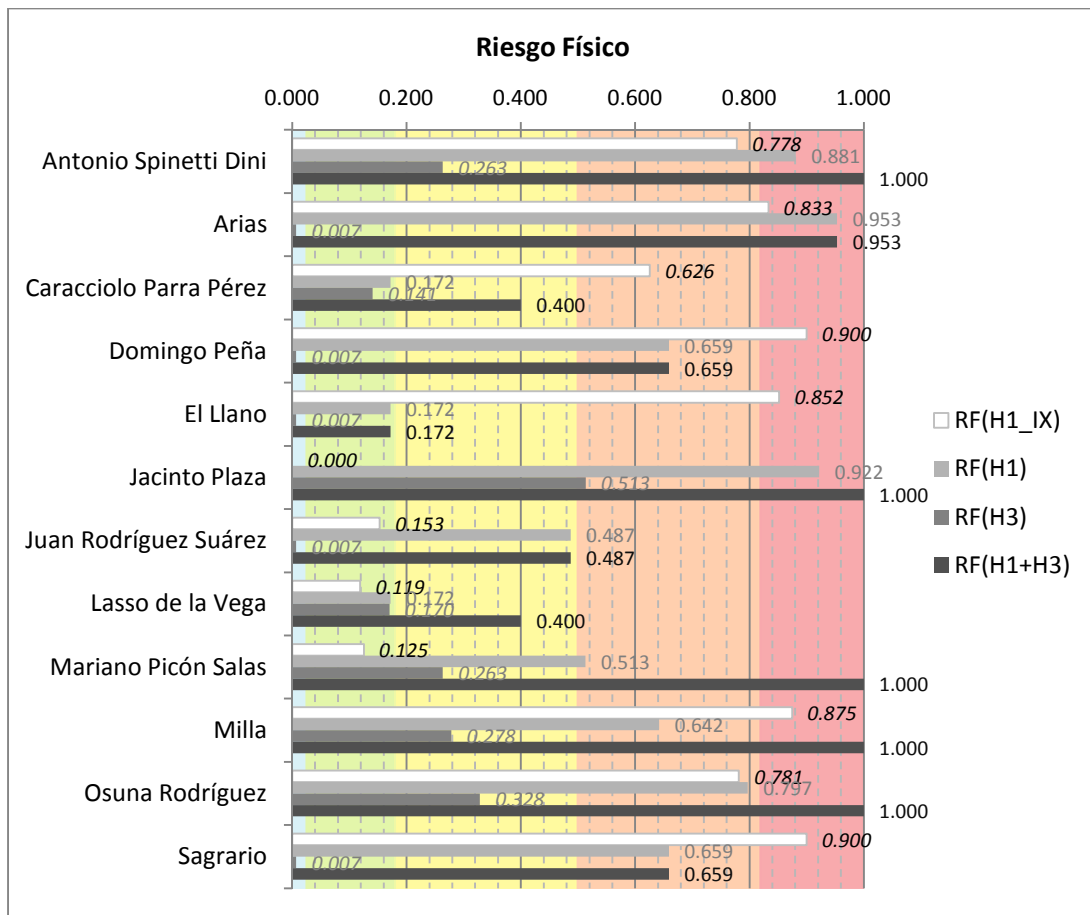


Figura 6-26. Riesgo físico para diferentes amenazas naturales: H1, sísmica; H3, movimientos en masa; H1_IX, sísmica numérica para intensidad IX; y multiamenaza (H1+H3).

6.4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación se presenta, por una parte, la discusión de los resultados obtenidos para la evaluación tanto del riesgo del sísmico con una perspectiva holística (riesgo físico y total sísmico, agravamiento) como el riesgo multiamenaza. Por otra se presenta el análisis del coste económico de un evento sísmico con intensidad sísmica de VIII y IX en la ciudad de Mérida.

El nivel de riesgo físico sísmico más bajo se obtuvo en las parroquias *Juan Rodríguez Suárez*, *Lasso de la Vega* y *Mariano Picón Salas*, estas son las parroquias que presentan relativamente mejores tipologías de edificación respecto a las otras parroquias de la ciudad de Mérida-Venezuela (Tabla 6-13). Mientras que los mayores nivel de riesgo (*alto* y *muy alto*) se obtuvieron en las parroquias que presentan, relativamente, conjuntamente las siguientes dos condiciones: 1) mayor vulnerabilidad física en las tipologías de edificación y, 2) mayor densidad poblacional respecto al área total construida (más de 6000 habitantes por km²), respecto a las otras parroquias de la ciudad.

En el caso de Barcelona, el nivel de riesgo físico sísmico en todos los distritos, excepto Ciutat Vella, resultó con nivel *muy bajo* y *bajo* para la intensidad VI y VII, respectivamente. Estos resultados se deben a que las edificaciones de Barcelona presentan un nivel de vulnerabilidad física baja ante una amenaza sísmica, exceptuando los edificios del distrito más antiguo de la ciudad.

La metodología estandarizada, propuesta en el capítulo 3, para estimar el coeficiente de agravamiento debido al contexto social de una zona urbana, resultó fácil de aplicar en dos ciudades con características e información diferentes (Mérida-Venezuela y Barcelona-España). En ambas ciudades la información necesaria para obtener seis indicadores sociales, uno por cada categoría, se obtuvieron, de una manera sencilla, mediante información disponible de observadores urbanos de dichas zonas urbanas. En Mérida, se utilizaron los 6 indicadores sociales predominantes: *VI*, *DS5*, *O2*, *G1*, *F1* y *D1*; y en la ciudad de Barcelona, se utilizaron 4 indicadores similares al caso de estudio (*O2*, *G1*, *F1* y *D1*) y dos diferentes: *V2* y *DS6*.

En ambas ciudades Mérida y Barcelona se evidenció que el riesgo total sísmico aumenta en mayor o menor medida dependiendo tanto de los niveles de riesgo físico sísmico como de los niveles de agravamiento, como se estableció en la Tabla 3-16.

La metodología lingüística para estimar el riesgo físico multiamenaza en una zona urbana dada (MHARLA), permite estimar del riesgo físico multiamenaza mediante una variable lingüística y/o una numérica, considerando variables de diferentes naturalezas, de una manera versátil.

Las variables de entrada de MHARLA, se pueden obtener de cualquiera de dos maneras siguientes: 1) una evaluación numérica parcial del riesgo físico de cada amenaza natural a considerar, si se dispone de información suficiente; 2) una evaluación lingüística, basada en las opiniones de expertos locales de dichas amenazas; esto último con ayuda del instrumento y la herramienta computacional del anejo B. La segunda manera, es una de las ventajas, propias, de MHARLA.

En el caso de estudio se evidenció la ventaja de MHARLA, ya que en la parroquia Jacinto Plaza, no se pudo evaluar numéricamente el riesgo físico sísmico debido a la carencia de base de datos de los elementos expuestos a la amenaza sísmica (edificaciones, líneas vitales, distribución de población por edificación); sin embargo, lingüísticamente, si se pudo establecer un nivel y valor de R_{Fi} , en dicha parroquia (Tabla 6-21). Y, además, se estimó, en base a expertos locales en la amenaza natural movimientos en masa, el riesgo físico parcial en cada parroquia de la ciudad de Mérida (ver Figura 6-25).

Los niveles de riesgo físico debido a la amenaza por movimientos en masa presentaron una alta congruencia con las zonas susceptibles a dicha amenaza. Así, las zonas que presentan mayor nivel de riesgo físico a movimientos en masa se encuentran en el gran sub-sector denominado *la otra banda* y la parroquia Jacinto Plaza.

La respuesta de los expertos en relación a las amenazas como movimientos en masa es difícil de realizar por divisiones administrativas, ya que dichos eventos se producen en zonas del territorio que pueden afectar de forma muy diferente a las edificaciones de una misma parroquia en función de su cercanía a dicho evento. La adecuación de la respuesta a la afectación por parroquia requiere de efectuar una ponderación de los diferentes niveles de riesgo físico debido a movimientos en masa, que se encuentren en una determinada división administrativa, en función del porcentaje relativo de las diferentes zonas del territorio que ocupan la división administrativa.

La diferencia en el riesgo físico sísmico obtenido a partir de la evaluación lingüística (ver capítulo 5) y la evaluación numérica (ver capítulo 3), para algunas parroquias de la ciudad de Mérida, deja en evidencia la correlación entre los descriptores *afectación de la población* y *daño predominante*; ya que sus ponderaciones se deben realizar porcentualmente.

Si sólo se cuenta con la ponderación de un solo experto local por amenaza natural para los niveles de daño físico de los elementos expuestos de una zona urbana, en el instrumento mostrado en el anejo B se debe agregar en la pregunta que permitirá estimar el descriptor *afectación en la población*: “*considerare en su estimación una correlación directa con el descriptor daño predominante*”, con la idea de que el experto local evalúe la condición más desfavorable de la zona urbana determinada. Esta corrección no sería necesaria si se cuenta con las ponderaciones realizadas por una cantidad mayor de expertos locales para la amenaza.

Por otra parte, es fundamental conocer el impacto financiero de la crisis y su repercusión en la desaceleración del desarrollo y en las tasas de crecimiento de la comunidad debido a un desastre sísmico, el cual se puede expresarse mediante un parámetro llamado *coste económico de un desastre*. Parámetro que no es fácil de estimar, pero puede hacerse una estimación aproximada teniendo en cuenta el coste de reposición de los edificios dañados incluyendo la estructura y el contenido. Esta simplificación en la evaluación del valor monetario de cada escenario sísmico no está exenta de dificultad, ya que se fundamenta en el coste de reposición (Roca, 2004; Lantada, 2007).

Además de las pérdidas económicas debidas al deterioro estructural, suelen considerarse también las pérdidas económicas debidas al daño sufrido por su contenido. En esta investigación, el modelo es sencillo y se basa en el informe ATC-13 (McCormack y Rad,

1997) que estima que el contenido en los edificios residenciales es el 50% del valor de reposición del edificio. El coste total de las pérdidas económicas directas (T_{coste}) será la suma de ambos conceptos.

En la Tabla 6-23 (columna 9 y 10) se muestran la estimación del costo total de las pérdidas económicas para las intensidades VIII y IX, para cada parroquia. Se ha considerado que el coste promedio de vivienda en Venezuela es de 106857euros (vivienda de 70m² para el año 2012). Además, se muestran, para ambas intensidades, el porcentaje promedio de viviendas a recuperar y el nivel de riesgo total sísmico por parroquia y para la ciudad de Mérida.

El total de viviendas a reparar por parroquia e intensidad sísmica, se obtuvo a partir de las probabilidades de estado de daño k , desde el grado 1 hasta el grado 5, que experimentan las diferentes tipologías de edificación presentes en la parroquia y el promedio de viviendas por tipo de edificación. El valor aproximado de total de viviendas por parroquia depende de las tipologías de edificación existentes y el promedio de viviendas por tipo de edificación (Tabla 6-23).

Tabla 6-23: Estimación del costo total de pérdida económica por parroquias de la ciudad de Mérida-Venezuela e intensidad VIII y IX.

Nombre de la Parroquia	Total de Viviendas (Valor aproximado)	Viviendas a reparar en zonas con intensidad				Coste de daño de estructura en millones de euros		Coste Total (<i>T</i> coste) en millones de euros		% de viviendas a recuperar		Nivel de riesgo total sísmico	
		VIII	VIII-IX	IX	IX-X	para la intensidad de							
						VIII	IX	VIII	IX	VIII	IX	VIII	IX
Antonio Spinetti Dini	5238	582.9	0.0	1485.5	0.0	62.3	158.7	93.42	238.1	11%	28%	Bajo	Muy alto
Arias	1657	159.5	149.3	360.0	289.0	33.0	69.3	49.50	104.0	19%	39%	Medio	Muy alto
Caracciolo Parra Pérez	3964	251.7	0.0	676.9	0.0	26.9	72.3	40.34	108.5	6%	17%	Bajo	Muy alto
Domingo Peña	5530	546.4	308.9	1415.9	652.8	91.4	221.1	137.09	331.6	15%	37%	Medio	Muy alto
El Llano	3231	92.1	276.6	235.3	665.0	39.4	96.2	59.10	144.3	11%	28%	Medio	Muy alto
Juan Rodríguez Suárez	5554	40.7	73.3	181.5	296.3	12.2	51.1	18.28	76.6	2%	9%	Bajo	Medio
Lasso de la Vega	936	27.6	0.0	94.9	0.0	2.9	10.1	4.42	15.2	3%	10%	Muy Bajo	Bajo
Mariano Picón Salas	3166	66.2	0.0	239.9	0.0	7.1	25.6	10.61	38.5	2%	8%	Bajo	Medio
Milla	7464	828.1	50.7	2042.3	94.2	93.9	228.3	140.87	342.5	12%	29%	Medio	Muy alto
Osuna Rodríguez	3213	415.6	0.0	1120.7	0.0	44.4	119.8	66.62	179.6	13%	35%	Bajo	Muy alto
Sagrario	2525	34.1	494.6	72.8	995.1	56.5	114.1	84.74	171.2	21%	42%	Muy alto	Muy alto
Totales	42478	3044.9	1353.4	7925.7	2992.4	470	1166.6	704.99	1750.1	10%	26%	Medio	Muy Alto

De la Tabla 6-23 se obtuvo un porcentaje promedio estimado de viviendas a recuperar: menor o igual al 11% para nivel *bajo* de riesgo total sísmico (*RT*); mayor a 11% y menor o igual al 20% para el nivel *alto* de *RT*, y mayor a 20 % y menor o igual a 42% para un nivel *muy alto* de *RT*.

En base a los resultados obtenidos (ver celdas en gris de la Tabla 6-23) y la cantidad de edificaciones analizadas, la ciudad de Mérida debería prever recursos financieros, aproximadamente 705 millones de euro, para recuperar alrededor de un 10% de las viviendas existentes para un escenario sísmico de intensidad VIII. Y, para una intensidad de IX 1750 millones de euros para recuperar el 26% de las viviendas. Sin embargo, en la ciudad se debería promover estudios más completos de riesgo que permitan diseñar estrategias de transferencia del riesgo.

La Figura 6-27 muestra, por parroquia, la magnitud del costo económico del daño estructural para los escenarios para la intensidad de VIII y IX.

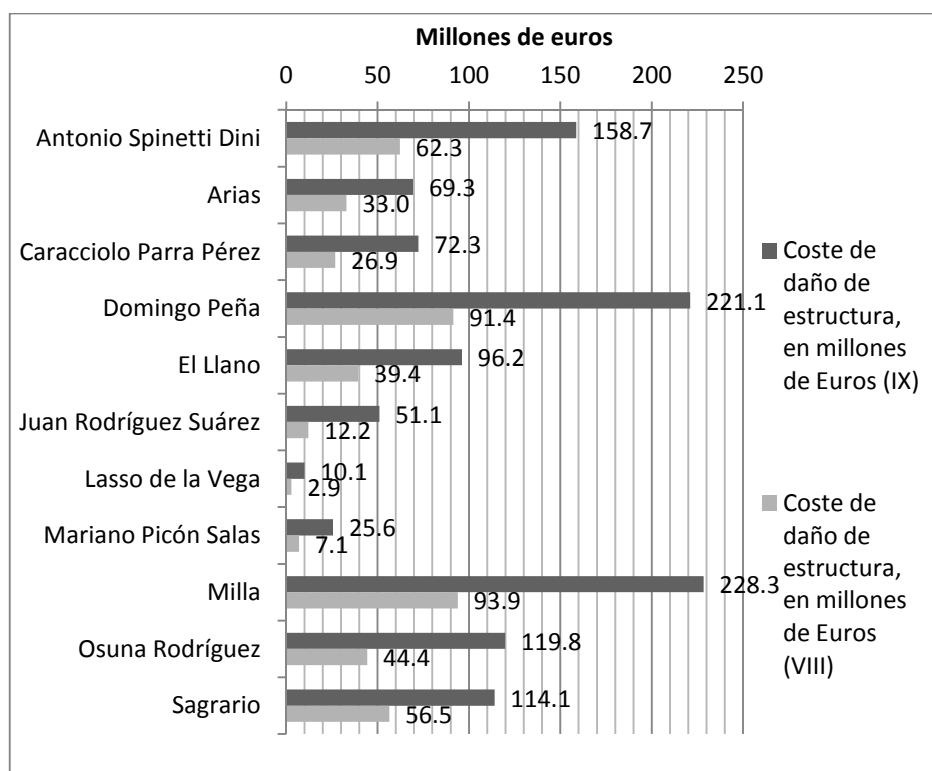


Figura 6-27. Coste económico del daño estructural por parroquia para la intensidad de VIII y IX.

Las parroquias que presentarían mayor coste de pérdidas económicas directas en las estructuras, para las intensidades VIII y IX, en orden de mayor a menor coste, son: Milla; Domingo Peña, Antonio Spinetti Dini, Osuna Rodríguez, Sagrario y El Llano.

6.5 ESTRATEGIAS DE REDUCCIÓN DE RIESGO PARA LA CIUDAD DE MÉRIDA

En base a las estrategias propuestas en el capítulo 5 y las ponderaciones obtenidas en las variables que intervienen en una evaluación del riesgo sísmico con enfoque holístico (factores contribuyentes tanto al riesgo físico sísmico como al coeficiente de agravamiento), se establece que para disminuir el riesgo total sísmico en la ciudad de Mérida-Venezuela, se deben realizar una serie de estrategias.

En primer lugar, el índice de gestión de riesgo determinado con información suministrada por expertos locales, permitió establecer las valoraciones del *nivel de desempeño* de cada una de las 24 estrategias, agrupadas en cuatro políticas públicas, propuestas en el modelo morfológico para disminuir el riesgo físico sísmico (R_{Fi}) de una zona urbana (ver Tabla 5-1). Sin embargo, de la matriz de consistencia (Tabla 5-2) sólo resultaron 20 estrategias las más convenientes para disminuir el R_{Fi} , y únicamente siete de éstas son comunes para disminuir los factores de riesgo físico sísmico asociado a los descriptores de daño ($IR6, RR1, RR2, RR3, RR4, RR5$ y $RR6$).

La valoración de cada estrategia se realizó utilizando cinco niveles de desempeño: *bajo* (1), *incipiente* (2), *apreciable* (3), *notable* (4) y *óptimo* (5). Además, cada nivel simultáneamente hace referencia al *objetivo de desempeño* que permite facilitar la comparación y la identificación de resultados o logros hacia los cuales los gobiernos deben dirigir sus esfuerzos de formulación, implementación y evaluación de cada estrategia perteneciente a cada política pública (Carreño, 2006).

En general la ciudad de Mérida presentó diferentes niveles de desempeño en las 20 estrategias que ayudarán a disminuir el riesgo físico sísmico (R_{Fi}) (ver Tabla 6-24). Por lo cual, para alcanzar un nivel óptimo en cada una de ellas se debe subir un número considerable de niveles (entre 2 y 4).

Tabla 6-24: Nivel de desempeño de las 20 estrategias para la gestión del riesgo para el año 2010.

Estrategia	Nivel de desempeño
$RR6, PF5$ y $MD6$	Bajo
$RR1, RR2, RR4, MD3, MD4, PF1, PF2, PF3$ y $PF4$	Incipiente
$IR5, IR6, RR3, RR5, MD1, MD2$ y $MD5$	Apreciable

Estudiando cada factor contribuyente al riesgo físico en todas las parroquias de la ciudad de Mérida-Venezuela para la intensidad de IX (Tabla 6-13) se propone que:

- ❖ En las parroquias que presentaron nivel de riesgo físico sísmico *alto* (Antonio Spinetti Dini, Caracciolo Parra Perez y Osuna Rodríguez) y *muy alto* (Arias, Domingo Peña, El Llano, Milla y Sagrario), es imperante realizar las 11 estrategias que permiten disminuir el descriptor de riesgo físico *área destruida*: una estrategia de la política pública Identificación de riesgo-*IR6*-; las seis estrategias que definen la política pública Reducción de Riesgo -de la *RR1* a la *RR6*-; y cuatro estrategias de la política pública de gobernabilidad y protección financiera -de la *PF1* a la *PF4*-.
- ❖ También, en las parroquias que presentaron nivel de riesgo físico sísmico *alto* y *muy alto* se proponen realizar 18 estrategias para disminuir el descriptor *personas que se quedan sin hogar*: las 11 estrategias que permiten disminuir el descriptor *área destruida*, más las seis estrategias de políticas públicas de Manejo de Desastre -de la *MD1* a la *MD6*- y la estrategia *IR5*. Y para disminuir los descriptores fallecidos y heridos realizar 17 estrategias: las 11 estrategias que permiten disminuir el descriptor *área destruida*, más cinco estrategias de políticas públicas de Manejo de Desastre -de la *MD1* a la *MD5*- y la estrategia *IR5*. Buscando obtener un nivel de desempeño óptimo en cada estrategia.
- ❖ En todas las parroquias de la ciudad, como el factor de riesgo físico sísmico asociado al descriptor *daño en el sistema de agua potable* es alto (valor 1), se propone realizar 11 estrategias para disminuir dicho descriptor: una estrategia de la política pública de Identificación de Riesgo-*IR6*-, las seis estrategias que definen la política pública Reducción de Riesgo -de la *RR1* a la *RR6*-; una estrategia de la política pública de Manejo de Desastre -*MD6*- y tres estrategias de la política pública de gobernabilidad y protección financiera -*PF1*, *PF4* y *PF5*-. Es especialmente importante aplicar estas 11 estrategias en las parroquias: Juan Rodríguez Suárez, Lasso de la Vega y Mariano Picón Salas, en las que, para la intensidad IX, el máximo factor contribuyente al riesgo físico sísmico fue el factor asociado al descriptor *daño en el sistema de agua potable*.

Por otra parte, en base al análisis morfológico para disminuir el *coeficiente de agravamiento* (apartado 5.2) y los 6 indicadores sociales predominantes, que permitieron estimar el agravamiento que generaría el contexto social, de las parroquias de la ciudad de Mérida, se recomienda realizar, en el siguiente orden (ver Figura 6-29), las estrategias que

permitirán mejorar el indicador social que define la categoría: Ordenamiento territorial (*O2*); Gobernanza (*G1*); Demografía (*D1*); Vivienda (*V1*); Desarrollo social y erradicación de la pobreza (*DS5*); y Falta de resiliencia (*F1*):

- *Nivel de ordenamiento urbano (O2)* se recomienda realizar 17 estrategias: 5 del grupo 1 identificación contexto social (*I1, I2, I3, I4 y I5*); 2 del grupo 3 estrategias de desarrollo socio-económico (*EDS1, EDS2*); las 7 del grupo 4 estrategias de desarrollo físico (desde *EDF1* hasta *EDF7*) y 3 del grupo 5 mejora de la gobernabilidad (*EG6, EG10 y EG11*).
- *Índice de gestión de riesgo (G1 = IGR)* se recomienda realizar 28 estrategias: 5 del grupo 1 identificación contexto social (*I1, I2, I3, I4 y I5*); 3 del grupo 2 estrategias de capacitación (*C1, C4 y C5*); 2 del grupo 3 estrategias de desarrollo socio-económico (*EDS1, EDS2*); 6 del grupo 4 estrategias de desarrollo físico (*EDF2, EDF3, EDF4, EDF5, EDF6 y EDF7*) y las 12 del grupo 5 mejoramiento de la gobernabilidad (desde *EG1* hasta *EG12*).
- *Demografía (D1)* se recomienda realizar 3 estrategias: 1 del grupo 1 identificación contexto social (*I1*); 1 del grupo 3 estrategias de desarrollo socio-económico (*EDS3*); 1 del grupo 4 estrategias de desarrollo físico (*EDF1*).
- *Área suficiente para vivir (V1)* se recomienda realizar 6 estrategias: 1 del grupo 1 identificación contexto social (*I1*); 1 del grupo 2 estrategias de capacitación (*C1*); 1 del grupo 3 estrategias de desarrollo socio-económico (*EDS3*); 2 del grupo 4 estrategias de desarrollo físico (*EDF1 y EDF3*) y 1 del grupo 5 mejoramiento de la gobernabilidad (*EG6*).
- *Hogares pobres (DS5)* se recomienda realizar 7 estrategias: 1 del grupo 1 identificación contexto social (*I1*); 2 del grupo 2 estrategias de capacitación (*C2 y C3*); 3 del grupo 3 estrategias de desarrollo socio-económico (*EDS1, EDS2 y EDS3*) y 1 del grupo 5 mejoramiento de la gobernabilidad (*EG9*).
- *Camas hospitalarias (F1)* se recomienda realizar 5 estrategias: 2 del grupo 1 identificación contexto social (*I1 y I4*); 1 del grupo 4 estrategias de desarrollo físico (*EDF5*) y 2 del grupo 5 mejoramiento de la gobernabilidad (*EG3 y EG12*).

	C1: Vivienda (0.168)		C2: Desarrollo social y erradicación de la pobreza (0.123)		C3: Ordenamiento territorial (0.224)			C4: Gobernanza (0.220)	C5: Falta de resiliencia (0.088)			C6: Demografía (0.177)	
	V1	V2	DS5	DS6	O1	O2	O3	G1	F1	F2	F3	D1	D2
I1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I2	x	x	x	x	-	-	-	-	x	x	x	x	x
I3	x	x	x	x	-	-	-	-	x	x	x	x	x
I4	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	x	x
I5	x	x	x	x	x	-	-	-	x	x	x	x	x
C1	-	x	x	x	-	x	-	-	x	x	x	x	x
C2	x	x	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x
C3	x	x	-	-	x	x	x	x	x	-	-	x	x
C4	x	x	x	x	x	x	-	-	x	x	x	x	x
C5	x	x	x	x	x	x	-	-	x	x	x	x	x
EDS1	x	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x
EDS2	x	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x
EDS3	-	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-
EDF1	-	-	x	x	-	-	-	x	x	x	x	-	x
EDF2	x	x	x	x	-	-	-	-	x	x	x	x	x
EDF3	-	-	x	x	-	-	-	-	x	x	x	x	x
EDF4	x	-	x	x	x	-	x	-	x	x	x	x	x
EDF5	x	-	x	x	x	-	x	-	-	x	x	x	x
EDF6	x	x	x	x	x	-	-	-	x	x	x	x	x
EDF7	x	x	x	x	x	-	-	-	x	x	x	x	x
EG1	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	-	x	x
EG2	x	x	x	x	x	x	x	-	x	-	-	x	x
EG3	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	x	x
EG4	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x
EG5	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x
EG6	-	-	x	x	-	-	-	-	x	x	x	x	x
EG7	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x
EG8	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x
EG9	x	-	-	x	x	x	-	-	x	x	x	x	x
EG10	x	x	x	x	x	-	x	-	x	x	x	x	x
EG11	x	x	x	x	x	-	x	-	x	x	x	x	x
EG12	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	x	x

Figura 6-28. Estrategias recomendadas y más convenientes para disminuir el coeficiente de agravamiento en la ciudad de Mérida.

Para el caso de estudio, del total de 32 estrategias propuestas para disminuir el coeficiente de agravamiento (Capítulo 5), exclusivamente 30 de éstas ayudan a mejorar al menos un indicador social; 24 ayudan a mejorar al menos dos indicadores sociales; y sólo 9 estrategias de las 32 (I1, I4, EDS1, EDS2, EDS3, EDF1, EDF2, EDF5 y EG6) ayudan a mejorar al menos tres indicadores sociales.

Hay que recordar que algunas de las estrategias propuestas para mejorar los indicadores sociales predominantes, con la idea de disminuir el agravamiento social, tienen una correspondencia total con las estrategias planteadas para disminuir el riesgo físico (Capítulo 5). De allí que, la estrategia EDF2 sea similar a la estrategia RR5, EDF5 a RR6 y EG6 a PF1.

Por todo lo anterior, en la ciudad de Mérida-Venezuela, los actores sociales, que pueden tomar la decisión (por ejemplo gobiernos regionales: gobernación, alcaldía, comunas), deben dirigir sus esfuerzos en la formulación e implementación de las estrategias que

constituyen a la política pública de reducción de riesgo y algunas de la política pública de gobernabilidad y protección financiera, para obtener en lo posible un nivel óptimo en cada una de ellas. Con esta idea, se sugiere, en primer lugar, comenzar con la estrategia *Refuerzo e intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados (RR6)* porque presenta menor nivel de desempeño (*bajo*, ver Tabla 6-24) y ayuda a disminuir tanto el riesgo físico sísmico como el coeficiente de agravamiento. Luego, seguir con, o llevar a cabo en paralelo, las estrategias que presentaron nivel de desempeño *incipiente*: *RR1 -Integración del riesgo en la definición de usos del suelo y la planificación urbana-*; *RR2 -Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental-* y *RR4 -Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos de áreas propensas-*. Posteriormente, seguir con las estrategias que presentaron nivel de desempeño *apreciable*: *RR3 -Implementación de técnicas de protección y control de fenómenos peligrosos-* y *RR5 -Actualización y control de la aplicación de normas y códigos de construcción-*. Y finalmente, se sugiere realizar las estrategias constituyentes de la política pública de gobernabilidad y protección financiera: *PF1, PF2, PF3* y *PF4*.

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Con base en la revisión y análisis de la bibliografía, en esta tesis se han realizado aportes metodológicos para la evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas, así como en la formulación de estrategias que disminuyan el riesgo. Se desarrollaron tres metodologías aplicables a zonas urbanas: 1) para evaluar el contexto social (capítulo 3) requerido en una evaluación holística del riesgo sísmico; 2) para evaluar el riesgo físico multiamenaza (capítulo 4) de manera lingüística; 3) para formular planes de acción para disminuir el riesgo total sísmico facilitando la toma de decisiones a partir de una evaluación holística de dicho riesgo (capítulo 5). Todas las metodologías propuestas se aplicaron a la ciudad de Mérida-Venezuela (capítulo 6). Adicionalmente, se aplicó la metodología propuesta de evaluación holística de riesgo sísmico a la ciudad de Barcelona-España.

7.1 CONCLUSIONES RELACIONADAS CON LAS METODOLOGÍAS PROPUESTAS

7.1.1 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DEL CONTEXTO SOCIAL DE UNA ZONA URBANA

Se desarrolló una mejora metodológica para la evaluación holística del riesgo sísmico en zonas urbanas. A continuación se enumeran y describen las conclusiones obtenidas para este aporte metodológico:

- 1) Cuantificar el contexto social puede resultar una tarea compleja, porque está condicionado tanto a su finalidad como a lo que se quiere tener en cuenta. Por lo tanto, con base en el análisis de los indicadores formulados por: la Agenda del Hábitat (1996), Estambul+5 (2001), los Objetivos del Milenio (ODM, 2008) y, Carreño (2006); se seleccionaron y/o definieron un total de 20 indicadores para describir el contexto social en zonas urbanas. Estos indicadores se clasificaron, de acuerdo al aspecto social que describen, en seis categorías: Vivienda (C1), Desarrollo social y erradicación de la pobreza (C2), Ordenamiento territorial (C3), Gobernanza (C4), Falta de Resiliencia (C5) y Demografía (C6).
- 2) Teniendo en cuenta que un número muy alto de indicadores podría ser redundante e innecesario se seleccionaron los indicadores sociales más predominantes y adecuados para describir el contexto social de una zona urbana, estableciendo el nivel de determinación o independencia. Y así, los veinte indicadores inicialmente seleccionados se redujeron a trece y se jerarquizaron por categoría.
- 3) Los distintos y complejos aspectos de cada categoría pueden ser descritos de manera simplificada por un solo indicador social, perteneciente a dicha categoría. Por lo tanto, se puede simplificar y potenciar enormemente el trabajo de evaluar el agravamiento social en cualquier zona urbana, pues no siempre se puede contar con todos los indicadores sociales predominantes, propuestos en esta investigación. De ese modo, dependiendo de la información disponible, la evaluación del coeficiente de agravamiento (F) se podrá obtener, indistintamente, de mayor a menor información con: a) los 13 factores contribuyentes a F asociados a cada uno de los indicadores sociales predominantes; b) una cantidad menor a 13 factores contribuyentes a F pero mayor a 6 factores; y c) sólo seis factores contribuyentes a F cada uno asociado a un indicador social predominante por cada categoría y que presente mayor nivel de determinación. En consecuencia, la evaluación del agravamiento social generará resultados similares si se considera un número de factores contribuyentes al coeficiente de agravamiento entre el número mínimo (6) y máximo (13) de factores propuestos en esta investigación.
- 4) En este trabajo se acotó a un nivel máximo de uno el índice de riesgo total sísmico, con el fin de facilitar la interpretación de los resultados de la evaluación holística del riesgo sísmico en una zona urbana. Adicionalmente, se establecieron cinco niveles tanto para el riesgo físico sísmico, el coeficiente de agravamiento y el riesgo total sísmico, estos niveles son: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto.

7.1.2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DEL RIESGO FÍSICO MULTIAMENAZA

Se desarrolló una metodología de evaluación lingüística del riesgo físico multiamenaza, que se denominó *MHARLA*, por sus siglas en inglés *Multi-Hazard Risk Linguistic Assessment*. Se fundamenta en la lógica difusa y apoya en información de un panel de expertos en diferentes riesgos naturales. Obtiene la opinión de expertos mediante una encuesta sobre daños físicos posibles de los elementos, de una zona urbana, expuestos a una determinada amenaza natural.

A continuación se describen las conclusiones obtenidas para este aporte metodológico, siguiendo una enumeración consecutiva de todas las conclusiones:

- 5) El riesgo físico debido a cualquier amenaza natural que experimentaría una zona urbana depende de información de al menos tres afectaciones: 1) *daño predominante*, que varía en función de la amenaza, 2) *afectación en la población*, y 3) *afectación en las líneas vitales*. Para estimar el riesgo físico multiamenaza con la metodología *MHARLA* se requiere de los riesgos físicos de cada amenaza a considerar. Por ello, la calificación lingüística de cada uno de estos riesgos físicos se puede introducir en *MHARLA* de dos formas, dependiendo de la información disponible en la zona de estudio: una, a partir de encuestas a expertos, o bien, transformando los resultados procedentes de una evaluación numérica.
- 6) La metodología de evaluación lingüística del riesgo físico multiamenaza, *MHARLA*, es una herramienta innovadora, que permite estimar el riesgo físico multiamenaza de una zona urbana expuesta, simultáneamente, hasta un máximo de 3 amenazas naturales, permitiendo expresar en un único índice información variada y de diferente naturaleza.

7.1.3 TOMA DE DECISIONES A PARTIR DE LA EVALUACIÓN HOLÍSTICA DEL RIESGO SÍSMICO

Para ayudar a los actores encargados en la toma de decisiones en la gestión del riesgo se propone una metodología, basada en el Análisis Morfológico (*AM*), que ayude en la formulación de planes de acción, que contemplan un conjunto de estrategias, que permitan disminuir el posible riesgo total sísmico de una zona urbana dada, empleando dos modelos:

- a) *El modelo morfológico para disminuir el riesgo físico sísmico (RFi)*, cuyos parámetros son, por una parte, 6 indicadores de daño físicos sísmico, y, por otra parte, 24 estrategias que permiten disminuir el riesgo físico sísmico. Estas 24 estrategias tienen correspondencia total con los indicadores que permiten medir la efectividad de la gestión de riesgo propuestos por Carreño (2006).

b) *El modelo morfológico para disminuir el coeficiente de agravamiento (Fi)*, con los siguientes parámetros: por una parte, los 13 indicadores sociales predominantes que permiten medir el contexto social de una zona urbana, y, por otra parte, 32 estrategias que permiten disminuir el coeficiente de agravamiento. Estas 32 estrategias se organizaron en cinco grupos: 1) Identificación del contexto social, 2) Capacitación, 3) Desarrollo socio-económico, 4) Desarrollo físico y, 5) Mejora de la gobernabilidad. Algunas de estas estrategias coinciden con las estrategias propuestas en la evaluación de la efectividad de la gestión del riesgo.

A continuación se describen las conclusiones obtenidas para este aporte metodológico, siguiendo la enumeración consecutiva:

- 7) En el caso de esta investigación el *AM* permitió vincular escenarios y modelos de estrategias sin importar la dimensión de los parámetros seleccionados para la evaluación de la planificación y las estrategias a largo plazo. Y, por ende, las diferentes estrategias que se proponen, para disminuir el riesgo total sísmico, se aplicarán en las diversas zonas urbanas, en función del nivel de desempeño que éstas presenten.
- 8) Mejorar los descriptores de riesgo físico sísmico indica disminuir sus valoraciones para generar menor contribución al riesgo físico sísmico. Sin embargo, para obtener menor contribución al coeficiente de agravamiento, se deberá aumentar o disminuir los indicadores sociales, en función de su naturaleza.
- 9) En base a las ponderaciones de los diferentes factores contribuyentes al riesgo físico sísmico, éstos asociados a su vez a descriptores de daño físico, y teniendo en cuenta que las víctimas se estiman a partir de los daños en las edificaciones. Se propone para disminuir el riesgo físico sísmico de cualquier zona urbana, ejecutar en el siguiente orden de prioridad, las estrategias que disminuyen el descriptor *área destruida*, luego las estrategias que permiten disminuir la afectación de la población (descriptor heridos, fallecidos y personas que se quedan sin hogar), y finalmente o en conjunto, las estrategias que permiten disminuir la afectación en las líneas vitales.
- 10) En base a la jerarquización de las diferentes categorías que permiten definir el contexto social se propone, para disminuir el coeficiente de agravamiento de cualquier zona urbana, ejecutar en el siguiente orden de prioridad, las acciones o estrategias que permitirán mejorar los indicadores sociales que de las categorías: 1) Ordenamiento Territorial, 2) Gobernanza, 3) Demografía, 4) Vivienda, 5) Desarrollo social y erradicación de la pobreza y 6) Falta de Resiliencia.

7.2 CONCLUSIONES RELACIONADAS CON LA APLICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS

PROPUESTAS

La metodología propuesta, para evaluar el riesgo sísmico desde una perspectiva holística, se aplicó a las ciudades de Mérida-Venezuela y Barcelona-España. La Metodología de evaluación lingüística del riesgo físico multiamenaza (*MHARLA*) y la metodología que ayuda en la toma de decisiones basada en el *AM* se aplicaron a la ciudad de Mérida-Venezuela.

A continuación se describen las conclusiones obtenidas de aplicar las diferentes metodologías propuestas en esta investigación, siguiendo la enumeración consecutiva:

- 11) El instrumento creado para obtener información de expertos sobre daños físicos de los elementos de una zona urbana expuestos a una amenaza natural determinada, resultó ser de fácil uso por parte de los expertos locales. Sin embargo, la integración de los resultados de la encuesta en el cálculo evidencio que los daños físicos debido a una amenaza natural dada, no siempre afecta la ciudad por las divisiones administrativas (parroquias), sino tiene su propia naturaleza de afectación. Por lo cual, para solventar este inconveniente se puede realizar una adecuación entre los diversos sectores que presenten diferentes niveles de riesgo físico y las divisiones administrativas.
- 12) La evaluación numérica del riesgo físico sísmico (R_{Fi}) en la ciudad de Mérida-Venezuela resultó, en promedio, un valor de 0.140 (nivel *Bajo*) para la intensidad de VIII y un valor de 0.648 (nivel *Alto*) para la intensidad de IX. Para el escenario de intensidad VIII se obtuvo un comportamiento relativamente uniforme para el riesgo físico sísmico (R_{Fi}), ya que en la mayoría de las parroquias de la ciudad (7 de 11) presentaron valores numéricos de R_{Fi} comprendido en el rango del nivel *bajo* (de 0.02 a 0.18), las otras tres parroquias presentaron valores correspondientes a diferentes nivel de riesgo: *muy bajo*, en la parroquia Lasso de la Vega; *medio*, en la parroquia Milla; y *alto*, en la parroquia Sagrario. Para el escenario de intensidad IX el comportamiento fue más variado, ya que los valores numéricos del riesgo físico sísmico se encuentran en diferentes niveles: *bajo* (3 de 11), en las parroquias Juan Rodríguez Suárez, Lasso de la Vega y Mariano Picón Salas; *alto* (3 de 11), en las parroquias Antonio Spinetti Dini, Caracciolo Parra Pérez y Osuna Rodríguez; y *muy alto* (5 de 11), en las parroquias Arias, Domingo Peña, El Llano, Milla, y Sagrario. Entonces, en la mayoría de las parroquias el riesgo físico sísmico presentó valores mucho mayores para el escenario de intensidad IX que para el de intensidad VIII, excepto en las parroquias que presentaron

relativamente menor vulnerabilidad física en los elementos expuestos a la amenaza sísmica (Juan Rodríguez Suárez, Lasso de la Vega y Mariano Picón Salas).

- 13) El contexto social de la ciudad de Mérida sintetizado mediante el coeficiente de agravamiento (F) presentó un valor medio de 0.46, correspondiente al nivel *medio* de F (rango numérico de 0.30 a 0.50). Las 11 parroquias analizadas de Mérida presentaron valoraciones numéricas del contexto social similar, correspondiente a valores que pertenecen al rango numérico del nivel medio del coeficiente de agravamiento. Por ende, la vulnerabilidad social en las parroquias de la ciudad presentó una valoración uniforme.
- 14) El contexto social de la ciudad de Mérida generó un incremento de un grado mayor en el nivel de riesgo total sísmico respecto al nivel de riesgo físico sísmico (RFi). Siendo el riesgo total sísmico promedio de 0.204 (nivel *Medio*) y 0.943 (nivel *Muy Alto*) para las intensidades de VIII y IX, respectivamente. Sin embargo, el contexto social de cada parroquia agravó de forma diferente el riesgo físico sísmico particular (RFi), ya que en algunos casos el riesgo total sísmico aumento tanto de valor numérico como de nivel respecto al RFi . Mientras que, en otros casos, sólo aumento de valor numérico pero mantuvo el mismo nivel del riesgo físico sísmico.
- 15) Los valores de riesgo total sísmico presentaron diferencias por parroquia y por escenario sísmico, debido a que se presentó relativamente tanto alta vulnerabilidad física en las tipologías de edificación como alta densidad poblacional en las parroquias y por el agravamiento que genera del contexto social. Entonces, en la mayoría de las parroquias el riesgo total sísmico presentaron para el escenario de intensidad IX (8 de 11 valores correspondientes al nivel *muy alto*, y en las otras 3 de 11 nivel *medio*) valores mucho mayores que para el escenario de intensidad VIII (1 de 11 nivel *muy bajo*, 5 de 11 nivel *bajo*, 4 de 11 nivel *medio*, 1 de 11 nivel *alto*), excepto en las tres parroquias con menor vulnerabilidad física, al igual que ocurre con el riesgo físico sísmico.
- 16) En promedio la ciudad de Barcelona-España presentó un nivel de agravamiento *medio* (sólo el distrito *Les Corts* presentó un F *bajo*), al igual que la ciudad de Mérida-Venezuela. Sin embargo, la influencia del contexto social en Barcelona fue mucho menor que en Mérida, ya que en Mérida el riesgo total sísmico se incremento en un nivel respecto al riesgo físico sísmico, mientras que se mantiene igual en la mayoría de los distritos de Barcelona sin importar la intensidad sísmica.

Concretamente en Barcelona el riesgo físico sísmico presentó en 9 de 10 distritos un nivel *muy bajo* para el escenario de intensidad VI, y un nivel *bajo* para el caso de intensidad VII. El distrito *Ciutat Vella* presentó un nivel de riesgo físico sísmico *bajo y medio* para la intensidad de VI y VII, respectivamente. Todos los distritos, para la intensidad de VI mantuvieron el mismo nivel en los índices de riesgo total sísmico y de riesgo físico sísmico. Para la intensidad VII únicamente cambio el nivel en dos distritos *Gràcia* y *Eixample* (pasaron de nivel *bajo* a *medio*).

- 17) La comparación entre las evaluaciones lingüística y numérica obtenidas para el riesgo físico sísmico en la ciudad de Mérida-Venezuela, permitió en cierto modo validar la metodología lingüística para el caso particular de amenaza sísmica ya que los resultados obtenidos presentaron niveles de riesgo muy similares.

7.3 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

- Mejorar la metodología lingüística de riesgo físico multiamenaza, incorporando nuevos descriptores de daño, o estudiando casos donde una zona urbana se pueda ver afectada por más de 3 amenazas naturales y/o modificando el instrumento que permite obtener las variables de entrada de la metodología MHARLA.
- Sería deseable poder aplicar y realizar un monitoreo de los planes de acción propuestos por el análisis morfológico para disminuir el riesgo total sísmico (que incluye tanto diferentes descriptores de daño físico como la vulnerabilidad social, dicha vulnerabilidad se mide a través de indicadores sociales) a más ciudades y países, ya que la única aplicación realizada hasta ahora es la propuesta de planes de acción para Mérida.
- Desarrollar un nuevo análisis que incluya la evaluación del costo-beneficio que generaría la implementación de cada estrategia propuesta para reducir el riesgo total sísmico en zonas urbanas.

7.4 RECOMENDACIONES PARA EL CASO DE ESTUDIO

- ❖ Se recomienda actualizar y complementar la base de datos en el caso de estudio-Ciudad de Mérida-Venezuela, como son la población, cantidad de viviendas de las edificaciones,

edad de las construcciones, centros de salud, recurso humano de salud, cantidad de tipologías por parroquias, entre otras.

- ❖ Es conveniente ampliar el estudio de riesgo físico sísmico para líneas vitales en la ciudad de Mérida-Venezuela, incluyendo por ejemplo el sistema de electricidad, el sistema de telecomunicaciones, los viaductos y puentes más importantes de la ciudad. Ya que hasta el momento solo se cuenta con un estudio de riesgo sísmico del sistema de agua potable, y un daño medio en el sistema de vialidad de la ciudad.
- ❖ Después, de este proceso de investigación científica se hace necesario la socialización de los productos obtenidos, para que con la ayuda de las articulaciones necesarias con los diferentes actores que se involucran en la gestión de riesgo de la ciudad de Mérida, se ayude en la toma de decisiones para la mitigación de riesgo físico sísmico y del agravamiento que genera el contexto social.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldía de Mérida. (2002). *Gaceta Municipal*. Mérida. Depósito Legal Nro. 79-0151 Extraordinaria Nro.58 Año III: Consejo Municipal. Municipio Libertador.
- Astorga, A. L. (2011). *Resiliencia sísmica del sistema de acueducto para la ciudad de Mérida*. Mérida: Centro interamericano de desarrollo e investigación ambiental y territorial. ULA.
- ATC-13. (1985). *Earthquake damage evaluation data for California, ATC-13*. Redwood City, California: Applied Technology Council. 492.
- Barbat, A., Mena, U., & Yopez Moya, F. (1998). Evaluación probabilista del riesgo sísmico en zonas urbanas. *14*(2), 247-268.
- Ben-Chieh, L., & Chang-Tseh, H. (1981). An integrated model for earthquake risk and damage assessment. *Mathematical Social Sciences*, *1*(2), 201-214.
- Birkmann, J. (2006). *Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards disaster resilient societies*. Tokyo, Japan: United Nations University, Institute for Environment and Human Security, UNU-EHS.
- CAPRA. (2010). *Central American Probabilistic Risk Assessment*. Recuperado el 2010 de octubre de 16, de http://ecapra.org/capra_wiki/en_wiki/index.php?title=Main_Page
- CAPRA. (2012). *CAPRA Probabilistic Risk Assessment Initiative*. Recuperado el 27 de Julio de 2012, de <http://www.ecapra.org/>
- Cardona, O. D. (2001). *Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

- Cardona, O. D. (2003). *La noción del riesgo desde la perspectiva de los desastres: Marco conceptual para su gestión integral*. Manizales-Colombia: Instituto de estudios ambientales (IDEA-BID).
- Cardona, O. D. (2005). *Sistema de indicadores para la gestión de riesgo de Desastres: programa América Latina y el Caribe. Informe Técnico principal*. Manizales, Colombia: Instituto de Estudios Ambientales IDEA. Universidad Nacional de Colombia.
- Cardona, O. D., & Barbat, A. H. (2000). *El riesgo sísmico y su prevención. Cuadernos Técnicos 5*. Madrid, España: Calidad Siderúrgica. S.R.L.
- Cardona, O. D., Ordaz, M., Yamin, L., & Barbat, A. (2011). Enfoque integral para la evaluación probabilista del riesgo (CAPRA): Iniciativa internacional para la efectividad de la gestión del riesgo de desastre. 4 ° Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica (4CNIS). Granada, España.
- Cardona, O., Hurtado, J. E., Duque, G., Moreno, A., Chardon, A., Velásquez, L., & Prieto, S. (2005). *Indicators of Disaster Risk and Risk Management: Program for Latin America and the Caribbean*. Summary Report, BID/IDEA Programa de Indicadores para Gestión de Riesgos, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J., & Abel, N. (2001). From metaphor to measurement: resilience of what to what? *Ecosystems*, 4, 765–781.
- Carreño, M. L. (2006). *Técnicas innovadoras para la evaluación del riesgo sísmico y su gestión en centros urbanos: Acciones ex ante y ex post*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Carreño, M. L., Barbat, A. H., Cardona, O. D., & Marulanda, M. C. (2014). Holistic Evaluation of Seismic Risk in Barcelona, en Assessment of vulnerability to Natural Hazards: A European Perspective. *Editado por: Alexander D., Birkmann J., Kienberger S. Editorial*.
- Carreño, M. L., Cardona, O. D., & Barbat, A. H. (2005). *Sistema de indicadores para la evaluación de riesgos*. Monografía CIMNE IS-52, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Carreño, M. L., Cardona, O. D., & Barbat, A. H. (2007a). Urban seismic risk evaluation: a holistic approach. *Natural Hazards*, 40(1), 132–137.
- Carreño, M. L., Cardona, O. D., & Barbat, A. H. (2007b). A disaster risk management performance index. *Natural Hazards*, 41(1), 1-20.
- Castillo, A. (2005). *Seismic risk scenarios for buildings in Mérida, Venezuela. Detailed vulnerability assessment for non-engineered housing*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

- Castillo, A., Pujades, L., & Almansa, F. (2008). Seismic Risk Scenarios for Mérida, Venezuela. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*. Beijing, China.
- Cerrada Lozada, M., & Rodríguez Graterol, W. (2001). Lógica Difusa. En J. Aguilar Castro, & F. Rivas Echeverría, *Introducción a las técnicas de computación inteligente*. (págs. 53-101). Mérida-Venezuela: Universidad de Los Andes.
- Coburn, A., & Spence, R. (1992). *Earthquake Protection*. Chinchester: Jonh Wiley & Sons.
- Coburn, A., & Spence, R. (2002). *Earthquake Protection* (Second Edition ed.). Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd.
- COVENIN. (2001). *Edificaciones Sismorresistentes. Norma COVENIN 1756:2.001*. Venezuela.
- Cowdin, S., & Leep, K. (s.f.). *Using HAZUS for a Statewide Flood Risk Assessment*. Recuperado el 10 de septiembre de 2010, de http://www.floodplain.org/cmsAdmin/uploads/documents/HAZUS_Statewide_Flood_Risk_Assessment_DRAFT.pdf
- Cruden, D. M. (1991). A Simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43(1), 27-29.
- Cutter, S. (1996). Vulnerability to enviromental hazard. *Progress in Human Geography*, 20(4), 529-539.
- Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, L. W. (2003). Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*, 84(2), 242-261. DOI: 10.1111/1540-6237.8402002.
- de Oliveira, M. J. (2009). Social vulnerability indexes as planning tools: beyond the preparedness paradigm. *Journal of Risk Research*, 12(1), 43-58.
- EIRD. (2004). *EIRD: Estrategias de Internacional para la Reducción de Desastres*. Recuperado el 4 de octubre de 2010, de EIRD de las Naciones Unidas, Ginebra: <http://www.eird.org/vivir-con-el-riesgo/index2.htm>
- FEMA. (1999). *Earthquake loss estimation methodology. HAZUS-99 Technical manual*. Federal Emergency Management Agency. Washington, D.C.
- FEMA. (2010). *Federal Emergency Management Agency*. Recuperado el 01 de octubre de 2010, de <http://www.fema.gov/index.shtm>
- FEMA_graphics. (2010). *Hazus Models*. Recuperado el 27 de agosto de 2010, de http://www.fema.gov/graphics/plan/prevent/hazus/hazus_models_500.gif
- FEMA-154. (2002). *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook. Segunda Edición. FEMA 154*. Redwood City, California: NATIONAL EARTHQUAKE HAZARDS REDUCTION PROGRAM. 164pp.

- FEMA-155. (2002). *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: Supporting Documentation. Second Edition.* NATIONAL EARTHQUAKE HAZARDS REDUCTION PROGRAM. 117pp.
- G.I.R.S.T. (2009). *Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos.* Gaceta Oficial N° 39.095 del 09 de enero, Venezuela.
- GEM. (2006). *Global quake model.* Recuperado el 10 de Diciembre de 2010, de <http://www.globalquakemodel.org/>
- Giovinazzi, S. (2005). *The vulnerability assessment and the damage scenario in seismic risk analysis. Tesis doctoral.* Florence. Italy: The Department of Civil Engineering of the Technical University Carolo-Wilhelmina at Brannschweig, and The Faculty of Engineering Department of Civil Engineering of the University of Florence.
- Giovinazzi, S., & Lagomarsino, S. (2002). WP04: Guidelines for the implementation of the I level methodology for the vulnerability assessment of current buildings. En *RISK-UE project: An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns. Contract No.EVK4-CT-2000-00014.* Genoa, Italy.
- Glade, T., & Crozier, M. J. (2005). The Nature of Landslide Hazard Impact. En T. Glade, M. Anderson, & M. J. Crozier, *Landslide hazard and risk* (págs. 43-74). Chichester, England: John Willey & Sons.
- Grünthal, G. (1998). *European Macroseismic Scale 1998, vol. 15. Luxemburg: Centre Européen de Géodynamique et Séismologie, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie.*
- Guimarães, R. J. (2007). Searching for the Vulnerable: A Review of the Concepts and Assessments of Vulnerability Related to Poverty. *The European Journal of Development Research, 19(2), 234-250.*
- Gutierrez, J. (2008). Actualización del mapa geológico del área metropolitana de Mérida-Venezuela. Oslo, Noruega: Congress, The 33rd IGC International Geological.
- HAZUS. (2010). *Empresa de utilidad pública, apoyo a la comunidad de usuario para la promoción y desarrollo de aplicaciones HAZUS.* Recuperado el 01 de octubre de 2010, de <http://www.hazus.org/>
- Hyman, B. (1998). *Fundamentals of Engineering Desig.* New Jersey: Upper Saddle River, Prentice Hall.
- Hyogo. (2005). *Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the resilience of nations and communities to disasters (HFA).* Recuperado el 04 de octubre de 2010, de Conferencia mundial sobre la Reducción de los Desastres, Kobe, Hyogo, Japón: <http://www.unisdr.org/eng/hfa/hfa.htm>
- IDESCAT (Ed.). (2010). *idescat.* (Generalitat de Catalunya) Recuperado el 06 de Julio de 2012, de <http://www.idescat.cat/>

- INE. (2001). *Instituto nacional de estadística de la República Bolivariana de Venezuela*. Recuperado el 2010 de Agosto de 20, de Censo 2001 de Venezuela: <http://www.ine.gov.ve/>
- INGEOMIN. (2010). *Estudio de susceptibilidad ante movimientos en masa aplicado a la poligonal urbana del municipio libertador, Estado Mérida 2009-2010*. Instituto Nacional de Geología y Minería. Proyecto Gestión Integral de Riesgo en Espacios Urbanos, Municipio Libertador, Estado Mérida, Mérida.
- Kalawski, J. P., & Haz, A. M. (2003). Y... ¿Dónde Está la Resiliencia? Una Reflexión Conceptual. *Revista Interamericana de Psicología/Interamerican Journal of Psychology*, 37(2), 365-372.
- Kaufmann, A., & Gil-Aluja, J. (1987). *Técnicas operativas de gestión para el tratamiento de incertidumbre*. Barcelona: Hispano European.
- Klir, G., & Yuan, B. (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic. Theory and applications*. New Jersey : Prentice Hall PTR.
- Laffaille, J. (1996). *Escenario Sísmico de la ciudad de Mérida*. Tesis de Maestría, Instituto de Estadística Aplicada y Computación F.A.C.E.S. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Laffaille, J., & Ferrer, C. (2003). El terremoto del jueves santo en Mérida: año 1812. *Revista Geográfica Venezolana*, 44(1), 107-123.
- Laffaille, J., & Ferrer, C. (2006). Evaluación de las condiciones físicas y análisis de la vulnerabilidad del barrio San José de Las Flores alto y medio (Mérida). Ejemplo de la importancia de la geomorfología en los estudios de microzonificación sísmica. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la UCV*, 21(4), 49-55.
- Lantada, N. (2007). *Evaluación del riesgo sísmico mediante métodos avanzados y técnicas GIS. Aplicación a la ciudad de Barcelona*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Dpto. de Ingeniería del terreno cartográfica y geofísica, Barcelona.
- Lantada, N., Pujades, L. G., & Barbat, A. H. (2009). *Escenarios de riesgo sísmico para la Barcelona*. Pla d'Actuació d'Emergència Municipal (PAEM) en cas de sisme" en coordinació con el Plan de Emergencia SÍsmica de CATaluña (SISMICAT). Barcelona: UPC.
- Lungu, D., Aldea, A., Arion, A., Vacareanu, R., & Cornea, T. (2001). *WPI Report Europea distinctive features, inventory database and typology*. No. of pages 58 (Figs. 18, Tables 48, Appendices 2).
- Marulanda, M. C., Cardona, O. D., & Barbat, A. H. (2009). Robustness of the holistic seismic risk evaluation in urban centers using the USRi. *Natural Hazards*, 49, 501-516.
- McCormack, T. C., & Rad, F. N. (1997). Earthquake loss estimation methodology for buildings based on ATC-13 and ATC-21. *Earthquake Spectra*, 13(4), 605-621.

- Milutinovic, Z. V., & Trendafiloski, G. S. (2003). *WP04. Vulnerability of current buildings. RISK-UE project: An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns. Contract No.EVK4-CT-2000-00014.* Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology (IZI), Skopje. No. of pages 110 (Figs. 18, Tables 48, Appendices 2).
- Ministerio de Obras Públicas. (1976). *Microzonificación sísmica de la meseta de Mérida* (Vol. I y II). Caracas, Venezuela: Publicaciones Técnicas, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Desarrollo Urbanístico, Secretaría Técnica.
- Monge, O., Alexoudi, M., & Argyroudis, S. (2003). *Vulnerability assessment of lifelines and essential facilities (WP06): basic methodological handbook.* 71 pages (13 Figures., 27 Tables, 11 Appendices).
- Mouroux, P., & Le Brun, B. (2006). Risk-Ue Project: An Advanced Approach to Earthquake Risk Scenarios With Application to Different European Towns. En C. S. Oliveira, A. Roca, & X. Goula, *Assessing and Managing Earthquake Risk. Geo-scientific and Engineering Knowledge for Earthquake Risk Mitigation: developments, tools, techniques* (Vol. 2, págs. 479-508).
- Mouroux, P., Bertrand, E., Bour, M., Brun, B. I., Depinois, S., & Masure, P. (2004). *The european Risk-UE project : an advanced approach to Earthquake risk scenarios.* Vancouver, B.C., Canada: 13th World Conference on Earthquake Engineering. Recuperado el 28 de septiembre de 2010, de http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_3329.pdf
- Musson, R., Grüntha, G., & Stucchi, M. (1998). Electronic supplement to the comparison of macroseismic intensity scales.
- NIBS. (16 de marzo de 2010). *National Institute of Building Sciences.* Recuperado el 2010, de <http://www.nibs.org/>
- ONU-Habitat. (2009). *ONU-HABITAT del mundo.* Obtenido de http://www.onuhabitat.org/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=74&Itemid=71
- Padrós, L. (2008). *Indicadors urbans per a un observatori urbà associats a la millora de barris a Yaoundé.* Tesina, UPC, Infraestructura de transporte y territorio.
- PAHO. (1998). *Manual para la Mitigación de Desastres Naturales en Sistemas Rurales de Agua Potable y alcantarillado sanitario-Guías para el análisis de vulnerabilidad.* Organización Panamericana de la Salud (OPS) / PanAmerican Health Organization (PAHO), 110p. Consultado el día 16/03/2010. Disponible en:<http://cidbimena.desastres.hn;> ó; [http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc9816/doc9816.htm.](http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc9816/doc9816.htm)

- Peduzzi, P., Dao, H., Herold, C., & Mouton, F. (2009). Assessing global exposure and vulnerability towards natural hazards: the Disaster Risk Index. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 9, 1149–1159. DOI:10.5194/nhess-9-1149-2009.
- RADIUS. (2000). *Risk Assessment tools for Diagnosis of Urban areas against Seismic Disasters*. Recuperado el 2010 de septiembre de 30, de <http://www.geohaz.org/projects/radius.html>
- Ramírez, N. d., & Saito, S. M. (30 de Abril de 2011). Zonificación de áreas susceptibles a los movimientos en masa: terraza de la Ciudad de Mérida y sus alrededores. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR-*, (págs. 4609-4616). Curitiba, PR, Brasil.
- Rashed, T., & Weeks, J. (2003). Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial multicriteria analysis of urban areas. *International Journal of Geographical Information Science*, 17(6), 547-576.
- Rebotier, J. (2006). Método de localización de los heridos en el caso de un terremoto en la ciudad de Mérida, Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 47, 187-200.
- Ritchey Consulting AB. (2003). *Swedish Morphological Society*. Recuperado el 10 de mayo de 2012, de <http://www.swemorph.com/>
- Ritchey, T. (2011a). General Morphological Analysis A general method for non-quantified modelling. *Adapted from the paper "Fritz Zwicky, Morphologie and Policy Analysis", presented at the 16th EURO Conference on Operational Analysis, Brussels, 1998. Disponible en: <http://www.swemorph.com/pdf/gma.pdf>.*
- Ritchey, T. (2011b). *Wicked Problems - Social Messes: Decision Support Modelling with Morphological Analysis*. London New York: Springer Heidelberg Dordrecht.
- Roberts, N. J., Nadim, F., & Kalsnes, B. (2009). Quantification of vulnerability to natural hazards. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 3(3), 164-173. DOI: 10.1080/17499510902788850.
- Roca, A. (2004). *An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns. WP08: Application to Barcelona Synthesis. RISK-UE-EVK4-CT-2000-00014*.
- Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.
- Sanderson, K. (02 de junio de 2010). Earthquake risk calculator goes global. *Nature*.
- SIGRA. (2008). *Sistema de Información Geográfica de la Región de Los Andes (SIGRA): Dossier 2008 Municipio Libertador Mérida*. Mérida-Venezuela: CORPOANDES.
- Singer, A., Rojas, C., & Lugo, M. (1983). *Inventario Nacional de riesgos Geológicos*. Caracas: Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (Funvisis).

- Smardjieva, E., & Badal, J. (2002). Estimation of the Expected Number of Casualties Caused by Strong Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(6), 2310-2322.
- Stângă, I. C., & Grozavu, A. (2012). Quantifying human vulnerability in rural areas: case study of Tutova Hills (Eastern Romania). (doi:10.5194/nhess-12-1987-2012, Ed.) *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 1987-2001.
- UNDRO. (1980). *Natural Disasters and Vulnerability Analysis, Report of Experts Group Meeting*. Geneva.
- Vacareanu, R., Lungu, D., Aldea, A., & Arion, C. (2004). *WP7 Report Seismic Risk Scenarios Handbook*,. No. of pages 50 (Figs. 14, Tables 8, Appendices 2).
- Villagrán De León, J. C. (2006). *Vulnerability A Conceptual and Methodological Review*. Bonn,Germany: United Nations University, Institute for Environment and Human Security, UNU-EHS. N° 4.
- Yager, R. R., & Filev, D. P. (1994). *Essentials of fuzzy modeling and control*. New york: John Wiley & Sons.
- Zhengru, T., Desheng Dash, W., Zhenlong, Z., & Tao, X. (2010). Earthquake Insurance and Earthquake Risk Management. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 16(3), 524-535.

ANEJO A: INDICADORES SOCIALES

En el anejo A se encuentran cinco tablas y la definición de los 20 indicadores estudiados en esta investigación.

En la Tabla A.1 se muestran los indicadores para la agenda del Hábitat, denominada lista de los indicadores para Estambul+5 que está constituida por: *20 Indicadores clave o principales* -indicadores que son importantes para la formulación de políticas urbanas públicas y también fáciles de recolectar. Y éstos a su vez son números, porcentajes e índices-; *9 listas de datos cualitativos* -aportan una evaluación de las áreas que no se pueden medir fácilmente en términos cuantitativos-; y *13 indicadores extensivos* -con el objetivo de complementar los indicadores claves y las listas de datos cualitativos.

En la Tabla A.2 se muestran la lista de los indicadores definidos para medir los objetivos de desarrollo del milenio para el año 2003.

En la Tabla A.3 se muestran la lista de los indicadores definidos para medir los objetivos de desarrollo del milenio a partir del año 2008.







En la Tabla A.4 se muestran la lista de los indicadores sociales definidos por Carreño (2006).



En la Tabla A.5 se muestra la evaluación del coeficiente de agravamiento para cada una de las combinaciones posibles de seis factores en el caso de estudio.

Tabla A.1: Lista de los indicadores para Estambul+5 (ONU-Habitat, 2009; Padrós, 2008).

Nº	Capítulo	Área primordial	Indicador y/o Dato Cualitativo
1	Vivienda	Posibilitar la seguridad de la tenencia	Indicador 1: <i>regímenes de tenencia</i> Indicador 2: <i>desalojos</i>
		Promover el derecho a vivienda adecuada	Dato cualitativo 1: <i>derecho a vivienda</i> Indicador 3: <i>coeficiente entre precio e ingresos de la vivienda</i>
		Proporcionar igualdad de acceso a la tierra	Indicador 4: <i>coeficiente entre precio de la tierra e ingresos</i>
		Promover igualdad de acceso a créditos	Indicador 5: <i>Préstamos con hipoteca y sin hipoteca</i>
		Promover el acceso a los servicios básicos	Indicador 6: <i>acceso al agua</i> Indicador 7: <i>conexiones domiciliarias</i>
2	Desarrollo social y erradicación de la pobreza	Promover la igualdad de oportunidades para una vida sana y segura	Indicador 8: <i>mortalidad de niños menores de 5 años</i> Indicador 9: <i>tasas de delincuencia</i> Dato cualitativo 2: <i>violencia urbana</i>
		Promover la integración social y apoyar a los grupos desfavorecidos	Indicador 10: <i>hogares pobres</i>
		Promover la igualdad de género en el desarrollo de asentamientos humanos	Indicador 11: <i>brechas entre hombres y mujeres</i>
3	Ordenamiento ambiental	Promover una estructura geográficamente equilibrada de los asentamientos humanos	Indicador 12: <i>crecimiento de la población urbana</i>
		Administrar el suministro y demanda de agua de forma eficaz	Indicador 13: <i>consumo de agua</i> Indicador 14: <i>precio del agua</i>
		Reducir la contaminación en zonas urbanas	Indicador 15: <i>contaminación atmosférica</i> Indicador 16: <i>aguas residuales tratadas</i> Indicador 17: <i>eliminación de desechos sólidos</i>
		Prevenir los desastres y reconstruir los asentamientos	Dato cualitativo 3: <i>prevención de desastres e instrumentos de mitigación</i>
		Promover sistemas de transporte eficaces y ambientalmente racionales	Indicador 18: <i>tiempo de traslado</i> Indicador 19: <i>medios de transporte</i>
		Prestar apoyo para preparar y aplicar planes ambientales locales e iniciativas de la Agenda 21 locales	Dato cualitativo 4: <i>planes ambientales locales</i>
4	Desarrollo económico	Fortalecer las microempresas y pequeñas empresas, particularmente las establecidas por mujeres	Indicador 20: <i>empleo informal</i>
		Fomentar las asociaciones de los sectores público y privado y estimular las oportunidades de empleo productivo	Dato cualitativo 5: <i>asociaciones públicas y privadas</i> Indicador 21: <i>producto urbano</i> Indicador 22: <i>desempleo</i>
5	Gobernabilidad	Promover la descentralización y fortalecer las autoridades locales	Dato cualitativo 6: <i>nivel de descentralización</i>
		Fomentar y apoyar la participación y el compromiso cívico	Dato cualitativo 7: <i>participación ciudadana en las decisiones importantes sobre la planificación</i>
		Garantizar la administración transparente, responsable y eficaz de pueblos, ciudades y zonas metropolitanas	Dato cualitativo 8: <i>transparencia y responsabilidad</i> Indicador 23: <i>ingresos y gastos de los gobiernos locales</i>
6	Cooperación internacional	Fortalecimiento de la cooperación internacional y las asociaciones	Dato cualitativo 9: <i>impulsar la cooperación y las asociaciones internacionales</i>

Tabla A.2: Lista de los indicadores para Objetivos de Desarrollo del Milenio, año 2003.

OBJETIVO	META	l _{ODM} (I.M.#)	INDICADOR
 <p>Objetivo 1: Erradicar la pobreza extrema y el hambre</p>	Meta 1: Reducir a la mitad, entre 1990 y 2015, el porcentaje de personas cuyos ingresos sean inferiores a 1 dólar por día	1	Porcentaje de la población cuyos ingresos son inferiores a 1 dólar por día (valores de PPA).
		2	Coefficiente de la brecha de pobreza (la incidencia de la pobreza multiplicada por la gravedad de la pobreza).
		3	Proporción del consumo nacional que corresponde a la quinta parte más pobre de la población.
	Meta 2: Reducir a la mitad, entre 1990 y 2015, el porcentaje de personas que padezcan hambre	4	Número de niños menores de 5 años de peso inferior al normal.
		5	Porcentaje de la población por debajo del nivel mínimo de consumo de energía alimentaria.
 <p>Objetivo 2: Lograr la enseñanza primaria universal</p>	Meta 3: Velar por que, para el año 2015, los niños y niñas de todo el mundo puedan terminar un ciclo completo de enseñanza primaria	6	Tasa de matrícula neta en la enseñanza primaria.
		7	Porcentaje de los estudiantes que comienzan el primer grado y llegan al quinto grado.
		8	Tasa de alfabetización de las personas de edades comprendidas entre los 15 y los 24 años.
 <p>Objetivo 3: Promover la igualdad entre los sexos y la autonomía de la mujer</p>	Meta 4: Eliminar las desigualdades entre los géneros en la enseñanza primaria y secundaria, preferiblemente para el año 2005, y en todos los niveles de la enseñanza antes del fin del año 2015	9	Relación entre niñas y niños en la educación primaria, secundaria y superior.
		10	Relación entre las tasas de alfabetización de las mujeres y los hombres de edades comprendidas entre los 15 y los 24 años.
		11	Proporción de mujeres entre los empleados remunerados en el sector no agrícola.
		12	Proporción de puestos ocupados por mujeres en el parlamento nacional.
 <p>Objetivo 4: Reducir la mortalidad infantil</p>	Meta 5: Reducir en dos terceras partes, entre 1990 y 2015, la mortalidad de los niños menores de 5 años	13	Tasa de mortalidad de los niños menores de 5 años.
		14	Tasa de mortalidad infantil.
		15	Porcentaje de niños de 1 año vacunados contra el sarampión.
 <p>Objetivo 5: Mejorar la salud materna</p>	Meta 6: Reducir, entre 1990 y 2015, la mortalidad materna en tres cuartas partes	16	Tasa de mortalidad materna.
		17	Porcentaje de partos con asistencia de personal sanitario especializado.
 <p>Objetivo 6: Combatir el VIH/SIDA, el paludismo y otras enfermedades</p>	Meta 7: Haber detenido y comenzado a reducir, para el año 2015, la propagación del VIH/SIDA	18	Tasa de morbilidad del VIH entre las mujeres embarazadas de edades comprendidas entre los 15 y los 24 años.
		19	Tasa de uso de anticonceptivos.
		20	Número de niños huérfanos por causa del VIH/SIDA.
	Meta 8: Haber detenido y comenzado a reducir, para el año 2015, la incidencia del paludismo y otras enfermedades graves	21	Índices de morbilidad y mortalidad palúdicas.
		22	Proporción de la población de zonas de riesgo de paludismo que aplica medidas eficaces de prevención y tratamiento del paludismo.
		23	Tasas de morbilidad y mortalidad asociadas a la tuberculosis.
		24	Proporción de casos de tuberculosis detectados y curados con el tratamiento breve bajo observación directa.

 <p>Objetivo 7: Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente*</p>	<p>Meta 9: Incorporar los principios del desarrollo sostenible en las políticas y los programas nacionales e invertir la pérdida de recursos del medio ambiente</p>	25	Proporción de la superficie de las tierras cubiertas por bosques.
		26	Superficie de las tierras protegidas para mantener la diversidad biológica.
		27	Producto interno bruto (PIB) por unidad de utilización de energía (representa el uso eficiente de la energía).
		28	Emisiones de dióxido de carbono (per cápita) [Más dos indicadores de la contaminación atmosférica global: el agotamiento de la capa de ozono y la acumulación de gases de efecto invernadero].
	<p>Meta 10: Reducir a la mitad, para el año 2015, el porcentaje de personas que carezcan de acceso sostenible a agua potable</p>	29	Proporción de la población con acceso sostenible a mejores fuentes de abastecimiento de agua.
		<p>Meta 11: Haber mejorado considerablemente, para el año 2020, la vida de por lo menos 100 millones de habitantes de tugurios</p>	30
31	Proporción de la población con derecho seguro a la tenencia de tierra [El desglose de varios de estos indicadores por población urbana y rural puede ser pertinente para seguir de cerca el mejoramiento de la vida de los habitantes de barrios de tugurios].		
 <p>Objetivo 8: Fomentar una asociación mundial para el desarrollo*</p>	<p>Meta 12: Desarrollar aún más un sistema comercial y financiero abierto, basado en normas, previsible y no discriminatorio. Se incluye el compromiso de lograr una buena gestión de los asuntos públicos y la reducción de la pobreza, en cada país y en el plano internacional</p> <p>Meta 13: Atender las necesidades especiales de los países menos adelantados. Se incluye el acceso libre de aranceles y cupos de las exportaciones de los países menos adelantados; el programa mejorado de alivio de la deuda de los países pobres muy endeudados y la cancelación de la deuda bilateral oficial, y la concesión de una asistencia para el desarrollo más generosa a los países que hayan expresado su determinación de reducir la pobreza</p> <p>Meta 14: Atender las necesidades especiales de los países sin litoral y de los</p>	<p>32</p> <p>33</p> <p>34</p> <p>35</p> <p>36</p> <p>37</p> <p>38</p> <p>39</p>	<p>En los casos de los países menos adelantados, los países africanos, los países sin litoral y los pequeños Estados insulares en desarrollo, algunos de los indicadores mencionados a continuación se vigilarán por separado.</p> <p>Asistencia oficial para el desarrollo La AOD neta como porcentaje del ingreso nacional bruto (INB) de los países donantes del Comité de Asistencia para el Desarrollo (CAD) (los objetivos son destinar el 0,7% del total del ingreso nacional bruto a la AOD y el 0,15% a los países menos adelantados).</p>
			<p>Asistencia oficial para el desarrollo Proporción de la AOD destinada a los servicios sociales básicos (educación básica, atención primaria de la salud, nutrición, abastecimiento de agua potable y servicios de saneamiento).</p>
			<p>Asistencia oficial para el desarrollo. Proporción de la AOD que no está condicionada.</p>
			<p>Asistencia oficial para el desarrollo. Proporción de la AOD destinada al medio ambiente de los pequeños Estados insulares en desarrollo.</p>
			<p>Asistencia oficial para el desarrollo. Proporción de la AOD destinada al sector del transporte de los países sin litoral Acceso a los mercados.</p>
			<p>Acceso a los mercados. Proporción de las exportaciones (por su valor y sin incluir las armas) admitidas libre de derechos y cupos.</p>
			<p>Acceso a los mercados. Aranceles y cupos medios aplicados a los productos agrícolas y textiles y el vestido.</p>
			<p>Acceso a los mercados. Subsidios a la exportación y la producción de productos agrícolas en los países de la OCDE.</p>

pequeños Estados insulares en desarrollo (mediante el Programa de Acción para el desarrollo sostenible de los pequeños Estados insulares en desarrollo y los resultados del vigésimo segundo período de sesiones de la Asamblea General)	40	Acceso a los mercados. Proporción de la AOD ofrecida para ayudar a crear la capacidad comercial.
	41	Sostenibilidad de la deuda. Proporción de la deuda bilateral oficial de los países pobres muy endeudados que ha sido cancelada.
	42	Sostenibilidad de la deuda Servicio de la deuda como porcentaje de las exportaciones de bienes y servicios.
	43	Sostenibilidad de la deuda Proporción de la AOD ofrecida como alivio de la deuda.
Meta 15: Encarar de manera general los problemas de la deuda de los países en desarrollo con medidas	44	Sostenibilidad de la deuda Número de países que alcanzan los puntos de decisión y de culminación en la iniciativa para la reducción de la deuda de los países muy endeudados.
Meta 16: En cooperación con los países en desarrollo, elaborar y aplicar estrategias que proporcionen a los jóvenes un trabajo digno y productivo	45	Tasa de desempleo de las personas comprendidas entre los 15 y los 24 años.
Meta 17: En cooperación con las empresas farmacéuticas, proporcionar acceso a los medicamentos esencial	46	Proporción de la población con acceso estable a medicamentos esenciales a precios razonable.
Meta 18: En colaboración con el sector privado, velar por que se puedan aprovechar los beneficios de las nuevas tecnologías, en particular de las tecnologías de la información y de las comunicaciones.	47	Número de líneas de teléfono por 1.000 habitantes.
	48	Número de computadoras personales por 1.000 habitantes. Se determinarán otros indicadores.

Fuente: UN-ODM

Tabla A.3: Lista de los indicadores para Objetivos de Desarrollo del Milenio a partir del año 2008, basado en UN-ODM (ONU-Habitat, 2009).

OBJETIVO	Numeración de la meta		META	INDICADOR	Numeración del indicador para 2003	Numeración del indicador a partir de enero 2008	Agencia Internacional responsable del indicador	Preexistente, eliminado, modificado o nuevo
	Para el año 2003	A partir de enero de 2008						
Objetivo 1. Erradicar la pobreza extrema y el hambre	Meta 1	Meta 1.A	Reducir a la mitad, entre 1990 y 2015, el porcentaje de personas cuyos ingresos sean inferiores a 1 dólar por día	Proporción de la población con ingresos inferiores a 1 dólar PPA (paridad del poder adquisitivo) por día (1a)	Indicador 1	Indicador 1.1	Banco Mundial	Preexistente
				Coefficiente de la brecha de pobreza	Indicador 2	Indicador 1.2	Banco Mundial	Preexistente
				Proporción del consumo nacional que corresponde al quintil más pobre de la población	Indicador 3	Indicador 1.3	Banco Mundial	Preexistente
	N/A	Meta 1.B (Nueva meta)	Lograr empleo pleno y productivo, y trabajo decente para todos, incluyendo mujeres y jóvenes	Tasa de crecimiento del PIB por persona empleada	N/A	Indicador 1.4	Banco Mundial	Nuevo
				Relación empleo – población	N/A	Indicador 1.5	OIT	Nuevo
				Proporción de la población ocupada con ingresos inferiores a 1 dólar PPA por día	N/A	Indicador 1.6	OIT	Nuevo
				Proporción de la población ocupada que trabaja por cuenta propia o en una empresa familiar	N/A	Indicador 1.7	OIT	Nuevo
	Meta 2	Meta 1.C	Reducir a la mitad, entre 1990 y 2015, el porcentaje de personas que padecen de hambre	Proporción de niños menores de 5 años con insuficiencia ponderal	Indicador 4	Indicador 1.8	OMS-UNICEF	Preexistente
				Proporción de la población por debajo del nivel mínimo de consumo de energía alimentaria	Indicador 5	Indicador 1.9	FAO	Preexistente
	Objetivo 2. Lograr la enseñanza primaria universal	Meta 3	Meta 2.A	Asegurar que, para el año 2015, los niños y niñas de todo el mundo puedan terminar un ciclo completo de enseñanza primaria	Tasa neta de matriculación en la enseñanza primaria	Indicador 6	Indicador 2.1	Instituto de Estadística de la UNESCO
Proporción de alumnos que comienzan el primer grado y llegan al último grado de enseñanza primaria (2a)					Indicador 7	Indicador 2.2	Instituto de Estadística de la UNESCO	Reformulado
Tasa de alfabetización de las personas de 15 a 24 años, mujeres y hombres					Indicador 8	Indicador 2.3	Instituto de Estadística de la UNESCO	Preexistente
Objetivo 3. Promover la igualdad de género y el empoderamiento de la mujer	Meta 4	Meta 3.A	Eliminar las desigualdades entre los sexos en la enseñanza primaria y secundaria, preferiblemente para el año 2005, y en todos los niveles de la enseñanza para el año 2015	Relación entre niños y niñas en la enseñanza primaria, secundaria y superior	Indicador 9	Indicador 3.1	Instituto de Estadística de la UNESCO	Preexistente
				Proporción de mujeres entre los empleados remunerados en el sector no agrícola	Indicador 11	Indicador 3.2	OIT	Preexistente
				Proporción de escaños ocupados por mujeres en los parlamentos nacionales	Indicador 12	Indicador 3.3	Unión Interparlamentaria (UIP)	Preexistente
Objetivo 4. Reducir la mortalidad de los niños menores de 5 años	Meta 5	Meta 4.A	Reducir en dos terceras partes, entre 1990 y 2015, la mortalidad de los niños menores de 5 años	Tasa de mortalidad de niños menores de 5 años	Indicador 13	Indicador 4.1	UNICEF	Preexistente
				Tasa de mortalidad infantil	Indicador 14	Indicador 4.2	UNICEF	Preexistente
				Proporción de niños de 1 año vacunados contra el sarampión	Indicador 15	Indicador 4.3	OMS/ UNICEF	Preexistente
Objetivo 5. Mejorar la salud materna	Meta 6	Meta 5.A	Reducir, entre 1990 y 2015, la mortalidad materna en tres cuartas partes	Tasa de mortalidad materna	Indicador 16	Indicador 5.1	UNICEF/ OMS	Preexistente
				Proporción de partos con asistencia de personal sanitario especializado	Indicador 17	Indicador 5.2	UNICEF	Preexistente
	N/A	Meta 5.B (Nueva Meta)	Lograr, para el año 2015, el acceso universal a la salud reproductiva	Tasa de uso de anticonceptivos	Indicador 19.c	Indicador 5.3	División de la Población de Naciones Unidas	Preexistente
				Tasa de natalidad entre las adolescentes	N/A	Indicador 5.4	División de la Población de Naciones Unidas	Nuevo

				Cobertura de atención prenatal (al menos una consulta y al menos cuatro consultas)	N/A	Indicador 5.5	OMS	Nuevo
				Necesidades insatisfechas en materia de planificación familiar	N/A	Indicador 5.6	UNFPA/ División de la Población de Naciones Unidas	Nuevo
Objetivo 6. Combatir el VIH/SIDA, el paludismo y otras enfermedades	Meta 7	Meta 6.A	Haber detenido y comenzado a reducir, para el año 2015, la propagación del VIH/SIDA	Prevalencia del VIH/SIDA entre las personas de 15 a 24 años	Contiene el indicador 18	Indicador 6.1	ONU SIDA	Modificado
				Uso de preservativos en la última relación sexual de alto riesgo	Contiene el indicador 19	Indicador 6.2	UNICEF	Modificado
				Proporción de la población de 15 a 24 años que tiene conocimientos amplios y correctos sobre el VIH/SIDA	Contiene el indicador 19	Indicador 6.3	UNICEF	Modificado/reformulado
				Relación entre la asistencia escolar de niños huérfanos y la de niños no huérfanos de 10 a 14 años	Contiene el indicador 20	Indicador 6.4	UNICEF	Modificado/reformulado
	N/A	Meta 6.B	Lograr, para el año 2010, el acceso universal al tratamiento del VIH/SIDA de todas las personas que lo necesiten	Proporción de la población portadora del VIH con infección avanzada que tiene acceso a medicamentos antirretrovirales	N/A	Indicador 6.5	OMS	Nuevo
	Meta 8	Meta 6.C	Haber detenido y comenzado a reducir, para el año 2015, la incidencia del paludismo y otras enfermedades graves	Tasa de Incidencia y mortalidad asociadas al paludismo (6b)	Indicador 21	Indicador 6.6	OMS	Reformulado
				Proporción de niños menores de 5 años que duermen protegidos por mosquiteros impregnados de insecticida (6c)	Indicador 22	Indicador 6.7	UNICEF	Reformulado
				Proporción de niños menores de 5 años con fiebre que reciben tratamiento con los medicamentos adecuados contra el paludismo (6d)	Indicador 22	Indicador 6.8	UNICEF	Reformulado
				Tasa de incidencia, prevalencia y mortalidad asociadas a la tuberculosis (6e)	Indicador 23	Indicador 6.9	OMS	Reformulado
				Proporción de casos de tuberculosis detectados y curados con DOTS (tratamiento breve bajo observación directa)	Indicador 24	Indicador 6.10	OMS	Preexistente
Objetivo 7. Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente	Meta 9	Meta 7.A	Incorporar los principios del desarrollo sostenible en las políticas y los programas nacionales e invertir la pérdida de recursos del medio ambiente	Proporción de la superficie cubierta por bosques	Indicador 25	Indicador 7.1	FOA	Preexistente
				Emisiones de dióxido de carbono (total, per cápita y por cada dólar PPA del PIB) (7a)	Indicador 28a	Indicador 7.2	UNFCC/ CDIAC	Reformulado
				Consumo de sustancias que agotan la capa de ozono	N/A	Indicador 7.3	UNEO-Ozone Secretaritat	Nuevo
				Proporción de poblaciones de peces que están dentro de límites biológicos seguros	N/A	Indicador 7.4	UNEP-WCMC	Nuevo
				Proporción del total de recursos hídricos utilizada	N/A	Indicador 7.5	AQUASTAT- FAO	Nuevo
	N/A	Meta 7.B	Reducir la pérdida de biodiversidad, alcanzando, para el año 2010, una reducción significativa de la tasa de pérdida	Reducir la pérdida de biodiversidad, alcanzando, para el año 2010, una reducción significativa de la tasa de pérdida	Indicador 26	Indicador 7.6	UNEP-WCMC	Reformulado
				Reducir la pérdida de biodiversidad, alcanzando, para el año 2010, una reducción significativa de la tasa de pérdida	N/A	Indicador 7.7	UNEP-WCMC	Nuevo
	Meta 10	Meta 7.C	Reducir a la mitad, para el año 2015, el porcentaje de personas sin acceso sostenible al	Proporción de población que utiliza fuentes mejoradas de abastecimiento de agua potable (7c)	Indicador 30	Indicador 7.8	UNICEF/ OMS	Reformulado
				Proporción de población que utiliza servicios de saneamiento mejorados	Indicador 31	Indicador 7.9	UNICEF/ OMS	Preexistente

			agua potable y a los servicios básicos de saneamiento					
	Meta 11	Meta 7.D	Haber mejorado considerablemente, para el año 2020, la vida de por lo menos 100 millones de habitantes de tugurios	Proporción de población urbana que vive en tugurios (7d)	Indicador 32	Indicador 7.10	UN-HABITAT	Reformulado
Objetivo 8. Fomentar una alianza mundial para el desarrollo	Meta 12	Meta 8.A	Desarrollar aún más un sistema comercial y financiero abierto, basado en normas, previsible y no discriminatorio. Incluye el compromiso de lograr una buena gestión de los asuntos públicos, el desarrollo y la reducción de la pobreza, en los planos nacional e internacional.	Asistencia oficial para el desarrollo (AOD) La AOD neta, total y para los países menos adelantados, en porcentaje del ingreso nacional bruto de los países donantes del Comité de la Asistencia para el desarrollo (CAD) de la OCDE	Indicador 33	Indicador 8.1	OECD	Preexistente
	Meta 13	Meta 8.B	Atender las necesidades especiales de los países menos adelantados. Incluye el acceso libre de aranceles y cupos de las exportaciones de los países menos adelantados; el programa mejorado de alivio de la deuda de los países pobres muy endeudados (PPME) y la cancelación de la deuda bilateral oficial, y la concesión de una asistencia oficial para el desarrollo más generosa a los países que hayan expresado su determinación de reducir la pobreza.	Proporción de la AOD total bilateral y por sectores que los donantes del CAD de la OCDE destinan a servicios sociales básicos (enseñanza básica, atención primaria de la salud, nutrición, abastecimiento de agua potable y servicios de saneamiento)	Indicador 34	Indicador 8.2	OECD	Preexistente
				Proporción de la AOD bilateral de los donantes del CAD de la OCDE que no está condicionada	Indicador 35	Indicador 8.3	OECD	Preexistente
				AOD recibida por los países en desarrollo sin litoral como porcentaje de su ingreso nacional bruto	Indicador 36	Indicador 8.4	OECD	Preexistente
				AOD recibida por los pequeños Estados insulares en desarrollo como proporción de su ingreso nacional bruto	Indicador 37	Indicador 8.5	OECD	Preexistente
				Acceso a los mercados. Proporción del total de importaciones de los países desarrollados (por su valor y sin incluir armamentos) procedentes de países en desarrollo y países menos adelantados, admitidas libres de derechos	Indicador 38	Indicador 8.6		Preexistente
				Aranceles medios aplicados por países desarrollados a los productos agrícolas y textiles, y a las prendas de vestir procedentes de países en desarrollo	Indicador 39	Indicador 8.7		Preexistente
				Estimación de la ayuda agrícola en países de la OCDE como porcentaje de su producto interno bruto	Indicador 40	Indicador 8.8	OECD	Preexistente
				Proporción de la AOD destinada a fomentar la capacidad comercial	Indicador 41	Indicador 8.9		Preexistente
	Meta 14		Atender las necesidades especiales de los países en desarrollo sin litoral y de los pequeños Estados					

Meta 15	Meta 8.C	insulares en desarrollo (mediante el Programa de Acción para el desarrollo sostenible de los pequeños Estados insulares en desarrollo y las decisiones adoptadas en el vigésimo segundo periodo extraordinario de sesiones de la Asamblea General).	Sostenibilidad de la deuda Número total de países que han alcanzado el punto de decisión y número total de países que han alcanzado el punto de culminación en la iniciativa para la reducción de la deuda de los países pobres muy endeudados (PPME) (acumulativo)	Indicador 42	Indicador 8.10	OECD	Preexistente	
	Meta 8.D	Abordar en todas sus dimensiones los problemas de la deuda de los países en desarrollo con medidas nacionales e internacionales a fin de hacer la deuda sostenible a largo plazo.	Alivio de la deuda comprometida conforme a la iniciativa para la reducción de la deuda de los países pobres muy endeudados y la Iniciativa para el alivio de la deuda multilateral	Indicador 43	Indicador 8.11	OECD	Preexistente	
			Servicio de la deuda como porcentaje de las exportaciones de bienes y servicios	Indicador 44	Indicador 8.12		Preexistente	
	Meta 17	Meta 8.E	En cooperación con las empresas farmacéuticas, proporcionar acceso a medicamentos esenciales en los países en desarrollo a precios asequibles.	Proporción de la población con acceso sostenible a medicamentos esenciales a precios asequibles	Indicador 45	Indicador 8.13		Preexistente
	Meta 18	Meta F	En cooperación con el sector privado, dar acceso a los beneficios de las nuevas tecnologías, en particular los de las tecnologías de la información y de las comunicaciones	Líneas de teléfono fijo por cada 100 habitantes (8a) Abonados a teléfonos celulares por cada 100 habitantes (8b) Usuarios de Internet por cada 100 habitantes	Indicador 44 Indicador 47 Indicador 48	Indicador 8.14 Indicador 8.15 Indicador 8.16	UIT UIT UIT	Reformulado Reformulado Preexistente
Notas								
*	Comparación entre el Marco Oficial de Monitoreo para los ODM, reportado en la Asamblea General en su 59a Sesión en 2004 y utilizado en los Reportes de Avance desde esa fecha; y el nuevo Marco de Monitoreo ODM aprobado en la Asamblea General en su 62a Sesión en 2007, y vigente desde el 15 de enero de 2008.							
(1a)	Para el seguimiento de las tendencias de la pobreza en los países, se debería utilizar indicadores basados en las líneas nacionales de pobreza, si se dispone de ellos.							
(2a)	Formulación anterior del actual indicador 2.3, previamente indicador 7: Alumnos que culminan la educación primaria							
(6a)	Formulación anterior del actual indicador 6.1, previamente indicador 18: Tasa de prevalencia del VIH/SIDA, ambos sexos							
(6b)	Formulación anterior del actual indicador 6.6, previamente indicador 21: Tasa de prevalencia y mortalidad asociadas a la malaria							
(6c)	Formulación anterior del actual indicador 6.7, previamente indicador 22: Proporción de la población en áreas de riesgo de malaria, usando tratamientos de prevención efectivos							
(6d)	Formulación anterior del actual indicador 6.8, previamente indicador 22: Proporción de la población en áreas de riesgo de malaria, usando tratamientos de prevención efectivos							
(6e)	Formulación anterior del actual indicador 6.9, previamente indicador 23: Tasa de prevalencia y mortalidad asociadas a la tuberculosis							
(7a)	Formulación anterior del actual indicador 7.2, previamente indicador 28a: Emisiones de dióxido de carbono: totales y per cápita							
(7b)	Formulación anterior del actual indicador 7.6, previamente indicador 26: Proporción de la superficie de las tierras protegidas para mantener la diversidad biológica							
(7c)	Formulación anterior del actual indicador 7.8, previamente indicador 30: Acceso sostenible a mejores fuentes de abastecimiento de agua (urbano, rural)							
(7d)	En la práctica, la proporción de personas que viven en tugurios se calcula a partir de un indicador indirecto, que representa la población urbana cuyo hogar presenta al menos una de las siguientes cuatro características: a) falta de acceso a mejores fuentes de abastecimiento de agua; b) falta de acceso a mejores servicios de saneamiento; c) hacinamiento (3 o más personas por habitación); y d) viviendas construidas con materiales precarios.							

(8a)	Formulación anterior del actual indicador 8.14, previamente indicador 47: Líneas de teléfono por cada 100 habitantes.		
(8b)	Formulación anterior del actual indicador 8.15, previamente indicador 47: Abonados a teléfonos celulares por cada 100 habitantes.		
SIGLAS			
FAO	Organización Mundial de la Agricultura y la Alimentación	UNEP (PNUMA)	United Nations Environmental Programme, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
OECD	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico	UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Ciencia, la Educación y la Cultura
OIT	Organización Mundial del Trabajo	UNFCCC	UN Framework Convention on Climate Change
OMS	Organización Mundial de la Salud	UNICEF	Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia
ONUSIDA	Programa conjunto de las Naciones Unidas sobre el VIH/ SIDA	UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UIP	Unión Interparlamentaria	WCMC	World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC)

Tabla A.4: Lista de los indicadores sociales por Carreño (2006).

Categoría	Indicador	Código
Fragilidad social	Área de barrios marginales	X_{FS1}
	Tasa de mortalidad	X_{FS2}
	Tasa de delincuencia	X_{FS3}
	Índice de disparidad social	X_{FS4}
	Densidad de población	X_{FS5}
Falta de resiliencia	Camas hospitalarias	X_{FR1}
	Recurso humano en salud	X_{FS2}
	Espacio público	X_{FS3}
	Personal de socorro	X_{FS4}
	Nivel de desarrollo de la localidad	X_{FS5}
	Operatividad en emergencias	X_{FS6}

Definición de los indicadores que describen el contexto social

En esta investigación, para describir el contexto social, se seleccionaron inicialmente veinte indicadores (*Indicador i*; $\forall i = 1, 2, \dots, 20$), entre los muchos existentes a nivel mundial, mediante criterios propios de esta investigación, los cuales se clasificaron en seis categorías: 1) Vivienda, 2) Desarrollo social y erradicación de la pobreza, 3) Ordenamiento territorial, 4) Gobernanza, 5) Falta de resiliencia, y 6) Demografía. Cada uno de estos indicadores se describirán a continuación tomando en cuenta: definición, cálculo para estimarle, categoría a la que pertenece que expresa de manera resumida una determinada situación social, la correspondencia con otros indicadores, la concordancia con el objetivo al que pertenece, y a su vez dicho indicador permitirá medir si se logró o no diferentes metas y/o objetivos propuestos por otras fuentes, cómo se explicó en el apartado 2.4.

Categoría C1: Vivienda

La *Categoría Vivienda (C1)* mide la vulnerabilidad social en las edificaciones de una zona urbana mediante dos indicadores, 1 y 2.

Indicador 1 (Área suficiente para vivir): Describe el hacinamiento por vivienda como la proporción de hogares con por lo menos tres personas por habitación. Se estima como el número de viviendas con hacinamiento multiplicado por mil viviendas dividido entre el total de viviendas. Este indicador pertenece a la categoría vivienda; y al objetivo de promover el derecho a una vivienda adecuada. Presenta correlación exacta, parcial o nula con otros indicadores formulados en la Agenda del Hábitat (del año 1996), Estambul+5 (2001) y Objetivos del Milenio (ODM, del año 2008). Es decir es similar al indicador IC.2 de la Agenda del Hábitat, y al indicador 7.10 utilizado en el seguimiento de los objetivos del milenio.

Indicador 2 (Estado de las viviendas): Describe la precariedad en el número de servicios básicos y presenta dos definiciones: 1) Proporción de viviendas, respecto al total de viviendas, que no están conectados (dentro de su unidad habitacional) a, por lo menos, tres de los siguientes servicios: a) agua transportada en tuberías, b) alcantarillado, c) electricidad y d) teléfono; es decir cuantifica por vivienda la carencia de servicios básicos. 2) Proporción de viviendas que presentan un estado no bueno respecto al total de viviendas, es decir la proporción de viviendas que presenten los estados: deficiente, malo, y/o ruinoso. Este indicador se estima como el número de viviendas con déficit de servicio entre el total de viviendas multiplicado por mil viviendas, para la primera opción; mientras que, en la segunda opción se calcula como el cociente entre el número de viviendas que presentan estado no bueno y el total de viviendas multiplicado por mil viviendas. Este indicador pertenece a la

categoría vivienda y da información que sirve para planificar política de planificación para lograr el objetivo de promover el acceso mínimo a los servicios básicos. Este indicador presenta correlación exacta, parcial o nula con otros indicadores formulados por: la Agenda del Hábitat, Estambul+5 y Objetivos del Milenio (ODM). Este indicador está relacionado parcialmente con los indicadores IC.4, IC.5 e IC.6 de la Agenda del Hábitat (del año 1996), con los indicadores 7.9 y 7.10 utilizado en el seguimiento de los objetivos del milenio (2008) y con los indicadores I6, I7 de Estambul+5 (2001).

Categoría C2: Desarrollo social y erradicación de la pobreza

La *Categoría Desarrollo social y erradicación de la pobreza (C2)* mide aspectos sociales de igualdad e integración en el desarrollo de asentamientos urbanos mediante siete indicadores, del 3 al 9.

Indicador 3 (Tasa de mortalidad): Describe el número de muertos por cada mil habitantes. Pertenece a la categoría desarrollo social y erradicación de la pobreza; y al objetivo de promover la igualdad de oportunidades para una vida sana y segura. Es un indicador que presenta correlación exacta-parcial con el indicador de fragilidad social definido como XFS2 en Carreño (2006), ya que, en este caso, se emplea la unidad universal de la tasa de mortalidad. Cuyo cálculo es: Mortalidad General por cada mil habitantes. A nivel mundial se presenta en la Figura A- 1 dicha tasa para el año 2011.

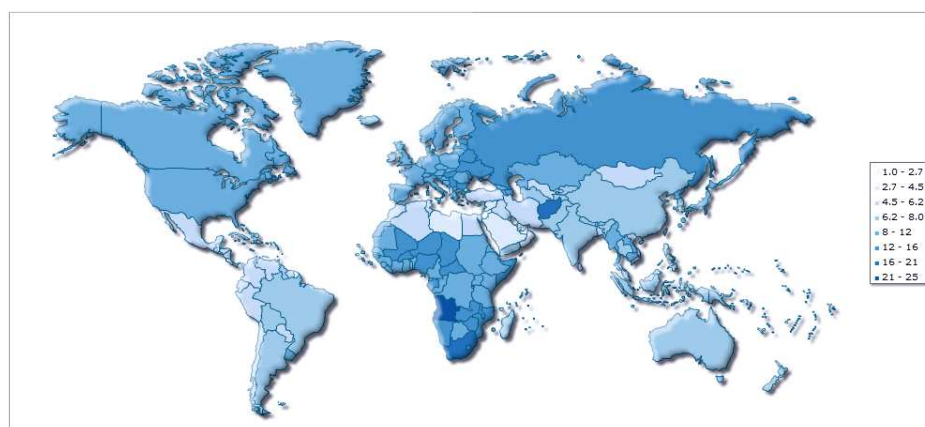


Figura A- 1. Número medio anual de muertes durante un año por cada mil habitantes para el año 2011.

Fuente: <http://www.indexmundi.com/map/?t=0&v=26&r=xx&l=es>

Indicador 4 (Mortalidad infantil): Describe el porcentaje de niños y niñas que mueren antes de llegar al quinto año de vida. Se estima como el número de muertos de niños/as menores de cinco años por cada mil nacidos/as vivos/as durante un año específico. Pertenece

a la categoría desarrollo social y erradicación de la pobreza; en concordancia con el objetivo de promover la igualdad de oportunidades para una vida sana y segura. Es un indicador que presenta correlación exacta con indicadores formulados en la Agenda del Hábitat, Estambul+5 y Objetivos del Milenio (ODM). Es decir, está relacionado exactamente con el indicador IC.7 de la Agenda del Hábitat (del año 1996), con el indicadores 4.1 utilizado en el seguimiento de los objetivos del milenio (2008) y con el indicador I8 de Estambul+5 (2001).

Indicador 5 (Tasa de delincuencia): Describe el número de delitos cada mil habitantes de una zona urbana. Se estima como el número de delitos comunicados por año (víctimas de sexo masculino y femenino) por cada mil habitantes, con respecto a: homicidios, violaciones, y robos. Pertenece a la categoría desarrollo social y erradicación de la pobreza; en concordancia con el objetivo de promover la igualdad de oportunidades para una vida sana y segura. Es un indicador que presenta correlación parcial con el indicador IC.8 de la Agenda del Hábitat (del año 1996), mientras que una correlación total con el indicador I9 de Estambul+5 (2001).

Indicador 6 (Violencia urbana): Describe tanto políticas existentes como el nivel de implementación adecuada para controlar la violencia urbana. Es un indicador cualitativo. Sin embargo, se puede cuantificar al procesar las respuestas de las seis preguntas formuladas (en la misma direccionalidad) asignado un valor a cada una; bajo el siguiente convenio: 1 si es afirmativa (Sí, ninguna); 2 si es negativa (No; mucha) y 1.5 si la respuesta es ambigua o la posibilidad “alguna”. Las preguntas formuladas deben responder en cuanto a la existencia de: 1) áreas consideradas como peligrosas o inaccesibles para la policía (sí o no?); 2) violencia en las escuelas (mucha, alguna, ninguna); 3) ausencia de una política oficial contra la violencia doméstica (sí o no?); 4) ausencia de una política de prevención de delitos (sí o no?); 5) ausencia de una política de control de armas (sí o no?); 6) ausencia de programa (s) de ayuda para las víctimas de la violencia (sí o no?). Posteriormente se totalizan los valores de las seis respuestas; dicho total está comprendido en un rango que va de seis a doce. Cabe destacar que cuando la suma de las respuestas es (o está muy cercano a) seis indica que las políticas de reducción de violencia urbana es bajo o insuficiente, mientras que cuando la suma de las respuestas es (o está cercano a) doce, indica que las políticas de reducción de violencia es muy alto. Este indicador pertenece a la categoría desarrollo social y erradicación de la pobreza; en concordancia con el objetivo de promover la igualdad de oportunidades para una vida sana y segura. Es un indicador que presenta correlación total con el indicador C.L.3 de la Agenda del Hábitat (del año 1996) y con el indicador D.C.2 de Estambul+5 (2001).

Indicador 7 (Hogares Pobres): Describe el porcentaje de hogares dirigidos por mujeres y por hombres, situadas bajo la línea de la pobreza (línea de la pobreza definida a nivel nacional o local). Se estima como el número de viviendas pobres entre el total de viviendas por mil viviendas, es decir viviendas pobres cada mil viviendas. Pertenece a la categoría desarrollo social y erradicación de la pobreza; en concordancia con el objetivo de promover la integración social y apoyar a los grupos desfavorecidos. Es un indicador que presenta correlación total con el indicador IC.9 de la Agenda del Hábitat (del año 1996), y con el indicador I.10 de Estambul+5 (2001); mientras que presenta una correlación parcial con los indicadores 1.1 y 1.2 utilizados en el seguimiento de los objetivos del milenio (2008).

Indicador 8 (Tasa de alfabetización): Describe la proporción de la población según género con edad mayor o igual a quince años y que pueden leer y escribir con la comprensión de un texto corto sobre el cotidiano. Se estima como el cociente entre la población con edad mayor o igual a quince años que puede leer y escribir y la población total con edad ≥ 15 años, expresado en porcentaje. Es importante aclarar que para el fin de esta investigación no se discretiza este indicador aún y cuando la definición hace mención al género. Pertenece a la categoría desarrollo social y erradicación de la pobreza; en concordancia con el objetivo de promover la igualdad en el desarrollo de asentamientos humanos. Es un indicador que presenta correlación total con el indicador IC.10 de la Agenda del Hábitat (1996) y con el indicador 2.3 utilizado en el seguimiento de los objetivos de desarrollo del milenio (2008). En la Figura A- 2 se presenta la tasa de alfabetización a nivel mundial, para el año 2011.

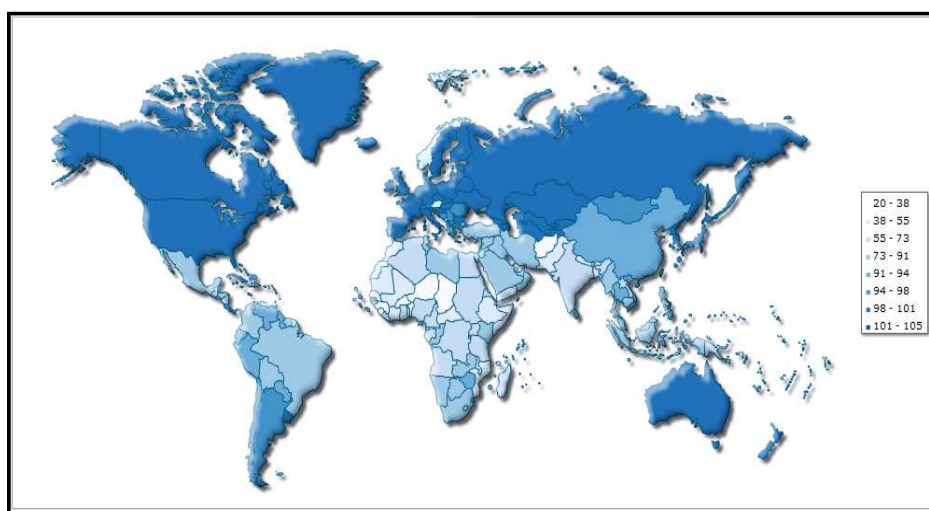


Figura A- 2. Tasa de alfabetización a nivel mundial.

Fuente: <http://www.indexmundi.com/map/?t=0&v=39&r=xx&l=es>

Indicador 9 (Tasa combinada de escolaridad): Describe la cantidad de matriculas en la escuela básica y media (pública y privada) respecto a la población que le corresponde asistir a la escuela (población entre 5 a 19 años). Se estima como la matrícula final (incluyendo la matrícula de educación tanto básica como media) entre la población con edad comprendida entre cinco a diecinueve años, para un periodo escolar anual. Pertenece a la categoría desarrollo social y erradicación de la pobreza; en concordancia con el objetivo de promover la igualdad en el desarrollo de asentamientos humanos. Es un indicador que presenta correlación parcial con los indicadores: I.E.6 de la Agenda del Hábitat (del año 1996); el indicador I.11 de Estambul+5 (2001) y los indicadores 2.1 y 3.1 utilizados en el seguimiento de los objetivos del milenio (2008).

Categoría C3: Ordenamiento territorial

La *Categoría Ordenamiento territorial (C3)* mide como está estructurado los asentamientos urbanos mediante tres indicadores, del 10 al 12.

Indicador 10 (Crecimiento de los asentamientos espontáneos): Describe el crecimiento anual de la población en aglomeración urbana o en las áreas urbanas sin planificación autoconstruidas por los habitantes de los mismos (barrios marginales espontáneos). Se estima mediante la proporción de viviendas autoconstruidas respecto a las viviendas reguladas. Pertenece a la categoría ordenamiento territorial; en concordancia con el objetivo de promover una estructura geográficamente equilibrada de los asentamientos humanos. Es un indicador que presenta correlación parcial con el indicador: I.C.12 de la Agenda del Hábitat (del año 1996).

Indicador 11 (Nivel de ordenamiento urbano): Describe el nivel de planificación de la tierra urbana con objetivo responder a las necesidades de la población. Es un Indicador Cualitativo. Se obtiene mediante información cualitativa dando respuestas a seis preguntas formuladas en la misma dirección: 1)¿En la zona urbana (perteneciente a una ciudad o país) existen códigos de construcción? (Sí/No); 2)¿Se aplica los códigos de construcción en la mayoría de las edificaciones de la zona urbana? (totalmente, parcialmente; No o muy poco); 3)¿En la zona urbana (perteneciente a una ciudad o país) cuenta con mapas de riesgo? (Sí/No); 4)¿En la zona urbana (perteneciente a una ciudad o país) se ha cumplido el no construir en zonas de riesgo? (Sí/No); 5)¿En la zona urbana (perteneciente a una ciudad o país) existen seguros contra desastre para edificios públicos y privados? (Sí/No); 6)¿En la zona urbana (perteneciente a una ciudad o país) el seguro contra desastres es de carácter obligatorio para las edificaciones públicas? (Sí, parcialmente, No). Se procesarán las respuestas, asignado un valor a cada una; 1 sí es afirmativa (Sí o Totalmente); 2 sí es negativa

(No o muy poco) y 1.5 sí la respuesta es “parcialmente”. Posteriormente, se totalizan los valores de las seis respuestas; dicho total estará comprendido en el rango que va desde 6 hasta 12. Cuando la suma de las respuestas está muy cercana a 6 indica que el nivel de ordenamiento territorial urbano es alto o de buena calidad; mientras que sí la suma está cercana a 12 el nivel de ordenamiento territorial urbano es muy bajo. Pertenece a la categoría ordenamiento territorial; y al objetivo de promover una estructura geográficamente equilibrada de los asentamientos humanos. Es un indicador que presenta correlación total con el indicador I.C.12 de la Agenda del Hábitat (1996) y el indicador D.C.3 de Estambul+5 (2001).

Indicador 12 (Proporción de viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo): Describe la proporción de viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo por cada cien mil viviendas. Se estima como el número de viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo entre el total de viviendas por cien mil viviendas. Pertenece a la categoría ordenamiento territorial; en concordancia con el objetivo de prevenir los desastres y reconstruir los asentamientos. Es un indicador que presenta correlación total con el indicador I.E.10 de la Agenda del Hábitat (del año 1996).

Categoría C4: Gobernanza

La *Categoría Gobernanza (C4)* mide el nivel de administración transparente, responsable y eficaz en políticas públicas de una zona urbana, mediante dos indicadores, 13 y 14.

Indicador 13 (Índice de gestión de riesgo-IGR, DMR-): Describe el interés que ha tenido la administración de la zona urbana en la aplicación de políticas públicas con el fin de intervenir en su vulnerabilidad o la amenaza para reducir los riesgos existentes. El IGR se evaluará con base en la valoración cualitativa del desempeño o performance de cuatro aspectos o políticas públicas de la gestión del riesgo: identificación del riesgo, reducción del riesgo, manejo de desastres, protección financiera (transferencia de riesgo) y gobernabilidad. Pertenece a la categoría: gobernanza; en concordancia con el objetivo garantizar la administración transparente, responsable y eficaz de pueblos, ciudades y zonas metropolitanas (Carreño et al., 2005). Se estima mediante un índice que se obtiene procesando la información que darán los expertos de la zona de estudio utilizando el instrumento desarrollado en Carreño (2006), cómo se indica en el enlace: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6241/06Mct06de15.pdf?sequence=6>. El indicador 13 presenta correlación total con el índice de gestión de riesgo propuesto en Carreño (2006).

Indicador 14 (Índice de la percepción de la corrupción-IPC-): Describe, en una escala de cero (percepción de muy corrupto) a diez (percepción de ausencia de corrupción),

los niveles de percepción de corrupción en el sector público en un país determinado y consiste en un índice compuesto, que se basa en diversas encuestas a expertos y empresas. La organización Transparencia Internacional define como corrupción “el abuso del poder encomendado para beneficio personal”. Pertenece a la categoría gobernanza; en concordancia con el objetivo garantizar la administración transparente, responsable y eficaz de pueblos, ciudades y zonas metropolitanas. Es un indicador que presenta correlación total con el índice *Corruption Perceptions Index* (CPI). En la Figura A- 3 se presenta el índice de la percepción de la corrupción para el año 2011.

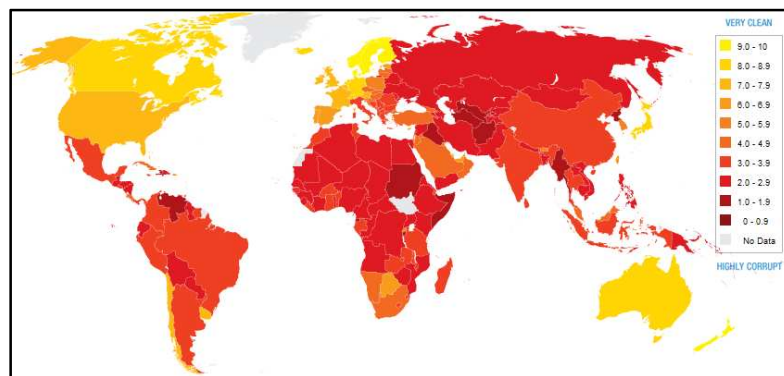


Figura A- 3. Índice de corrupción a nivel mundial para el año 2011.

Fuente: http://www.transparency.org/policy_research/surveys_indices/cpi

Categoría C5: Falta de resiliencia

La *Categoría Falta de Resiliencia (C5)* mide la capacidad de respuesta bajo una emergencia en las zonas urbanas, mediante cuatro indicadores, del 15 al 18.

Indicador 15 (Camas hospitalarias): Describe la cantidad camas de hospitalización existentes por cada mil habitantes de la zona urbana a evaluar. Se estima mediante el número de camas de hospitalización, existentes en la zona urbana a evaluar, multiplicado por mil habitantes dividido en la población de dicha zona. Pertenece a la categoría falta de resiliencia, en concordancia con el objetivo garantizar la capacidad de respuesta bajo una emergencia en zonas urbanas. Es un indicador que presenta correlación total con el indicador XFR1 propuesto por Carreño (2006). Para el año 2011 en la Figura A- 4 se muestra a nivel mundial el número de camas de hospital por cada mil habitantes.

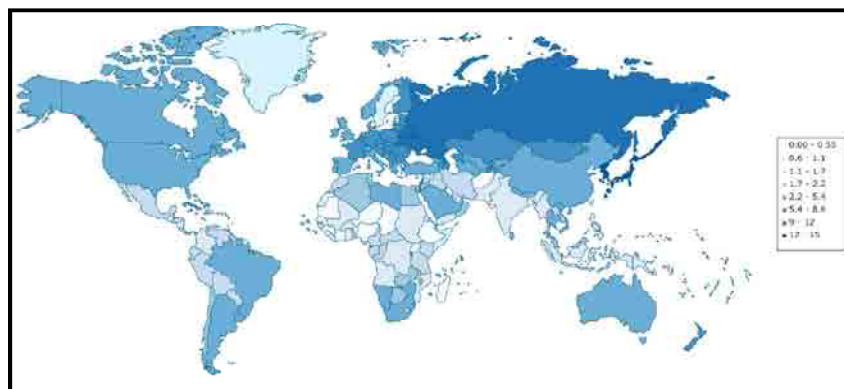


Figura A- 4. Camas de hospital por cada 1000 habitantes a nivel mundial, hasta enero de 2011.

Fuente: <http://www.indexmundi.com>

Indicador 16 (Recurso humano en salud): Describe la cantidad de personal médico existente en la zona urbana a evaluar por cada mil habitantes. Se estima como el número de médicos, existentes en la zona urbana a evaluar, multiplicado por mil habitantes y dividido en la población de dicha zona. Pertenece a la categoría falta de resiliencia, en concordancia con el objetivo garantizar la capacidad de respuesta bajo una emergencia en zonas urbanas. Es un indicador que presenta correlación total con el indicador XFR2 propuesto por Carreño (2006). A nivel mundial, para el año 2011, en la Figura A- 5 se presenta la densidad de médicos por cada mil habitantes.

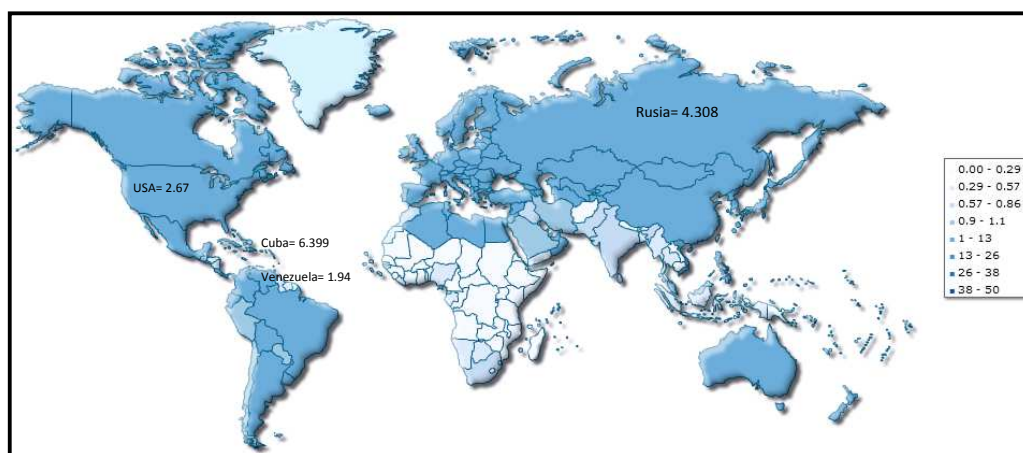


Figura A- 5. Densidad de médicos, incluyendo generalistas y especialistas, por cada mil habitantes, para el año 2011

Fuente: <http://www.indexmundi.com/map/?t=0&v=2226&r=xx&l=es>.

Indicador 17 (Personal de socorro): Describe la cantidad de personal de socorro existente en la zona urbana a evaluar por cada mil habitantes. Se estima como el número del personal de socorro, existente en la zona urbana a evaluar, multiplicado por mil habitantes y dividido en la

población de dicha zona. Pertenece a la categoría falta de resiliencia, en concordancia con el objetivo garantizar la capacidad de respuesta bajo una emergencia en zonas urbanas. Es un indicador que presenta correlación total con el indicador XFR4 propuesto por Carreño (2006).

Indicador 18 (Espacios públicos abiertos): Describe la proporción de espacios públicos abiertos, potencialmente útiles en la atención de emergencias, por cada mil habitantes. Se estima como el área de espacios públicos abiertos entre la población que los requeriría luego de un desastre, expresado en metros cuadrados por habitante. Generalmente, la población que requerirá dichos espacios se puede estimar como un porcentaje (%q) de la población total. Pertenece a la categoría ordenamiento territorial; en concordancia con el objetivo garantizar la capacidad de respuesta bajo una emergencia en zonas urbanas. Es un indicador que presenta correlación parcial con el indicador C.L.6 de la Agenda del Hábitat (del año 1996) y el D.C.4 de Estambul+5 (2001).

Categoría C6: Demografía

La *Categoría Demografía (C6)* mide como es la distribución de la población en los asentamientos urbanos, mediante dos indicadores, 19 y 20.

Indicador 19 (Densidad de población): Describe la densidad de población, se denominada formalmente población relativa, para diferenciarla de la absoluta (que se refiere al número de habitantes), así ésta se refiere a la distribución del número de habitantes en un perímetro de un lugar a través del territorio de una unidad funcional o administrativa (continente, país, estado, provincia, departamento, distrito, condado, parroquia, áreas de construcción, entre otras). A nivel mundial las superficies usualmente se expresan en kilómetros cuadrados (km²), así, la densidad es obtenida comúnmente con unidades de habitantes por km². Consecuentemente, dentro de un mismo país, generalmente, las regiones urbanas tienen una mayor densidad demográfica que las rurales. Se estima como el número de habitantes entre el área construida, esta última expresada en kilómetros cuadrados. Pertenece a la categoría demografía; en concordancia con el objetivo de conocer la distribución de la población en los asentamientos humanos. El indicador 20 presenta correlación total con el indicador XFS5 formulado por Carreño (2006).

Indicador 20 (Crecimiento población urbana): Describe crecimiento anual de la población en aglomeración urbana o en las áreas urbanas nacionales durante los últimos cinco años de referencia (por ejemplo: 1998-2003). Es la tasa anual. Se estima como la tasa anual del crecimiento de la población urbana. Pertenece a la categoría demografía; en concordancia con el objetivo de conocer la distribución de la población de los asentamientos humanos. Es un indicador que presenta correlación total con los indicadores: I.C.11 de la Agenda del Hábitat (del año 1996); el indicador I.12 de Estambul+5 (2001).

En la Tabla A.5 se indica por parroquia los valores numéricos del coeficiente de agravamiento para las diferentes combinaciones (32 combinaciones, una en cada fila de la tabla). Se observa que en la mayoría de los casos y en todas las parroquias el nivel de agravamiento corresponde a un nivel medio (ver celdas en color amarillo), el cual corresponde al nivel obtenido para la mejor combinación de factores contribuyentes al agravamiento asociados a los indicadores sociales de mayor jerarquía por categoría (Ver tercera fila de la Tabla A.5, o Ver en la Tabla 6-24 columnas del caso 2).

Sin embargo, según la Tabla A.5, solo en dos parroquias se presenta cambio de nivel de agravamiento para algunas de las combinaciones. Específicamente, en la parroquia Caracciolo Parra Pérez se presenta un nivel alto de agravamiento en solo dos combinaciones de las 32 combinaciones disponibles para el caso de estudio, es decir, en los valores de coeficiente de agravamiento correspondiente a las combinaciones presentadas en la fila 6 -F(V1, DS5, O3, G1, F1,D2)- y en la fila 22 -F(V2, DS6, O3, G1, F1,D2)- de dicha tabla, ver celdas en color naranja. Mientras que, en la parroquia Domingo Peña se presenta un nivel bajo de agravamiento en solo cuatro combinaciones de las 32 combinaciones posibles para el caso de estudio, es decir en los valores de coeficiente de agravamiento correspondiente a las combinaciones presentadas en las filas 6, 14 -F(V1, DS6, O3, G1, F1,D2)-, 22 y 30 -F(V2, DS6, O3, G1, F1,D2)- de la Tabla A.5.

Tabla A.5: Valores numéricos del coeficiente de agravamiento para diferentes combinaciones de seis factores contribuyentes a F asociados a indicadores sociales, uno por categoría.

		Parroquias de la ciudad de Mérida-Venezuela										
Fila	Coeficiente de agravamiento asociado a seis indicadores sociales	Antonio Spinetti Dini	Arias	Caracciolo Parra Pérez	Domingo Peña	El Llano	Juan Rodríguez Suárez	Lasso de la Vega	Mariano Picón Salas	Milla	Osuna Rodríguez	Sagrario
1	F(V1, DS5, O2, G1, F1,D1)	0.538	0.483	0.420	0.432	0.383	0.341	0.440	0.497	0.494	0.451	0.532
2	F(V1, DS5, O2, G1, F1,D2)	0.444	0.476	0.528	0.335	0.343	0.338	0.460	0.372	0.443	0.444	0.435
3	F(V1, DS5, O2, G1, F3,D1)	0.538	0.483	0.360	0.516	0.440	0.338	0.380	0.440	0.494	0.424	0.528
4	F(V1, DS5, O2, G1, F3,D2)	0.444	0.476	0.468	0.419	0.401	0.334	0.400	0.314	0.443	0.417	0.431
5	F(V1, DS5, O3, G1, F1,D1)	0.439	0.524	0.498	0.374	0.460	0.462	0.518	0.554	0.556	0.500	0.582
6	F(V1, DS5, O3, G1, F1,D2)	0.345	0.518	0.606	0.277	0.421	0.459	0.538	0.429	0.504	0.493	0.485
7	F(V1, DS5, O3, G1, F3,D1)	0.439	0.524	0.438	0.458	0.518	0.459	0.457	0.497	0.556	0.473	0.578
8	F(V1, DS5, O3, G1, F3,D2)	0.345	0.518	0.546	0.361	0.479	0.456	0.478	0.372	0.504	0.466	0.481
9	F(V1, DS6, O2, G1, F1,D1)	0.514	0.446	0.413	0.421	0.380	0.338	0.423	0.491	0.469	0.434	0.529
10	F(V1, DS6, O2, G1, F1,D2)	0.420	0.440	0.521	0.324	0.341	0.335	0.443	0.365	0.418	0.427	0.433
11	F(V1, DS6, O2, G1, F3,D1)	0.514	0.446	0.353	0.505	0.438	0.335	0.363	0.434	0.469	0.407	0.525
12	F(V1, DS6, O2, G1, F3,D2)	0.420	0.440	0.521	0.324	0.341	0.335	0.443	0.365	0.418	0.427	0.433
13	F(V1, DS6, O3, G1, F1,D1)	0.415	0.488	0.491	0.363	0.458	0.460	0.501	0.548	0.530	0.484	0.579
14	F(V1, DS6, O3, G1, F1,D2)	0.321	0.481	0.599	0.267	0.419	0.456	0.521	0.422	0.479	0.477	0.483
15	F(V1, DS6, O3, G1, F3,D1)	0.415	0.488	0.430	0.447	0.516	0.456	0.440	0.491	0.530	0.457	0.575
16	F(V1, DS6, O3, G1, F3,D2)	0.322	0.481	0.538	0.351	0.476	0.453	0.460	0.365	0.479	0.450	0.479
17	F(V2, DS5, O2, G1, F1,D1)	0.537	0.474	0.419	0.420	0.380	0.338	0.426	0.504	0.493	0.425	0.527
18	F(V2, DS5, O2, G1, F1,D2)	0.443	0.467	0.527	0.323	0.341	0.335	0.446	0.378	0.441	0.418	0.431
19	F(V2, DS5, O2, G1, F3,D1)	0.537	0.474	0.358	0.504	0.438	0.334	0.366	0.447	0.493	0.398	0.523
20	F(V2, DS5, O2, G1, F3,D2)	0.443	0.467	0.466	0.407	0.398	0.331	0.386	0.321	0.441	0.391	0.427
21	F(V2, DS5, O3, G1, F1,D1)	0.438	0.516	0.496	0.362	0.458	0.459	0.504	0.561	0.554	0.474	0.577
22	F(V2, DS5, O3, G1, F1,D2)	0.344	0.509	0.604	0.265	0.419	0.456	0.524	0.435	0.503	0.467	0.481
23	F(V2, DS5, O3, G1, F3,D1)	0.438	0.516	0.436	0.446	0.515	0.456	0.444	0.504	0.554	0.447	0.573
24	F(V2, DS5, O3, G1, F3,D2)	0.344	0.509	0.544	0.349	0.476	0.452	0.464	0.378	0.503	0.440	0.477
25	F(V2, DS6, O2, G1, F1,D1)	0.513	0.438	0.411	0.409	0.378	0.335	0.409	0.497	0.467	0.408	0.525
26	F(V2, DS6, O2, G1, F1,D2)	0.420	0.431	0.519	0.312	0.339	0.332	0.429	0.371	0.416	0.401	0.428
27	F(V2, DS6, O2, G1, F3,D1)	0.514	0.438	0.351	0.493	0.435	0.332	0.349	0.440	0.467	0.381	0.521
28	F(V2, DS6, O2, G1, F3,D2)	0.420	0.431	0.519	0.312	0.339	0.332	0.429	0.371	0.416	0.401	0.428
29	F(V2, DS6, O3, G1, F1,D1)	0.414	0.479	0.489	0.351	0.456	0.456	0.487	0.554	0.529	0.458	0.575
30	F(V2, DS6, O3, G1, F1,D2)	0.321	0.473	0.597	0.254	0.417	0.453	0.507	0.429	0.477	0.451	0.478
31	F(V2, DS6, O3, G1, F3,D1)	0.415	0.479	0.429	0.435	0.513	0.453	0.427	0.497	0.529	0.431	0.571
32	F(V2, DS6, O3, G1, F3,D2)	0.321	0.473	0.537	0.338	0.474	0.450	0.447	0.372	0.477	0.424	0.474

ANEJO B: EVALUACIÓN LINGÜÍSTICA DEL RIESGO FÍSICO

El anejo B está constituido por tres aspectos:

- ❖ Instrumento desarrollado en esta investigación, para establecer los niveles de daño físico debido a una amenaza natural dada en los elementos expuestos de una determinada zona urbana..... B-3
- ❖ Herramienta informática para obtener el nivel de riesgo físico debido a una amenaza natural dada, procesar la información recopilada con el instrumento anterior, desarrollada en esta investigación..... B-18
- ❖ Descriptores de daño físico en Barcelona-España para las intensidades VI y VII..... B-20



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



Evaluación lingüística del riesgo físico debido a la amenaza natural i (H_i) en la ciudad

_____.

Doctoranda:

Nayive Jaramillo Santana

Dirigida por

Martha Liliana Carreño T.

Nieves Lantada Z.

1 Tabla de Contenido

1	Tabla de Contenido.....	B-4
2	Introducción	B-5
3	Factores de riesgo físico para una amenaza natural.....	B-7
4	Valoración lingüística de los descriptores de daño físico	B-9
5	Definición de los descriptores de riesgo físico	B-10
6	Asignación de la valoración lingüística de los descriptores que definen los factores compactos contribuyentes al riesgo físico.....	B-14
7	Asignación de la valoración lingüística de riesgo físico.....	B-16

2 Introducción

El riesgo físico es un indicador compuesto, que permite predecir el nivel de daño que va a sufrir una zona urbana expuesta a una o a varias amenazas, por una variedad de factores asociados a daños físicos, como por ejemplo: áreas destruidas, daños en la red de acueductos, cantidad de personas que mueren, número de heridos, número de personas que se quedan sin viviendas, entre otros.

De acuerdo con la metodología propuesta en Cardona (2001), posteriormente modificada por Carreño (2006), para estimar el índice de riesgo físico, éste se obtiene mediante una suma ponderada de factores contribuyentes al mismo, los cuales vienen asociados a diferentes daños físicos, producto de una amenaza natural, a la que una zona urbana se ve expuesta, como se indica en la ecuación B-1.

$$R_{Fi} = \sum_{j=1}^{n_{ji}} W_{RFji} * F_{RFji}$$

Ecuación B-1

Donde:

R_{Fi} es el riesgo físico debido a la amenaza natural i (H_i).

n_{ji} es número de factores contribuyentes al riesgo físico debido a la amenaza natural i (H_i).

F_{RFji} es el factor contribuyente j al riesgo físico debido a la amenaza natural i .

W_{RFji} es el peso de participación del factor contribuyente F_{RFji} al riesgo físico.

Con base en conceptos de lógica difusa, cada uno de los factores contribuyentes al riesgo físico se obtienen mediante la transformación de un indicador dado de daño físico (descriptor relacionado a daños físicos), a través de funciones de transformación para permitir que dichos factores sean mensurables o aditivos. Dichos factores contribuyentes al riesgo físico toman valores entre cero y uno. Las funciones de transformación presentan un punto de riesgo mínimo definido en las abscisas por el valor numérico mínimo de descriptor relacionado con el daño físico seleccionado y en las ordenadas un valor de 0 para el factor contribuyente de riesgo físico. Mientras que el punto de riesgo máximo correspondiente, en las abscisas al valor numérico máximo del descriptor relacionado al daño físico seleccionado y en las ordenadas un valor de 1 para el factor contribuyente, ver Figura B-1.

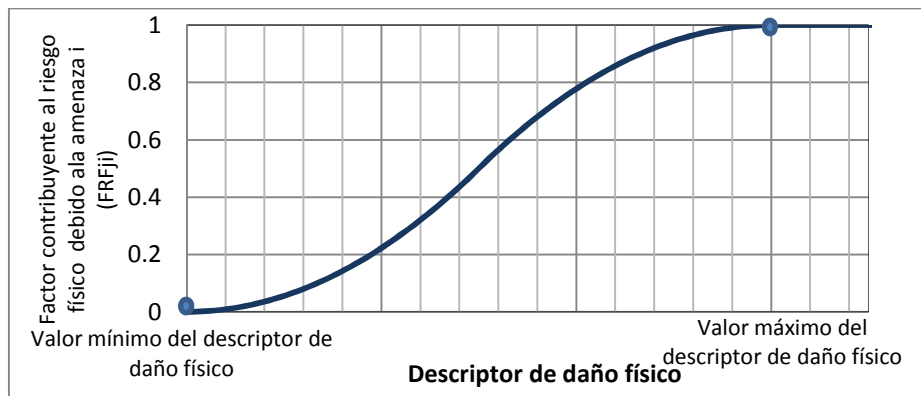


Figura B - 1. Función de transformación de un indicador de daño físico.

Una variedad de los daños físicos permiten definir los descriptores o indicadores de riesgo físico. Éstos se pueden representar de diferentes maneras mediante, entre las que se encuentran las siguientes:

- Tasas o proporciones de daños que experimentarán los elementos expuestos (un edificio o conjunto de éstos, hospitales, un puente, líneas vitales, población humana, entre otros) respecto a algún “patrón” de comparación (total de los elementos expuestos o un fragmento de éstos, como una cantidad de población-mil habitantes-, o un área determinada-área construida-, entre otros).
- Lo que en la literatura se conoce como prima pura de riesgo (*Pure Premium Rate*¹) asociado a una determinada amenaza y a un tipo de elemento expuesto. Este tipo de prima permite medir el valor de la pérdida anual esperada en un determinado tipo de elemento expuesto a una determinada amenaza y, generalmente, se expresa en tanto por mil (‰). De esta manera, los indicadores de daño se expresan mediante una unidad única (unidad monetaria por cada mil unidades monetarias del valor del tipo de elemento expuesto).
- Variables lingüísticas que expresen por medio de palabras el nivel de daño que sufrirán los elementos expuestos debido a la amenaza considerada.

El uso de una determinada representación de los indicadores de daño físico (proporción o tasa de daño, prima pura de riesgo, variables lingüísticas) en los elementos expuestos de una zona urbana amenazada por peligros naturales está sujeto, entre otros a: la disponibilidad de información existente sobre la zona, el juicio de valor de los expertos evaluadores del riesgo físico, la exactitud y la precisión que se desee alcanzar. Sin embargo, independientemente de la representación que se empleé, en una evaluación numérica del riesgo físico, siempre se utilizan funciones de transformación para obtener los factores contribuyentes del riesgo físico a partir de descriptores de daño físico.

¹ *Pure Premium Rate* en Zhengru et. al. (2010); *Prima técnica de riesgo* en ERN: Evaluación de Riesgos Naturales-América Latina.

Dado que una zona urbana puede verse afectada simultáneamente por diferentes amenazas naturales, resulta interesante poder estimar el riesgo físico multiamenaza que ocurriría en ella, debido a la interacción simultánea o sucesiva de las amenazas naturales a considerar. Tarea que resulta compleja por todos los cálculos numéricos que requiere. Sin embargo, se pretende dar una solución a la carencia de evaluación del tipo multiamenazas del riesgo físico en una zona urbana, mediante variables lingüísticas, con el fin de que se considere en los procesos de planificación y programación presupuestal.

3 Factores de riesgo físico para una amenaza natural.

Los factores de riesgo físico (F_{RFji}) para las diferentes amenazas naturales ($H_i, i = 1, \dots, m$) se clasifican de manera compacta en tres grupos: (Véase Figura B-2)

- ❖ FDP: factor asociado al daño físico predominante generado en una zona urbana a evaluar.
- ❖ FVS: factores asociados a las víctimas que se generarán en la zona urbana. Entre los tipos de víctimas se tiene las personas: a) fallecidas (muertos), b) heridas, c) que pierden su hogar (Homeless).
- ❖ FLV: factores asociados al daño en las líneas vitales existentes en la zona urbana. Entre las líneas vitales se encuentra el sistema: para agua potable, de vialidad, entre otros.

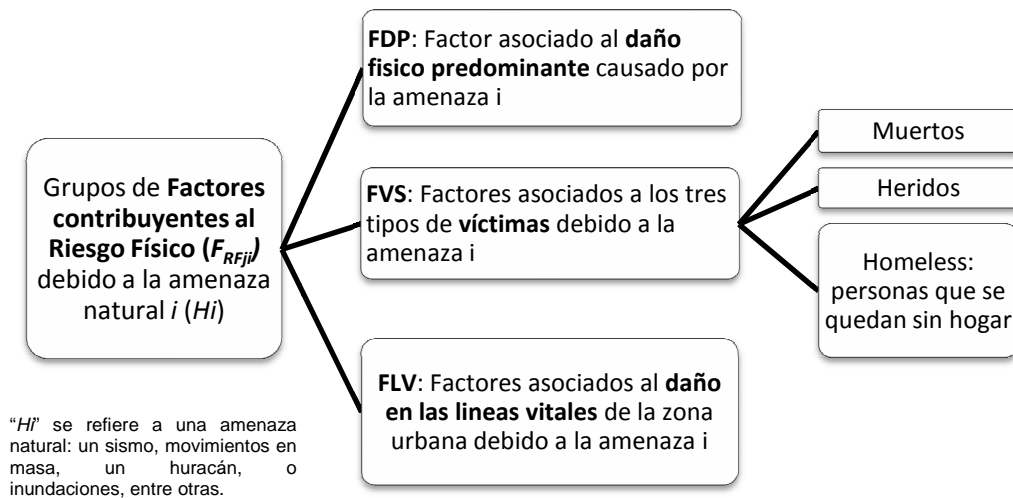


Figura B - 2. Diagrama descriptivo de la clasificación de factores contribuyentes al riesgo físico.

En la Tabla B-1 se señalan, para diferentes amenazas naturales (H_i), los factores contribuyentes al riesgo físico, pertenecientes a los tres grupos o clases de factores, en este caso se considera $n_{ji} = 6$. También se expresa la medida de unidad que pueden presentar los indicadores o descriptores de daño físico. Y, se especifican las ponderaciones propuestas para cada uno de los factores de riesgo físico (WF_{RFji} , con $j=1, \dots, 6$).

Tabla B-1: Factores de Riesgo Físico para diferentes amenazas naturales

Factores de Riesgo Físico asociado a los descriptores de daño físico:						
Tipo de Amenaza (i)	Daño físico predominante	Víctimas			Daños en las Líneas Vitales	
	F_{RF1i}	F_{RF2i}	F_{RF3i}	F_{RF4i}	F_{RF5i}	F_{RF6i}
Sismo	Área destruida por sismos (edificios colapsados) o Prima de riesgo sísmico	Muertos (*)	Heridos (*)	Personas que se quedan sin hogar (*)	Daño en los sistemas de agua potable o Prima de riesgo sísmico para daños de líneas viales: Agua potable	Daño en los sistemas de vialidad o Prima de riesgo sísmico para daños de líneas viales: Sistema de vialidad
Tsunami	Área destruida por Tsunami o, Prima de riesgo a Tsunami	Muertos (*)	Heridos (*)	Personas que se quedan sin hogar (*)	Daño en los sistemas de agua potable o Prima de riesgo a Tsunami para daños de líneas viales: Agua potable.	Daño en los sistemas de vialidad o Prima de riesgo a Tsunami para daños de líneas viales: Sistema de vialidad
Inundaciones	Área destruida por Inundaciones, o, Prima de riesgo a Inundaciones	Muertos (*)	Heridos (*)	Personas que se quedan sin hogar (*)	Daño en los sistemas de agua potable Daño en los sistemas de agua potable o Prima de riesgo a Inundaciones para daños de líneas viales: Agua potable.	Daño en los sistemas de vialidad o Prima de riesgo a Inundaciones para daños de líneas viales: Sistema de vialidad
Movimientos en masa	Área destruida por movimientos en masa, o, Prima de riesgo a movimientos en masa	Muertos (*)	Heridos (*)	Personas que se quedan sin hogar (*)	Daño en los sistemas de agua potable o Prima de riesgo a movimientos en masa para daños de líneas viales: Agua potable.	Daño en los sistemas de vialidad o Prima de riesgo a movimientos en masa para daños de líneas viales: Sistema de vialidad
Ponderaciones de los factores	$WF_{RF1i} = 0.29$	$WF_{RF2i} = 0.16$	$WF_{RF3i} = 0.21$	$WF_{RF4i} = 0.14$	$WF_{RF5i} = 0.10$	$WF_{RF6i} = 0.10$
(*) Se pueden obtener por medio de los modelos de predicción correspondientes a la amenaza que se considere, por ejemplo: en Hazus (FEMA, 1999), Risk-UE (Roca, 2004; Coburn & Spence, 1992) existen modelos para las víctimas debido a la amenaza sísmica. En Peduzzi et al. (2009) existen expresiones de víctimas tipo “muertos” debido a diferentes amenazas.						

Sin embargo, para trabajar de una manera más compacta se definen tres factores contribuyentes al riesgo físico asociados a los daños físicos: *daño físico predominante*, *afectación de la población* y *afectación en las líneas vitales*, debido a una determinada amenaza natural, Tabla B-2, (WF_{RFij} , con $j=1, \dots, 3$).

Tabla B-2: Factores compactos de riesgo físico para diferentes amenazas naturales

Factores de riesgo físico compactos asociado a los descriptores de daño físico:			
Tipo de Amenaza (i)	Daño físico predominante	Afectación de la población	Afectación de las líneas vitales
	F_{RF1i}	F_{RF2i}	F_{RF3i}
Sismo	Área destruida por sismos (edificios colapsados) o Prima de riesgo sísmico	Porcentaje de habitantes de la población afectada por sismos, se incluirá las personas afectadas por los tres tipos de víctimas (personas que pierden su hogar, personas heridas y fallecidas)	Daño en los sistemas de líneas vitales o Prima de riesgo sísmico para daños de líneas viales.
Tsunami	Área destruida por Tsunami o, Prima de riesgo a Tsunami	Porcentaje de habitantes de la población afectada por tsunami, se incluirá las personas afectadas por los tres tipos de víctimas (personas que pierden su hogar, personas heridas y fallecidas)	Daño en los sistemas de líneas vitales o Prima de riesgo a Tsunami para daños de líneas viales.
Inundaciones	Área destruida por Inundaciones, o, Prima de riesgo a Inundaciones	Porcentaje de habitantes de la población afectada por inundación, se incluirá las personas afectadas por los tres tipos de víctimas (personas que pierden su hogar, personas heridas y fallecidas)	Daño en los sistemas de líneas vitales o Prima de riesgo a Inundaciones para daños de líneas viales
Movimientos en masa	Área destruida por movimientos en masa, o, Prima de riesgo a movimientos en masa	Porcentaje de habitantes de la población afectada por movimientos en masa, se incluirá las personas afectadas por los tres tipos de víctimas (personas que pierden su hogar, personas heridas y fallecidas)	Daño en los sistemas líneas vitales o Prima de riesgo a movimientos en masa para daños de líneas viales
Ponderaciones de los factores	$WF_{RF1i} = 0.39$	$WF_{RF2i} = 0.44$	$WF_{RF3i} = 0.17$

4 Valoración lingüística de los descriptores de daño físico

Una vez definido los factores contribuyentes al riesgo físico asociado a cada amenaza natural, cada experto podrá suministrar la evaluación de cada indicador de daño físico asociado a la amenaza considerada. Dicha evaluación, teniendo como base su criterio y experiencia profesional, se ha de ajustar a una de las cinco variables lingüísticas, que definen los niveles de cada descriptor en esta encuesta, siguientes: MUY BAJO (N_1), BAJO (N_2), MEDIO (N_3), ALTO (N_4), MUY ALTO (N_5) de acuerdo al criterio mostrado en la Tabla B-3 y la Figura B-3.

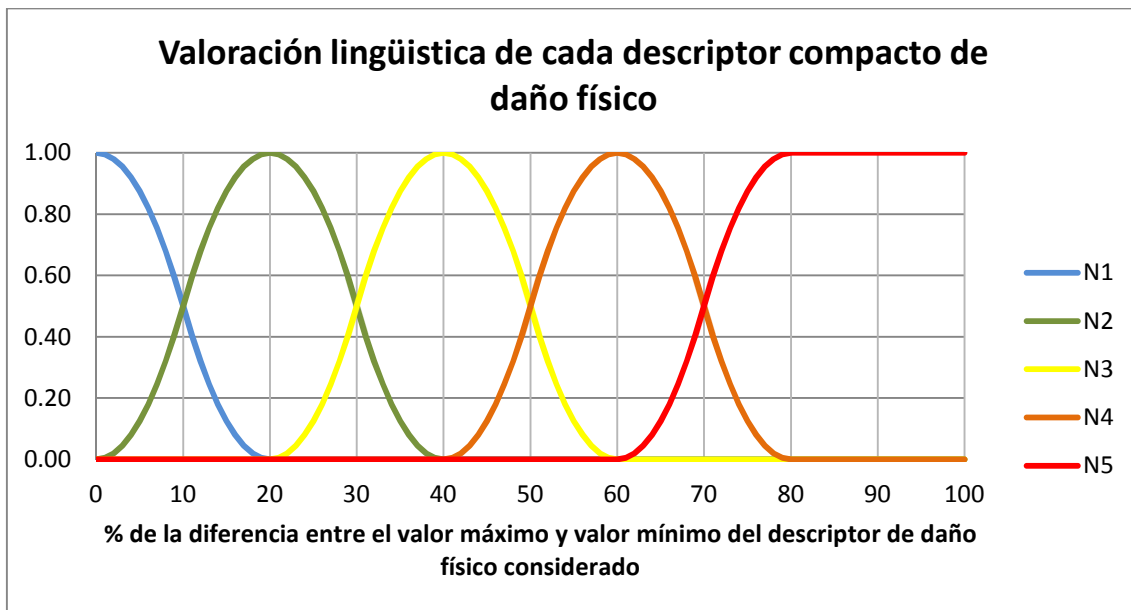


Figura B-3. Variables lingüísticas, N_k , $k=1$ hasta 5, para los cinco niveles de daño físico.

5 Definición de los descriptores de riesgo físico

Daño predominante: Es un descriptor de riesgo físico que da cuenta del área destruida por la amenaza natural i (H_i) considerada; el cual se determina por el porcentaje de área construida destruida por una amenaza natural H_i . Este se puede estimar mediante metodologías como el ATC-13 (ATC 1985), HAZUS u otras similares para el caso de una amenaza sísmica, o su equivalente en el caso de otras amenazas naturales. Vale mencionar que el descriptor de daño predominante tiene valores que van desde 0% hasta 20% del área construida, que corresponden a los puntos mínimo y máximo de riesgo, respectivamente; valores de este descriptor por encima de 20% se mantienen en el punto de máximo riesgo. Ver Figura B-1.

Afectación en la población: es un descriptor de riesgo físico que da cuenta de la cantidad de personas afectadas, o víctimas, que se pueden generar en una zona urbana debido a una amenaza natural. Las víctimas se clasifican en: *personas fallecidas* (descriptor muertos), *personas heridas* (descriptor heridos), *personas que pierden su hogar* (descriptor personas que se quedan sin hogar). El descriptor afectación en la población compacta en un único descriptor los tres tipos de descriptores de víctimas. Para cualquier tipo de amenaza natural H_i se fijan como puntos de mínimo y máximo riesgo para los casos en que el número de personas afectadas son 0 y 425 por cada 1000 habitantes, respectivamente. Su valoración lingüística se plantea en correspondencia con el porcentaje de población afectada por una amenaza natural determinada. Ver Tabla B-3.

Muertos: Es el descriptor de riesgo físico que da cuenta del número de personas fallecidas; el cual se estima como el cociente entre el número probable de muertos y el número de habitantes de la zona a estudiar. En número de muertos se estima de acuerdo con técnicas apropiadas para cada tipo de amenaza, tales como, las propuestas en el ATC 13, el HAZUS por Coburn y Spence (1992) u otras similares para el caso de una amenaza sísmica. Para cualquier tipo de amenaza natural H_i se fijan como puntos de mínimo y máximo riesgo para los casos en que el número de muertos son 0 y 50 por cada 1000 habitantes, respectivamente.

Heridos: Es el descriptor de riesgo físico que da cuenta del número de víctimas del tipo heridos, el cual se estima como el cociente entre el número probable de personas heridas y el número de habitantes de la zona a estudiar. El número de personas heridas probables se estima de acuerdo con técnicas como las propuestas en el ATC 13, el HAZUS (FEMA 1999) por Coburn y Spence (1992) u otras similares, para el caso de una amenaza sísmica. Para cualquier tipo de amenaza natural H_i se fijan como puntos de riesgo mínimo y máximo para los casos en que el número de heridos son 0 y 75 por cada 1000 habitantes, respectivamente.

Personas que se quedan sin hogar (*Homeless*): Es el descriptor de riesgo físico que da cuenta del número de víctimas del tipo personas que se quedan sin hogar, el cual se estima como el cociente entre el número probable de personas que se quedan sin hogar (*homeless*) y el número de habitantes de la zona de estudio. El número de personas que se quedan sin hogar se estima de acuerdo con técnicas como las propuestas en RISK-UE u otras similares. Para cualquier tipo de amenaza natural H_i se fijan como puntos de riesgo mínimo y máximo para los casos en que el número de personas que se quedan sin hogar son 0 y 300 por cada 1000 habitantes, respectivamente.

Afectación en las líneas vitales: Es un descriptor de riesgo físico que da cuenta de los daños físicos en las líneas vitales de una zona urbana debido a una amenaza natural dada: *daño en el sistema de agua potable, daño en el sistema de vialidad*, entre otros. Para cualquier tipo de amenaza natural H_i se fijan como puntos de mínimo y máximo riesgo para los casos en que el porcentaje de infraestructura de las líneas vitales afectadas son 0% y 50%, respectivamente. Su valoración lingüística se plantea en correspondencia con el porcentaje del sistema de infraestructura de las líneas vitales afectadas por una amenaza natural determinada. Ver Tabla B-3.

Daño en los sistemas de agua potable: Es el descriptor de riesgo físico que da cuenta del número de roturas que se presentarían en la red de abastecimiento de agua potable por kilómetro de red debido a la amenaza natural H_i a considerar en la zona de estudio. Para el caso de la amenaza sísmica, el número de roturas que presentarían en la red de abastecimiento de agua potable puede ser estimado de acuerdo con metodologías propuestas en ATC 13 (1985), HAZUS (FEMA, 1999), PAHO (1998), entre otras. Para cualquier tipo de amenaza natural H_i se fijan los límites de mínimo y máximo riesgo para los casos donde el número de roturas por kilómetro de red son cero y diez, respectivamente.

Daño medio en los sistemas de vialidad: Es el descriptor de riesgo físico que da cuenta del daño medio de la vialidad afectada, el cual se estima como el daño medio ponderado con la longitud en metros de la vialidad afectada respecto a la longitud total de la vialidad debido a la amenaza natural H_i a considerar en la zona de estudio. Para el caso de la amenaza sísmica el daño medio por tipo de vialidad (arteriales, colectores, vialidad local, entre otras) puede ser estimado de acuerdo a la metodología HAZUS (FEMA1999) entre otras. Para cualquier tipo de amenaza natural H_i se fijan los límites de mínimo y máximo riesgo para los casos donde el daño medio ponderado son 0.5 y 3, respectivamente.

Para establecer una relación entre los valores numéricos de los descriptores de riesgo físico compactos y las posibles valoraciones lingüísticas de éstos, se expresan rangos numéricos correspondientes a cada uno de los cinco niveles lingüísticos propuestos para el nivel de daño físico. Ver Tablas B-3.

Tabla B-3. Rango de valores numéricos por los descriptores compactos de riesgo físico para una escala lingüística de cinco niveles

Rango de valores numéricos por descriptores compactos de riesgo físico para una escala lingüística de cinco niveles (Ni, con i=1 hasta 5)					
Descriptor compacto de riesgo físico	Nivel N ₁ : Muy bajo	Nivel N ₂ : Bajo	Nivel N ₃ : Medio	Nivel N ₄ : Alto	Nivel N ₅ : Muy Alto
Daño predominante	Se destruye menos del 2% del área construida.	Se destruye de 2% a 6% del área construida.	Se destruye de 6% a 10% del área construida.	Se destruye de 10% a 14% del área construida.	Se destruye más del 14% del área construida
Afectación en la población	Se afecta menos del 4% de la población en la zona urbana. Es decir se contempla que las víctimas por cada mil habitantes son y se clasifican en: De 0 a 7.0 personas heridas, De 0 a 30 personas que se quedan sin hogar; y de 0 a 5 personas fallecidas.	Se afecta del 4% al 13% de la población en la zona urbana. Es decir se contempla que las víctimas por cada mil habitantes son y se clasifican en: De 7.0 a 23 personas heridas, De 30 a 90 personas que se quedan sin hogar, De 5 a 15 personas fallecidas.	Se afecta del 13% al 21% de la población en la zona urbana. Es decir se contempla que las víctimas por cada mil habitantes son y se clasifican en: De 23 a 38 personas heridas, De 90 a 150 personas que se quedan sin hogar, De 15 a 25 personas fallecidas.	Se afecta del 21% al 30% de la población en la zona urbana. Es decir se contempla que las víctimas por cada mil habitantes son y se clasifican en: De 38 a 53 personas heridas, De 150 a 210 personas que se quedan sin hogar, De 25 a 35 personas fallecidas.	Se afecta más del 30% de la población en la zona urbana. Es decir se contempla que las víctimas por cada mil habitantes son y se clasifican en: más de 53 personas heridas, más de 210 personas que se quedan sin hogar, más de 35 personas fallecidas.
Afectación en las líneas vitales	Se afecta menos del 5% de la infraestructura de las líneas vitales, es decir los daños son mínimos y localizados en algunos elementos que normalmente no necesitan reparación para mantener su operatividad. Por ejemplo en los sistemas de agua potable el daño es de 0 a 1 rotura por km.	Se afecta del 5% al 15% de la infraestructura de las líneas vitales, es decir los daños son significativos localizados en bastantes elementos y que deben ser reparados. Por ejemplo en los sistemas de agua potable el daño es de 1 a 3 roturas por km.	Se afecta del 15% al 30% de la infraestructura de las líneas vitales, es decir los daños son generales, es necesario efectuar reparaciones importantes. Por ejemplo en los sistemas de agua potable el daño es de 3 a 5 roturas por km.	Se afecta del 30% al 50% de la infraestructura de las líneas vitales, es decir los daños son graves que pueden interrumpir la operatividad o la función de los elementos. Se ha de reparar, sustituir o derribar. Por ejemplo en los sistemas de agua potable el daño es de 5 a 7 roturas por km.	Se afecta más del 50% de la infraestructura de las líneas vitales, es decir los daños son muy graves y se presenta destrucción del elementos e inutilidad total de las líneas vitales. Por ejemplo en los sistemas de agua potable el daño es más de 7 roturas por km.

6 Asignación de la valoración lingüística de los descriptores que definen los factores compactos contribuyentes al riesgo físico.

Las Tablas B-4, B-5 y B-6 presentan los descriptores de daño físico compacto que se deben evaluar, señalando mediante una X el nivel de daño físico esperado en las zonas urbanas establecidas (ver primera columna de las tablas), debido a la amenaza natural en la que usted es experto. Para la evaluación se utilizarán las descripciones dadas en la Tabla B-1 y el apartado 2. Fundamente su respuesta en su experiencia y conocimientos, tanto sobre el riesgo físico como sobre la zona urbana. Además, considere el criterio de clasificación del nivel de daño físico que contempla las cinco variables lingüísticas siguientes: (solo debe tomar un valor para cada uno de los descriptores)

- N1: MUY BAJO,
- N2: BAJO,
- N3: MEDIO,
- N4: ALTO,
- N5: MUY ALTO.

Entre las diversas amenazas naturales que pueden afectar una zona urbana se encuentran:

H1: Amenaza de origen sísmico (Sismo).

H2: Amenaza de origen hidrológico (Inundaciones).

H3: Amenaza geológica/hidrológica (Movimientos en masa).

H4: Otro tipo de amenaza (indíquelo) _____.

¿Marque con una X sólo una opción debajo del tipo de amenaza natural en que usted se considera un experto?

H1	H2	H3	H4

Nombre: _____

Correo electrónico: _____

Lugar de trabajo: _____

Tabla B-4: Asignación de los niveles de daño físico para el descriptor DAÑO PREDOMINANTE debido a la amenaza natural en que usted es experto.

<p>Dada su experiencia y conocimiento en la amenaza natural seleccionada, ¿Cuál es el nivel de daño físico que usted estima para el descriptor DAÑO PREDOMINANTE en la zona urbana indicada?</p> <p>Marque con una X debajo del nivel que usted seleccione.</p>					
ZONA	MUY BAJO (N ₁)	BAJO (N ₂)	MEDIO (N ₃)	ALTO (N ₄)	MUY ALTO (N ₅)
Ciudad en general					
Subsector 01 de la ciudad					
.					
.					
.					

Tabla B-5: Asignación de los niveles de daño físico para el descriptor AFECTACIÓN EN LA POBLACIÓN debido a la amenaza natural en que usted es experto.

<p>Dada su experiencia y conocimiento en la amenaza natural seleccionada, ¿Cuál es el nivel de daño físico que usted estima para el descriptor AFECTACIÓN EN LA POBLACIÓN en la zona urbana indicada?</p> <p>Marque con una X debajo del nivel que usted seleccione.</p>					
ZONA	MUY BAJO (N ₁)	BAJO (N ₂)	MEDIO (N ₃)	ALTO (N ₄)	MUY ALTO (N ₅)
Ciudad en general					
Subsector 01 de la ciudad					
.					
.					
.					

Tabla B-6: Asignación de los niveles de daño físico para el descriptor AFECTACIÓN EN LAS LÍNEAS VITALES debido a la amenaza natural en que usted es experto.

<p>Dada su experiencia y conocimiento en la amenaza natural seleccionada, ¿Cuál es el nivel de daño físico que usted estima para el descriptor AFECTACIÓN EN LAS LINEAS VITALES en la zona urbana indicada?</p> <p>Marque con una X debajo del nivel que usted seleccione.</p>					
ZONA	MUY BAJO (N ₁)	BAJO (N ₂)	MEDIO (N ₃)	ALTO (N ₄)	MUY ALTO (N ₅)
Ciudad en general					
Subsector 01 de la ciudad					
.					
.					
.					

7 Asignación de la valoración lingüística de riesgo físico.

Establezca en la Tabla B-7 el nivel de riesgo físico para la ciudad de Mérida debido a la amenaza natural en que Usted es experto y el nivel de certeza (α). Fundamente su respuesta de acuerdo a su experiencia y conocimientos, tanto sobre el riesgo físico como sobre la zona urbana. Además, considere, también, el criterio de clasificación del nivel de riesgo que contempla las cinco variables lingüísticas siguientes: (sólo debe tomar un valor)

- N1: MUY BAJO,
- N2: BAJO,
- N3: MEDIO,
- N4: ALTO,
- N5: MUY ALTO.

El nivel de certeza (α) corresponde al nivel de confianza que usted como experto tiene acerca de su respuesta del nivel de riesgo. Por la naturaleza del problema, el nivel de certeza sólo puede adoptar valores entre 50% y 100%.

Tabla B-7. Asignación del nivel de riesgo físico en la ciudad ____ debido a la amenaza natural en que usted es experto.

<p>Dada su experiencia y conocimiento, ¿Cuál es el nivel de riesgo físico que usted estima para la ciudad de ____ debido a la amenaza natural seleccionada?</p> <p>Marque con una X debajo del nivel que usted considere.</p>					<p>¿Cuál es el Nivel de certeza (α) de su respuesta?</p> <p>$50\% \leq \alpha \leq 100\%$</p>
<p>MUY BAJO (N₁)</p>	<p>BAJO (N₂)</p>	<p>MEDIO (N₃)</p>	<p>ALTO (N₄)</p>	<p>MUY ALTO (N₅)</p>	

Procesamiento de las variables recolectadas mediante el instrumento de evaluación lingüística del riesgo físico (RF).

La información que se deriva de aplicar el instrumento propuesto en este anejo, se procesa mediante dos funciones que permiten procesar variables lingüísticas, programadas en el lenguaje de Matlab: *CalcRF_L* (Figura B - 4), *Calculo_RF* (Figura B - 5). Así, finalmente se obtienen para cada amenaza natural considerada las variables de entradas requeridas en la metodología propuesta de evaluación lingüística del riesgo físico multiamenaza, es decir: el nivel de riesgo físico ($N_{RF_{Hi}}$) y el nivel de pertenencia (α_i), según la opinión de expertos en riesgo, que cada una de las amenazas naturales seleccionadas que golpean una zona urbana-ver apartado 3.6.2 del capítulo 3.

El instrumento descrito anteriormente proporciona por amenaza natural y para cada zona urbana establecida las variables de entrada de la función *Calculo_RF*: *NDF1*, *NDF2* y *NDF3*, que corresponden con la estimación del nivel de daño que presenta cada descriptor de daño físico: daño predominante (Tabla B-4), afectación en la población (Tabla B-5) y afectación en las líneas vitales (Tabla B-6), respectivamente. El nivel de daño para cada descriptor puede presentar un valor entero comprendido desde 1 hasta 5. Indicando 1: *Nivel muy bajo*; 2: *Nivel bajo*; 3: *Nivel medio*; 4: *Nivel alto*; y 5: *Nivel muy alto*. Finalmente, las salidas de la función *CalcRF_L*, específicamente: $RF(i, 2)$ corresponde con $N_{RF_{Hi}}$, y $RF(i, 4)$ corresponde con α_i . Dichos valores son las variables de entrada de la metodología lingüística multiamenaza, *MHARLA*, propuesta en el capítulo 4, para cada amenaza natural H_i .

```
function CalcRF_L()
fid = fopen('resrf.txt','w');
load RF.dat
for i=1:1:numero-de-sub-zonas
    Calculo_RF(RF(i,1),RF(i,2),RF(i,3),RF(i,4),fid)
end
fclose(fid)
```

Figura B - 4. Programa que define la función CalcRF_L.

<pre> function Calculo_RF(ZonaU,NDF1,NDF2,NDF3,f id) PesoF1=0.39; PesoF2=0.44; PesoF3=0.17; %Pesos asignados por el experto de la %amenaza Hi % %Definición de funciones de pertenencia %para niveles de daño x=[0:0.01:100]; MuyBajo=[0 20]; Bajo=[0 20 20 40]; Medio=[20 40 40 60]; Alto=[40 60 60 80]; MuyAlto=[60 80]; MF_MuyBajo=zmf(x,MuyBajo); MF_Bajo=pimf(x,Bajo); MF_Medio=pimf(x,Medio); MF_Alto=pimf(x,Alto); MF_MuyAlto=smf(x,MuyAlto); if(NDF1==1) CalDP1=MF_MuyBajo*PesoF1; elseif (NDF1==2) CalDP1=MF_Bajo*PesoF1; elseif(NDF1==3) CalDP1=MF_Medio*PesoF1; elseif(NDF1==4) CalDP1=MF_Alto*PesoF1; elseif(NDF1==5) CalDP1=MF_MuyAlto*PesoF1; end if(NDF2==1) CalAP2=MF_MuyBajo*PesoF2; elseif (NDF2==2) CalAP2=MF_Bajo*PesoF2; elseif(NDF2==3) CalAP2=MF_Medio*PesoF2; elseif(NDF2==4) </pre>	<pre> CalAP2=MF_Alto*PesoF2; elseif(NDF2==5) CalAP2=MF_MuyAlto*PesoF2; end if(NDF3==1) CalAL3=MF_MuyBajo*PesoF3; elseif (NDF3==2) CalAL3=MF_Bajo*PesoF3; elseif(NDF3==3) CalAL3=MF_Medio*PesoF3; elseif(NDF3==4) CalAL3=MF_Alto*PesoF3; elseif(NDF3==5) CalAL3=MF_MuyAlto*PesoF3; end RFOoutput_mf=max([CalDP1;CalAP2;CalAL3]); RF=defuzz(x,RFOoutput_mf,'centroid'); RFs=smf(RF,[0 100]); %pertenencia a cada nivel de riesgo físico w_MB=zmf(RF,MuyBajo); w_B=pimf(RF,Bajo); w_M=pimf(RF,Medio); w_A=pimf(RF,Alto); w_MA=smf(RF,MuyAlto); %Definición del nivel de riesgo físico W=max([w_MB;w_B;w_M;w_A;w_MA]); if(W==w_MB) Nivel=1; elseif (W==w_B) Nivel=2; elseif(W==w_M) Nivel=3; elseif(W==w_A) Nivel=4; elseif(W==w_MA) Nivel=5; end fprintf(fid,'%2f %2f %6.3f %6.3f %6.3f\n',ZonaU, Nivel,RF,RFs,W); </pre>
--	--

Figura B - 5. Programa que define la función Calculo_RF.

ANEJO C: ESTRATEGIAS PARA MEJORAR EL CONTEXTO SOCIAL DE UNA ZONA URBANA.

Este anejo se conforma de quince tablas. Una tabla para cada uno de los trece indicadores sociales predominantes que dan cuenta del contexto social de una zona urbana, donde se presentan, sobre el modelo morfológico propuesto¹, las diferentes estrategias que permiten mejorar el indicador social particular, basado en la matriz de consistencia². Por otra parte, se explica cómo se deben ejecutar las estrategias propuestas, para lo cual en la Tabla C - 14 se presenta la concordancia entre las estrategias formuladas y los indicadores que permiten obtener el índice de gestión de riesgo (Carreño, 2006). Y se presenta un ejemplo de los niveles de desempeño de una estrategia.

A continuación se indica el número de cada tabla, su contenido, y página de ubicación:

Tabla C - 1: Estrategias recomendadas para disminuir el indicador V1 con el propósito de disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.	C-4
Tabla C - 2: Estrategias recomendadas para disminuir el indicador V2 con el propósito de disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.	C-5
Tabla C - 3: Estrategias recomendadas para disminuir el indicador DS5 con el propósito de disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.	C-6
Tabla C - 4: Estrategias recomendadas para aumentar el indicador DS6 con el propósito de disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.	C-7
Tabla C - 5: Estrategias recomendadas para disminuir el indicador O1 con el propósito de disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.	C-8
Tabla C - 6: Estrategias recomendadas para disminuir el indicador O2 con el propósito de disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.	C-9
Tabla C - 7: Estrategias recomendadas para disminuir el indicador O3 con el propósito de disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.	C-10
Tabla C - 8: Estrategias recomendadas para aumentar el indicador G1 con el propósito de disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.	C-11
Tabla C - 9: Estrategias recomendadas para aumentar el indicador F1 con el propósito de disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.	C-12
Tabla C - 10: Estrategias recomendadas para aumentar el indicador F2 con el propósito de disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.	C-13
Tabla C - 11: Estrategias recomendadas para aumentar el indicador F3 con el propósito de disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.	C-14

¹ ver Tabla 5-12 (capítulo 5).

² ver Tabla 5-13 (capítulo 5).

Tabla C - 12: Estrategias recomendadas para disminuir el indicador D1 con el propósito de disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.	C-15
Tabla C - 13: Estrategias recomendadas para disminuir el indicador D2 con el propósito de disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.	C-16
Tabla C - 14: Correspondencia de las estrategias propuestas para disminuir el factor de agravamiento (F) y los indicadores formulados por Carreño (2006) para estimar el índice de gestión de riesgo.....	C-17
Tabla C - 15: Niveles de desempeño de la estrategia RR6 o EDF6 (Carreño, 2006)	C-18

Tabla C - 1: Estrategias recomendadas para disminuir el indicador V1 con el propósito de disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.

Grupo 1: Identificación del contexto social		Grupo 2: Estrategias de capacitación		Grupo 3: Estrategias de desarrollo socio-económico		Grupo 4: Estrategias de desarrollo físico		Grupo 5: Mejora de la gobernabilidad			
V1	Área insuficiente para vivir	I1	Identificar los indicadores de vulnerabilidad social utilizando bases de datos (de INE: Instituto de Estadística - nacional y/o regional-; de OUI - observadores urbanos-). En caso de que no existan previamente bases de datos se debe realizar la recopilación pertinente y crearlas.	C1	Capacitación y Educación en gestión de riesgos (IR6).	EDS1	Promover la integración social y apoyar a los grupos desfavorecidos.	EDF1	Promover una correcta ubicación y distribución de las áreas de los asentamientos urbanos existentes o a desarrollar (garantizando así una estructura geográfica equilibrada en éstos).	EG1	Organización y coordinación de operaciones de emergencia (MD1).
V2	Estado de la vivienda	I2	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Identificación del Riesgo (IR).	C2	Educación Básica.	EDS2	Mejorar la participación social, mediante políticas públicas (existentes o a desarrollar) de participación ciudadana.	EDF2	Implementación de técnicas de protección y control de fenómenos peligrosos (RR3).	EG2	Planificación de la respuesta en caso de emergencia y sistemas de alerta (MD2).
DS5	Hogares pobres	I3	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Reducción del riesgo (RR).	C3	Capacitación y educación en Técnica Profesional.	EDS3	Planificación Familiar.	EDF3	Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos (RR4).	EG3	Dotación de equipos, herramientas e infraestructura en protección civil (MD3).
DS6	Tasa de alfabetización	I4	Identificación del nivel de desempeño en la política pública Gestión de Desastres (MD).	C4	Información pública y participación comunitaria (IR5).			EDF4	Actualización y control de la aplicación de normas y códigos de construcción (RR5).	EG4	Simulación, actualización y prueba de la respuesta interinstitucional (MD4).
O1	Crecimiento de los asentamientos espontáneos	I5	Identificación del nivel de desempeño en la política pública Gobernabilidad y protección Financiera (PF).	C5	Preparación y capacitación de la comunidad en respuesta a emergencia (MD5).			EDF5	Intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados (RR6).	EG5	Planificación para la rehabilitación y reconstrucción (MD6)
O2	Nivel de ordenamiento urbano							EDF6	Integración del riesgo en la definición de usos y la planificación (RR1).	EG6	Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada (PF1).
O3	Proporción viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo							EDF7	Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental (RR2).	EG7	Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional (PF2).
G1	Índice de gestión de riesgo (IGR, DRM)									EG8	Localización y movilización de recursos de presupuesto (PF3).
F1	Camas hospitalarias									EG9	Implementación de redes y fondos de seguridad (PF4).
F2	Recursos humanos en salud									EG10	Seguros y estrategias de transferencia de pérdidas activos públicos (PF5).
F3	Personal de socorro									EG11	Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado (PF6).
D1	Densidad de población									EG12	Mejorar el sistema sanitario
D2	Crecimiento población urbana										

Tabla C - 2: Estrategias recomendadas para disminuir el indicador V2 con el propósito de disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.

	Grupo 1: Identificación del contexto social		Grupo 2: Estrategias de capacitación		Grupo 3: Estrategias de desarrollo socio-económico		Grupo 4: Estrategias de desarrollo físico		Grupo 5: Mejora de la gobernabilidad	
	Indicador	Descripción	Indicador	Descripción	Indicador	Descripción	Indicador	Descripción	Indicador	Descripción
V1	Área insuficiente para vivir	Identificar los indicadores de vulnerabilidad social utilizando bases de datos (de INE: Instituto de Estadística - nacional y/o regional-; de OU - observadores urbanos-). En caso de que no existieran previamente bases de datos se debe realizar la recopilación pertinente y crearlas.	C1	Capacitación y Educación en gestión de riesgos (IR6).	EDS1	Promover la integración social y apoyar a los grupos desfavorecidos.	EDF1	Promover una correcta ubicación y distribución de las áreas de asentamientos urbanos existentes o a desarrollar (garantizando así una estructura geográfica equilibrada en éstos).	EG1	Organización y coordinación de operaciones de emergencia (MD1).
V2	Estado de la vivienda	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Identificación del Riesgo (IR).	C2	Educación Básica.	EDS2	Mejorar la participación social, mediante políticas públicas (existentes o a desarrollar) de participación ciudadana.	EDF2	Implementación de técnicas de protección y control de fenómenos peligrosos (RR3).	EG2	Planificación de respuesta en caso de emergencia y sistemas de alerta (MD2).
DS5	Hogares pobres	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Reducción del riesgo (RR).	C3	Capacitación y educación en Técnica-Profesional.	EDS3	Planificación Familiar.	EDF3	Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos (RR4).	EG3	Dotación de equipos, herramientas e infraestructura en protección civil (MD3).
DS6	Tasa de alfabetización	Identificación del nivel de desempeño en la política pública Gestión de Desastres (MD).	C4	Información pública y participación comunitaria (IR5).			EDF4	Actualización y control de la aplicación de normas y códigos de construcción (RR5).	EG4	Simulación, actualización y prueba de la respuesta interinstitucional (MD4).
O1	Crecimiento de los asentamientos espontáneos	Identificación del nivel de desempeño en la política pública Gobernabilidad y protección Financiera (PF).	C5	Preparación y capacitación de la comunidad en respuesta a emergencia (MD5).			EDF5	Intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados (RR6).	EG5	Planificación para la rehabilitación y reconstrucción (MD6)
O2	Nivel de ordenamiento urbano						EDF6	Integración del riesgo en la definición de usos y la planificación (RR1).	EG6	Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada (PF1).
O3	Proporción viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo						EDF7	Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental (RR2).	EG7	Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional (PF2).
G1	Índice de gestión de riesgo (IGR, DRM)								EG8	Localización y movilización de recursos de presupuesto (PF3).
F1	Camas hospitalarias								EG9	Implementación de redes y fondos de seguridad (PF4).
F2	Recursos humanos en salud								EG10	Seguros y estrategias de transferencia de pérdidas activos públicos (PF5).
F3	Personal de socorro								EG11	Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado (PF6).
D1	Densidad de población								EG12	Mejorar el sistema sanitario
D2	Crecimiento población urbana									

Tabla C - 3: Estrategias recomendadas para disminuir el indicador DS5 con el propósito de disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.

	Grupo 1: Identificación del contexto social	Grupo 2: Estrategias de capacitación	Grupo 3: Estrategias de desarrollo socio-económico	Grupo 4: Estrategias de desarrollo físico	Grupo 5: Mejora de la gobernabilidad
V1	Identificar los indicadores de vulnerabilidad social utilizando bases de datos (de INE: Instituto de Estadística -nacional y/o regional-; de OU -observadores urbanos-). En caso de que no existan previamente bases de datos se debe realizar la recopilación pertinente y crearlas.	C1	EDS1	EDF1	EG1
V2	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Identificación del Riesgo (IR).	C2	EDS2	EDF2	EG2
DS5	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Reducción del riesgo (RR).	C3	EDS3	EDF3	EG3
DS6	Identificación del nivel de desempeño en la política pública Gestión de Desastres (MD).	C4		EDF4	EG4
O1	Identificación del nivel de desempeño en la política pública Gobernabilidad y protección Financiera (PF).	C5		EDF5	EG5
O2				EDF6	EG6
O3				EDF7	EG7
G1					EG8
F1					EG9
F2					EG10
F3					EG11
D1					EG12
D2					

Tabla C - 4: Estrategias recomendadas para aumentar el indicador DS6 con el propósito de disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.

	Grupo 1: Identificación del contexto social	Grupo 2: Estrategias de capacitación	Grupo 3: Estrategias de desarrollo socio-económico	Grupo 4: Estrategias de desarrollo físico	Grupo 5: Mejora de la gobernabilidad
V1	Identificar los indicadores de vulnerabilidad social utilizando bases de datos (de INE: Instituto de Estadística - nacional y/o regional-; de OU - observadores urbanos-). En caso de que no existan previamente bases de datos se debe realizar la recopilación pertinente y crearlas.	C1	EDS1	EDF1	EG1
V2	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Identificación del Riesgo (IR).	C2	EDS2	EDF2	EG2
DS5	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Reducción del riesgo (RR).	C3	EDS3	EDF3	EG3
DS6	Identificación del nivel de desempeño en la política pública Gestión de Desastres (MD).	C4		EDF4	EG4
O1	Identificación del nivel de desempeño en la política pública Gobernabilidad y protección Financiera (PF).	C5		EDF5	EG5
O2	Nivel de ordenamiento urbano			EDF6	EG6
O3	Proporción viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo			EDF7	EG7
G1	Índice de gestión de riesgo (IGR, DRM)				EG8
F1	Camas hospitalarias				EG9
F2	Recursos humanos en salud				EG10
F3	Personal de socorro				EG11
D1	Densidad de población				EG12
D2	Crecimiento población urbana				
			Promover la integración social y apoyar a los grupos desfavorecidos.	Promover una correcta ubicación y distribución de las áreas de asentamientos urbanos existentes o a desarrollar (garantizando así una estructura geográfica equilibrada en éstos).	Organización y coordinación de operaciones de emergencia (MD1).
			Mejorar la participación social, mediante políticas públicas (existentes o a desarrollar) de participación ciudadana.	Implementación de técnicas de protección y control de fenómenos peligrosos (RR3).	Planificación de la respuesta en caso de emergencia y sistemas de alerta (MD2).
			Planificación Familiar.	Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos (RR4).	Dotación de equipos, herramientas e infraestructura en protección civil (MD3).
				Actualización y control de la aplicación de normas y códigos de construcción (RR5).	Simulación, actualización y prueba de la respuesta interinstitucional (MD4).
				Intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados (RR6).	Planificación para la rehabilitación y reconstrucción (MD6)
				Integración del riesgo en la definición de usos y la planificación (RR1).	Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada (PF1).
				Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental (RR2).	Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional (PF2).
					Localización y movilización de recursos de presupuesto (PF3).
					Implementación de redes y fondos de seguridad (PF4).
					Seguros y estrategias de transferencia de pérdidas activos públicos (PF5).
					Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado (PF6).
					Mejorar el sistema sanitario

Tabla C - 5: Estrategias recomendadas para disminuir el indicador O1 con el propósito de disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.

	Grupo 1: Identificación del contexto social		Grupo 2: Estrategias de capacitación		Grupo 3: Estrategias de desarrollo socio-económico		Grupo 4: Estrategias de desarrollo físico		Grupo 5: Mejora de la gobernabilidad	
		Identificar los indicadores de vulnerabilidad social utilizando bases de datos (de INE: Instituto de Estadística - nacional y/o regional;- de OU - observadores urbanos-). En caso de que no existan previamente bases de datos se debe realizar la recopilación pertinente y crearlas.	C1	Capacitación y Educación en gestión de riesgos (IR6).	EDS1	Promover la integración social y apoyar a los grupos desfavorecidos.	EDF1	Promover una correcta ubicación y distribución de las áreas de los asentamientos urbanos existentes o a desarrollar (garantizando así una estructura geográfica equilibrada en éstos).	EG1	Organización y coordinación de operaciones de emergencia (MD1).
V1	Área insuficiente para vivir	I1								
V2	Estado de la vivienda	I2	C2	Educación Básica.	EDS2	Mejorar la participación social, mediante políticas públicas (existentes o a desarrollar)	EDF2	Implementación de técnicas de protección y control de fenómenos peligrosos (RR3).	EG2	Planificación de la respuesta en caso de emergencia y sistemas de alerta (MD2).
DS5	Hogares pobres	I3	C3	Capacitación y educación en Técnica-Profesional.	EDS3	Planificación Familiar.	EDF3	Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos (RR4).	EG3	Dotación de equipos, herramientas e infraestructura en protección civil (MD3).
DS6	Tasa de alfabetización	I4	C4	Información pública y participación comunitaria (IR5).			EDF4	Actualización y control de la aplicación de normas y códigos de construcción (RR5).	EG4	Simulación, actualización y prueba de la respuesta interinstitucional (MD4).
O1	Crecimiento de los asentamientos espontáneos	I5	C5	Preparación y capacitación de la comunidad en respuesta a emergencia (MD5).			EDF5	Intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados (RR6).	EG5	Planificación para la rehabilitación y reconstrucción (MD6)
O2	Nivel de ordenamiento urbano						EDF6	Integración del riesgo en la definición de usos y la planificación (RR1).	EG6	Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada (PF1).
O3	Proporción viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo						EDF7	Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental (RR2).	EG7	Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional (PF2).
G1	Índice de gestión de riesgo (IGR, DRM)								EG8	Localización y movilización de recursos de presupuesto (PF3).
F1	Camas hospitalarias								EG9	Implementación de redes y fondos de seguridad (PF4).
F2	Recursos humanos en salud								EG10	Seguros y estrategias de transferencia de pérdidas activos públicos (PF5).
F3	Personal de socorro								EG11	Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado (PF6).
D1	Densidad de población								EG12	Mejorar el sistema sanitario
D2	Crecimiento población urbana									

Tabla C - 6: Estrategias recomendadas para disminuir el indicador O2 con el propósito de disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.

		Grupo 1: Identificación del contexto social		Grupo 2: Estrategias de capacitación		Grupo 3: Estrategias de desarrollo socio-económico		Grupo 4: Estrategias de desarrollo físico		Grupo 5: Mejora de la gobernabilidad	
V1	Área insuficiente para vivir	I1	Identificar los indicadores de vulnerabilidad social utilizando bases de datos (de INE: Instituto de Estadística - nacional y/o regional-; de OU - observadores urbanos-). En caso de que no existan previamente bases de datos se debe realizar la recopilación pertinente y crearlas.	C1	Capacitación y Educación en gestión de riesgos (IR6).	EDS1	Promover la integración social y apoyar a los grupos desfavorecidos.	EDF1	Promover una correcta ubicación y distribución de las áreas de los asentamientos urbanos existentes o a desarrollar (garantizando así una estructura geográfica equilibrada en éstos).	EG1	Organización y coordinación de operaciones de emergencia (MD1).
V2	Estado de la vivienda	I2	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Identificación del Riesgo (IR).	C2	Educación Básica.	EDS2	Mejorar la participación social, mediante políticas públicas (existentes o a desarrollar) de participación ciudadana.	EDF2	Implementación de técnicas de protección y control de fenómenos peligrosos (RR3).	EG2	Planificación de la respuesta en caso de emergencia y sistemas de alerta (MD2).
DSS	Hogares pobres	I3	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Reducción del riesgo (RR).	C3	Capacitación y educación en Técnica- Profesional.	EDS3	Planificación Familiar.	EDF3	Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos (RR4).	EG3	Dotación de equipos, herramientas e infraestructura en protección civil (MD3).
DS6	Tasa de alfabetización	I4	Identificación del nivel de desempeño en la política pública Gestión de Desastres (MD).	C4	Información pública y participación comunitaria (IR5).			EDF4	Actualización y control de la aplicación de normas y códigos de construcción (RR5).	EG4	Simulación, actualización y prueba de la respuesta interinstitucional (MD4).
O1	Crecimiento de los asentamientos espontáneos	I5	Identificación del nivel de desempeño en la política pública Gobernabilidad y protección Financiera (PF).	C5	Preparación y capacitación de la comunidad en respuesta a emergencia (MD5).			EDF5	Intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados (RR6).	EG5	Planificación para la rehabilitación y reconstrucción (MD6)
O2	Nivel de ordenamiento urbano							EDF6	Integración del riesgo en la definición de usos y la planificación (RR1).	EG6	Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada (PF1).
O3	Proporción viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo							EDF7	Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental (RR2).	EG7	Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional (PF2).
G1	Índice de gestión de riesgo (IGR, DRM)									EG8	Localización y movilización de recursos de presupuesto (PF3).
F1	Camas hospitalarias									EG9	Implementación de redes y fondos de seguridad (PF4).
F2	Recursos humanos en salud									EG10	Seguros y estrategias de transferencia de pérdidas activos públicos (PF5).
F3	Personal de socorro									EG11	Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado (PF6).
D1	Densidad de población									EG12	Mejorar el sistema sanitario
D2	Crecimiento población urbana										

Tabla C - 7: Estrategias recomendadas para disminuir el indicador O3 con el propósito de disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.

	Grupo 1: Identificación del contexto social		Grupo 2: Estrategias de capacitación		Grupo 3: Estrategias de desarrollo socio-económico		Grupo 4: Estrategias de desarrollo físico		Grupo 5: Mejora de la gobernabilidad	
		Identificar los indicadores de vulnerabilidad social utilizando bases de datos (de INE: Instituto de Estadística -nacional y/o regional-, de OU -observadores urbanos-). En caso de que no existan previamente bases de datos se debe realizar la recopilación pertinente y crearlas.	C1	Capacitación y Educación en gestión de riesgos (IR6).	EDS1	Promover la integración social y apoyar a los grupos desfavorecidos.	EDF1	Promover una correcta ubicación y distribución de las áreas de los asentamientos urbanos existentes o a desarrollar (garantizando así una estructura geográfica equilibrada en éstos).	EG1	Organización y coordinación de operaciones de emergencia (MD1).
V1	Área insuficiente para vivir	I1								
V2	Estado de la vivienda	I2	C2	Educación Básica.	EDS2	Mejorar la participación social, mediante políticas públicas (existentes o a desarrollar) de participación ciudadana.	EDF2	Implementación de técnicas de protección y control de fenómenos peligrosos (RR3).	EG2	Planificación de la respuesta en caso de emergencia y sistemas de alerta (MD2).
DS5	Hogares pobres	I3	C3	Capacitación y educación Técnica-Profesional.	EDS3	Planificación Familiar.	EDF3	Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos (RR4).	EG3	Dotación de equipos, herramientas e infraestructura en protección civil (MD3).
DS6	Tasa de alfabetización	I4	C4	Información pública y participación comunitaria (IR5).			EDF4	Actualización y control de la aplicación de normas y códigos de construcción (RR5).	EG4	Simulación, actualización y prueba de la respuesta interinstitucional (MD4).
O1	Crecimiento de los asentamientos espontáneos	I5	C5	Preparación y capacitación de la comunidad en respuesta a emergencia (MD5).			EDF5	Intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados (RR6).	EG5	Planificación para la rehabilitación y reconstrucción (MD6)
O2	Nivel de ordenamiento urbano						EDF6	Integración del riesgo en la definición de usos y la planificación (RR1).	EG6	Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada (PF1).
O3	Proporción viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo						EDF7	Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental (RR2).	EG7	Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional (PF2).
G1	Índice de gestión de riesgo (IGR, DRM)								EG8	Localización y movilización de recursos de presupuesto (PF3).
F1	Camas hospitalarias								EG9	Implementación de redes y fondos de seguridad (PF4).
F2	Recursos humanos en salud								EG10	Seguros y estrategias de transferencia de pérdidas activos públicos (PF5).
F3	Personal de socorro								EG11	Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado (PF6).
D1	Densidad de población								EG12	Mejorar el sistema sanitario
D2	Crecimiento población urbana									

Tabla C - 8: Estrategias recomendadas para aumentar el indicador G1 con el propósito de disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.

	Grupo 1: Identificación del contexto social		Grupo 2: Estrategias de capacitación		Grupo 3: Estrategias de desarrollo socio-económico		Grupo 4: Estrategias de desarrollo físico		Grupo 5: Mejora de la gobernabilidad	
V1	Área insuficiente para vivir	Identificar los indicadores de vulnerabilidad social utilizando bases de datos (de INE: Instituto de Estadística -nacional y/o regional-; de OU -observadores urbanos-). En caso de que no existieran previamente bases de datos se debe realizar la recopilación pertinente y crearlas.	C1	Capacitación y Educación en gestión de riesgos (IR6).	EDS1	Promover la integración social y apoyar a los grupos desfavorecidos.	EDF1	Promover una correcta ubicación y distribución de las áreas de asentamientos urbanos existentes o a desarrollar (garantizando así una estructura geográfica equilibrada en éstos).	EG1	Organización y coordinación de operaciones de emergencia (MD1).
V2	Estado de la vivienda	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Identificación del Riesgo (IR).	C2	Educación Básica.	EDS2	Mejorar la participación social, mediante políticas públicas (existentes o a desarrollar) de participación ciudadana.	EDF2	Implementación de técnicas de protección y control de fenómenos peligrosos (RR3).	EG2	Planificación de la respuesta en caso de emergencia y sistemas de alerta (MD2).
DS5	Hogares pobres	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Reducción del riesgo (RR).	C3	Capacitación y educación en Técnica Profesional.	EDS3	Planificación Familiar.	EDF3	Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos (RR4).	EG3	Dotación de equipos, herramientas e infraestructura en protección civil (MD3).
DS6	Tasa de alfabetización	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Gestión de Desastres (MD).	C4	Información pública y participación comunitaria (IR5).			EDF4	Actualización y control de la aplicación de normas y códigos de construcción (RR5).	EG4	Simulación, actualización y prueba de la respuesta interinstitucional (MD4).
O1	Crecimiento de los asentamientos espontáneos	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Gobernabilidad y protección Financiera (PF).	C5	Preparación y capacitación de la comunidad en respuesta a emergencia (MDS).			EDF5	Intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados (RR6).	EG5	Planificación para la rehabilitación y reconstrucción (MD6)
O2	Nivel de ordenamiento urbano						EDF6	Integración del riesgo en la definición de usos y la planificación (RR1).	EG6	Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada (PF1).
O3	Proporción viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo						EDF7	Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental (RR2).	EG7	Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional (PF2).
G1	Índice de gestión de riesgo (IGR, DRM)								EG8	Localización y movilización de recursos de presupuesto (PF3).
F1	Camas hospitalarias								EG9	Implementación de redes y fondos de seguridad (PF4).
F2	Recursos humanos en salud								EG10	Seguros y estrategias de transferencia de pérdidas a activos públicos (PF5).
F3	Personal de socorro								EG11	Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado (PF6).
D1	Densidad de población								EG12	Mejorar el sistema sanitario
D2	Crecimiento población urbana									

Tabla C - 9: Estrategias recomendadas para aumentar el indicador F1 con el propósito de disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.

	Grupo 1: Identificación del contexto social		Grupo 2: Estrategias de capacitación		Grupo 3: Estrategias de desarrollo socio-económico		Grupo 4: Estrategias de desarrollo físico		Grupo 5: Mejora de la gobernabilidad	
V1	Área insuficiente para vivir	Identificar los indicadores de vulnerabilidad social utilizando bases de datos (de INE: Instituto de Estadística -nacional y/o regional-; de OU -observadores urbanos-). En caso de que no existan previamente bases de datos se debe realizar la recopilación pertinente y crearlas.	C1	Capacitación y Educación en gestión de riesgos (IR6).	EDS1	Promover la integración social y apoyar a los grupos desfavorecidos.	EDF1	Promover una correcta ubicación y distribución de las áreas de los asentamientos urbanos existentes o a desarrollar (garantizando así una estructura geográfica equilibrada en éstos).	EG1	Organización y coordinación de operaciones de emergencia (MD1).
V2	Estado de la vivienda	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Identificación del Riesgo (IR).	C2	Educación Básica.	EDS2	Mejorar la participación social, mediante políticas públicas (existentes o a desarrollar) de participación ciudadana.	EDF2	Implementación de técnicas de protección y control de fenómenos peligrosos (RR3).	EG2	Planificación de la respuesta en caso de emergencia y sistemas de alerta (MD2).
DS5	Hogares pobres	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Reducción del riesgo (RR).	C3	Capacitación y educación en Técnica-Profesional.	EDS3	Planificación Familiar.	EDF3	Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos (RR4).	EG3	Dotación de equipos, herramientas e infraestructura en protección civil (MD3).
DS6	Tasa de alfabetización	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Gestión de Desastres (MD).	C4	Información pública y participación comunitaria (IR5).			EDF4	Actualización y control de la aplicación de normas y códigos de construcción (RR5).	EG4	Simulación, actualización y prueba de la respuesta interinstitucional (MD4).
O1	Crecimiento de los asentamientos espontáneos	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Gobernabilidad y protección Financiera (PF).	C5	Preparación y capacitación de la comunidad en respuesta a emergencia (MD5).			EDF5	Intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados (RR6).	EG5	Planificación para la rehabilitación y reconstrucción (MD6)
O2	Nivel de ordenamiento urbano						EDF6	Integración del riesgo en la definición de usos y la planificación (RR1).	EG6	Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada (PF1).
O3	Proporción viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo						EDF7	Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental (RR2).	EG7	Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional (PF2).
G1	Índice de gestión de riesgo (IGR, DRM)								EG8	Localización y movilización de recursos de presupuesto (PF3).
F1	Camas hospitalarias								EG9	Implementación de redes y fondos de seguridad (PF4).
F2	Recursos humanos en salud								EG10	Seguros y estrategias de transferencia de pérdidas activos públicos (PF5).
F3	Personal de socorro								EG11	Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado (PF6).
D1	Densidad de población								EG12	Mejorar el sistema sanitario
D2	Crecimiento población urbana									

Tabla C - 10: Estrategias recomendadas para aumentar el indicador F2 con el propósito de disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.

	Grupo 1: Identificación del contexto social		Grupo 2: Estrategias de capacitación		Grupo 3: Estrategias de desarrollo socio-económico		Grupo 4: Estrategias de desarrollo físico		Grupo 5: Mejora de la gobernabilidad	
		Identificar los indicadores de vulnerabilidad social utilizando bases de datos (de INE; Instituto de Estadística -nacional y/o regional-; de OU -observadores urbanos-). En caso de que no existan previamente bases de datos se debe realizar la recopilación pertinente y crearlas.	C1	Capacitación y Educación en gestión de riesgos (IRO).	EDS1	Promover la integración social y apoyar a los grupos desfavorecidos.	EDF1	Promover una correcta ubicación y distribución de las áreas de los asentamientos urbanos existentes o a desarrollar (garantizando así una estructura geográfica equilibrada en éstos).	EG1	Organización y coordinación de operaciones de emergencia (MD1).
V1	Área insuficiente para vivir	I1	C1		EDS1		EDF1			
V2	Estado de la vivienda	I2	C2	Educación Básica.	EDS2	Mejorar la participación social, mediante políticas públicas (existentes o a desarrollar) de participación ciudadana.	EDF2	Implementación de técnicas de protección y control de fenómenos peligrosos (RR3).	EG2	Planificación de la respuesta en caso de emergencia y sistemas de alerta (MD2).
DS5	Hogares pobres	I3	C3	Capacitación en Técnica Profesional.	EDS3	Planificación Familiar.	EDF3	Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos (RR4).	EG3	Dotación de equipos, herramientas e infraestructura en protección civil (MD3).
DS6	Tasa de alfabetización	I4	C4	Información pública y participación comunitaria (IRS).			EDF4	Actualización y control de la aplicación de normas y códigos de construcción (RR5).	EG4	Simulación, actualización y prueba de la respuesta interinstitucional (MD4).
O1	Crecimiento de los asentamientos espontáneos	I5	C5	Preparación de la comunidad en respuesta a emergencia (MDS).			EDF5	Intervención de bienes vulnerables de públicos y privados (RR6).	EG5	Planificación para la rehabilitación y reconstrucción (MD6)
O2	Nivel de ordenamiento urbano						EDF6	Integración del riesgo en la definición de usos y la planificación (RR1).	EG6	Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada (PF1).
O3	Proporción viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo						EDF7	Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental (RR2).	EG7	Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional (PF2).
G1	Índice de gestión de riesgo (IGR, DRM)						EG8	Localización y movilización de recursos de presupuesto (PF3).	EG8	Localización y movilización de recursos de presupuesto (PF3).
F1	Camas hospitalarias						EG9	Implementación de redes y fondos de seguridad (PF4).	EG9	Implementación de redes y fondos de seguridad (PF4).
F2	Recursos humanos en salud						EG10	Seguros y estrategias de transferencia de pérdidas activos públicos (PF5).	EG10	Seguros y estrategias de transferencia de pérdidas activos públicos (PF5).
F3	Personal de socorro						EG11	Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado (PF6).	EG11	Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado (PF6).
D1	Densidad de población						EG12	Mejorar el sistema sanitario	EG12	Mejorar el sistema sanitario
D2	Crecimiento población urbana									

Tabla C - 11: Estrategias recomendadas para aumentar el indicador F3 con el propósito de disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.

	Grupo 1: Identificación del contexto social		Grupo 2: Estrategias de capacitación		Grupo 3: Estrategias de desarrollo socio-económico		Grupo 4: Estrategias de desarrollo físico		Grupo 5: Mejora de la gobernabilidad		
V1	Área insuficiente para vivir	11	Identificar los indicadores de vulnerabilidad social utilizando bases de datos (de INE; Instituto de Estadística -nacional y/o regional-; de OU -observadores urbanos-). En caso de que no existan previamente bases de datos se debe realizar la recopilación pertinente y crearlas.	C1	Capacitación y/o Educación en gestión de riesgos (IR6).	EDS1	Promover la integración social y apoyar a los grupos desfavorecidos.	EDF1	Promover una correcta ubicación y distribución de las áreas de los asentamientos urbanos existentes o a desarrollar (garantizando así una estructura geográfica equilibrada en éstos).	EG1	Organización y coordinación de operaciones de emergencia (MD1).
V2	Estado de la vivienda	12	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Identificación del Riesgo (IR).	C2	Educación Básica.	EDS2	Mejorar la participación social, mediante políticas públicas (existentes o a desarrollar) de participación ciudadana.	EDF2	Implementación de técnicas de protección y control de fenómenos peligrosos (RR3).	EG2	Planificación de la respuesta en caso de emergencia y sistemas de alerta (MD2).
DS5	Hogares pobres	13	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Reducción del riesgo (RR).	C3	Capacitación y/o educación en Técnica-Profesional.	EDS3	Planificación Familiar.	EDF3	Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos (RR4).	EG3	Dotación de equipos, herramientas e infraestructura en protección civil (MD3).
DS6	Tasa de alfabetización	14	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Gestión de Desastres (MD).	C4	Información pública y participación comunitaria (IR5).			EDF4	Actualización y control de la aplicación de normas y códigos de construcción (RR5).	EG4	Simulación, actualización y prueba de la respuesta interinstitucional (MD4).
O1	Crecimiento de los asentamientos espontáneos	15	Identificación del nivel de desempeño en la política pública de Gobernabilidad y protección Financiera (PF).	C5	Preparación de la comunidad en respuesta a emergencia (MD5).			EDF5	Intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados (RR6).	EG5	Planificación para la rehabilitación y reconstrucción (MD6)
O2	Nivel de ordenamiento urbano							EDF6	Integración del riesgo en la definición de usos y la planificación (RR1).	EG6	Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada (PF1).
O3	Proporción viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo							EDF7	Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental (RR2).	EG7	Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional (PF2).
G1	Índice de gestión de riesgo (IGR, DRM)									EG8	Localización y movilización de recursos de presupuesto (PF3).
F1	Camas hospitalarias									EG9	Implementación de redes y fondos de seguridad (PF4).
F2	Recursos humanos en salud									EG10	Seguros y estrategias de transferencia de pérdidas activos públicos (PF5).
F3	Personal de socorro									EG11	Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado (PF6).
D1	Densidad de población									EG12	Mejorar el sistema sanitario
D2	Crecimiento población urbana										

Tabla C - 12: Estrategias recomendadas para disminuir el indicador D1 con el propósito de disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.

	Grupo 1: Identificación del contexto social		Grupo 2: Estrategias de capacitación		Grupo 3: Estrategias de desarrollo socio-económico		Grupo 4: Estrategias de desarrollo físico		Grupo 5: Mejora de la gobernabilidad	
		Identificar los indicadores de vulnerabilidad social utilizando bases de datos (de INE: Instituto de Estadística -nacional y/o regional-; de OU -observadores urbanos-). En caso de que no existan previamente bases de datos se debe realizar la recopilación pertinente y crearlas.	C1	Capacitación Educación en gestión de riesgos (IR6).	EDS1	Promover la integración social y apoyar a los grupos desfavorecidos.	EDF1	Promover una correcta ubicación y distribución de las áreas de los asentamientos urbanos existentes o a desarrollar (garantizando así una estructura geográfica equilibrada en éstos).	EG1	Organización y coordinación de operaciones de emergencia (MD1).
V1	Área insuficiente para vivir	I1	C1	Capacitación Educación en gestión de riesgos (IR6).	EDS1	Promover la integración social y apoyar a los grupos desfavorecidos.	EDF1	Promover una correcta ubicación y distribución de las áreas de los asentamientos urbanos existentes o a desarrollar (garantizando así una estructura geográfica equilibrada en éstos).	EG1	Organización y coordinación de operaciones de emergencia (MD1).
V2	Estado de la vivienda	I2	C2	Educación Básica.	EDS2	Mejorar la participación social, mediante políticas públicas (existentes o a desarrollar) de participación ciudadana.	EDF2	Implementación de técnicas de protección y control de fenómenos peligrosos (RR3).	EG2	Planificación de la respuesta en caso de emergencia y sistemas de alerta (MD2).
DS5	Hogares pobres	I3	C3	Capacitación educación en Técnica-Profesional.	EDS3	Planificación Familiar.	EDF3	Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos (RR4).	EG3	Dotación de equipos, herramientas e infraestructura en protección civil (MD3).
DS6	Tasa de alfabetización	I4	C4	Información pública y participación comunitaria (IR5).			EDF4	Actualización y control de la aplicación de normas y códigos de construcción (RR5).	EG4	Simulación, actualización y prueba de la respuesta interinstitucional (MD4).
O1	Crecimiento de los asentamientos espontáneos	I5	C5	Preparación y capacitación de la comunidad en respuesta a emergencia (MD5).			EDF5	Intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados (RR6).	EG5	Planificación para la rehabilitación y reconstrucción (MD6)
O2	Nivel de ordenamiento urbano						EDF6	Integración del riesgo en la definición de usos y la planificación (RR1).	EG6	Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada (PF1).
O3	Proporción viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo						EDF7	Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental (RR2).	EG7	Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional (PF2).
G1	Índice de gestión de riesgo (IGR, DRM)								EG8	Localización y movilización de recursos de presupuesto (PF3).
F1	Camas hospitalarias								EG9	Implementación de redes y fondos de seguridad (PF4).
F2	Recursos humanos en salud								EG10	Seguros y estrategias de transferencia de pérdidas activos públicos (PF5).
F3	Personal de socorro								EG11	Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado (PF6).
D1	Densidad de población								EG12	Mejorar el sistema sanitario
D2	Crecimiento población urbana									

Tabla C - 13: Estrategias recomendadas para disminuir el indicador D2 con el propósito de disminuir el factor de agravamiento (F) de una zona urbana.

	Grupo 1: Identificación del contexto social		Grupo 2: Estrategias de capacitación		Grupo 3: Estrategias de desarrollo socio-económico		Grupo 4: Estrategias de desarrollo físico		Grupo 5: Mejora de la gobernabilidad	
		Identificar los indicadores de vulnerabilidad social utilizando bases de datos (de INE; Instituto de Estadística -nacional y/o regional-; de OU -observadores urbanos-). En caso de que no existan previamente bases de datos se debe realizar la recopilación pertinente y crearlas.	C1	Capacitación y Educación en gestión de riesgos (IR6).	EDS1	Promover la integración social y apoyar a los grupos desfavorecidos.	EDF1	Promover una correcta ubicación y distribución de las áreas de los asentamientos urbanos existentes o a desarrollar (garantizando así una estructura geográfica equilibrada en éstos).	EG1	Organización y coordinación de operaciones de emergencia (MD1).
V1	Área insuficiente para vivir	I1	C1	Capacitación y Educación en gestión de riesgos (IR6).	EDS1	Promover la integración social y apoyar a los grupos desfavorecidos.	EDF1	Promover una correcta ubicación y distribución de las áreas de los asentamientos urbanos existentes o a desarrollar (garantizando así una estructura geográfica equilibrada en éstos).	EG1	Organización y coordinación de operaciones de emergencia (MD1).
V2	Estado de la vivienda	I2	C2	Educación Básica.	EDS2	Mejorar la participación social, mediante políticas públicas (existentes o a desarrollar) de participación ciudadana.	EDF2	Implementación de técnicas de protección y control de fenómenos peligrosos (RR3).	EG2	Planificación de la respuesta en caso de emergencia y sistemas de alerta (MD2).
DS5	Hogares pobres	I3	C3	Capacitación y educación en Técnica-Profesional.	EDS3	Planificación Familiar.	EDF3	Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos (RR4).	EG3	Dotación de equipos, herramientas e infraestructura en protección civil (MD3).
DS6	Tasa de alfabetización	I4	C4	Información pública y comunitaria (IR5).			EDF4	Actualización y control de la aplicación de normas y códigos de construcción (RR5).	EG4	Simulación, actualización y prueba de la respuesta interinstitucional (MD4).
O1	Crecimiento de los asentamientos espontáneos	I5	C5	Preparación de la comunidad en respuesta a emergencia (MDS).			EDF5	Intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados (RR6).	EG5	Planificación para la rehabilitación y reconstrucción (MD6)
O2	Nivel de ordenamiento urbano						EDF6	Integración del riesgo en la definición de usos y la planificación (RR1).	EG6	Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada (PF1).
O3	Proporción viviendas construidas en ubicación sujeta a riesgo						EDF7	Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental (RR2).	EG7	Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional (PF2).
G1	Índice de gestión de riesgo (IGR, DRM)								EG8	Localización y movilización de recursos de presupuesto (PF3).
F1	Camas hospitalarias								EG9	Implementación de redes y fondos de seguridad (PF4).
F2	Recursos humanos en salud								EG10	Seguros y estrategias de transferencia de pérdidas activos públicos (PF5).
F3	Personal de socorro								EG11	Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado (PF6).
D1	Densidad de población								EG12	Mejorar el sistema sanitario
D2	Crecimiento población urbana									

En la Tabla C - 14 se presenta la correlación entre las estrategias propuestas para disminuir el factor de agravamiento (F) y los indicadores formulados por Carreño (2006) para estimar el índice de gestión de riesgo.

Tabla C - 14: Correspondencia de las estrategias propuestas para disminuir el factor de agravamiento (F) y los indicadores formulados por Carreño (2006) para estimar el índice de gestión de riesgo.

Código de la estrategia propuesta para disminuir F	Código del indicador formulado por Carreño (2006)
C4	IR5
C1	IR6
EDF6	RR1
EDF7	RR2
EDF2	RR3
EDF3	RR4
EDF4	RR5
EDF5	RR6
EG1	MD1
EG2	MD2
EG3	MD3
EG4	MD4
C5	MD5
EG5	MD6
EG6	PF1
EG7	PF2
EG8	PF3
EG9	PF4
EG10	PF5
EG11	PF6

Las diferentes estrategias planteadas, para disminuir el coeficiente de agravamiento, que tienen concordancia con las estrategias que permiten definir los indicadores que permiten dar cuenta de cómo se han llevado a cabo las diferentes políticas públicas, se han de ejecutar dependiendo del nivel de desempeño en que se encuentre determinada zona urbana. Por ejemplo, en la Tabla C - 15 se indican los cinco niveles de desempeño de la estrategia RR6. Para establecer los niveles de desempeño de las demás estrategias de la Tabla C - 14 ver Carreño (2006).

Tabla C - 15: Niveles de desempeño de la estrategia RR6 o EDF6 (Carreño, 2006)

Nivel	Estrategia EDF6=RR6: Refuerzo e intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados
Bajo (1)	Refuerzo y adecuación esporádica de edificaciones e infraestructura de líneas vitales por remodelaciones o cambios de uso o por modificaciones.
Incipiente (2)	Expedición de normas de intervención de la vulnerabilidad de edificios existentes; refuerzo de algunos edificios esenciales como hospitales o considerados de carácter indispensable.
Apreciable (3)	Algunos programas masivos de evaluación de vulnerabilidad, rehabilitación y refuerzo de hospitales, escuelas y edificios de control de líneas vitales; obligatoriedad de reforzamientos.
Notable (4)	Progresivo número de edificios públicos reforzados, infraestructura de líneas vitales intervenida; algunos edificios del sector privado reforzados por iniciativa propia o por estímulos fiscales ofrecidos por el gobierno.
Óptimo (5)	Masificación del refuerzo de los principales edificios públicos y privados; programas permanentes de incentivos para rehabilitación de vivienda de estratos socio-económicos de bajos ingresos.