

NICARAGUA

TOMO I METODOLOGÍA DE MODELACIÓN PROBABILISTA DE RIESGOS NATURALES

INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T2-21

ESTIMACIÓN HOLÍSTICA DEL RIESGO SÍSMICO EN MANAGUA



CEPREDENAC



Inter-American Development Bank



World Bank
opportunities for all



Evaluación de Riesgos Naturales
- América Latina -
Consultores en Riesgos y Desastres

Consortio conformado por:

Colombia

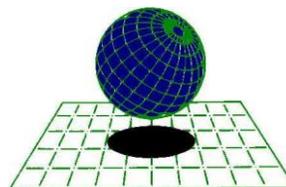
Carrera 19A # 84-14 Of 504
Edificio Torrenova
Tel. 57-1-691-6113
Fax 57-1-691-6102
Bogotá, D.C.



INGENIERIA TECNICA Y CIENTIFICA LTDA

España

Centro Internacional de Métodos Numéricos
en Ingeniería - CIMNE
Campus Nord UPC
Tel. 34-93-401-64-96
Fax 34-93-401-10-48
Barcelona



C I M N E

México

Vito Alessio Robles No. 179
Col. Hacienda de Guadalupe Chimalistac
C.P.01050 Delegación Álvaro Obregón
Tel. 55-5-616-8161
Fax 55-5-616-8162
México, D.F.



ERN Ingenieros Consultores, S. C.

ERN Evaluación de Riesgos Naturales - América Latina
www.ern-la.com

Dirección y Coordinación de Grupos de Trabajo Técnico – Consorcio ERN América Latina

Omar Darío Cardona A.
Dirección General del Proyecto

Luis Eduardo Yamín L.
Dirección Técnica ERN (COL)

Gabriel Andrés Bernal G.
Coordinación General ERN (COL)

Mario Gustavo Ordaz S.
Dirección Técnica ERN (MEX)

Eduardo Reinoso A.
Coordinación General ERN (MEX)

Alex Horia Barbat B.
Dirección Técnica CIMNE (ESP)

Martha Liliana Carreño T.
Coordinación General CIMNE (ESP)

Especialistas y Asesores – Grupos de Trabajo

Miguel Genaro Mora C.
Especialista ERN (COL)

César Augusto Velásquez V.
Especialista ERN (COL)

Karina Santamaría D.
Especialista ERN (COL)

Mauricio Cardona O.
Asistente Técnico ERN (COL)

Andrés Mauricio Torres C.
Asistente Técnico ERN (COL)

Diana Marcela González C.
Asistente Técnico ERN (COL)

Yinsury Sodel Peña V.
Asistente Técnico ERN (COL)

Andrei Garzón B.
Asistente Técnico ERN (COL)

Carlos Eduardo Avelar F.
Especialista ERN (MEX)

Benjamín Huerta G.
Especialista ERN (MEX)

Mauro Pompeyo Niño L.
Especialista ERN (MEX)

Isaías Martínez A.
Asistente Técnico ERN (MEX)

Edgar Osuna H.
Asistente Técnico ERN (MEX)

José Juan Hernández G.
Asistente Técnico ERN (MEX)

Marco Torres
Asesor Asociado (MEX)

Johner Venicio Correa C.
Asistente Técnico ERN (COL)

Mabel Cristina Marulanda F.
Especialista CIMNE(ESP)

Jairo Andrés Valcárcel T.
Especialista CIMNE(ESP)

Juan Pablo Londoño L.
Especialista CIMNE(ESP)

René F. Salgueiro B.
Especialista CIMNE(ESP)

Nieves Lantada
Especialista CIMNE(ESP)

Álvaro Martín Moreno R.
Asesor Asociado (COL)

Mario Díaz-Granados O.
Asesor Asociado (COL)

Liliana Narváez M.
Asesor Asociado (COL)

Asesores Nacionales

Osmar E. Velasco
Guatemala

Sandra Zúñiga
Nicaragua

Alonso Brenes
Costa Rica

Banco Mundial – Gestión de Riesgo de Desastres / Región Latinoamérica y el Caribe

Francis Ghesquiere
Coordinador Regional

Fernando Ramírez C.
Especialista

Joaquín Toro
Especialista

Oscar A. Ishizawa
Especialista

Edward C. Anderson
Especialista

Stuart Gill
Especialista

Banco Interamericano de Desarrollo – Medio Ambiente / Desarrollo Rural / Desastres Naturales

Flavio Bazán
Especialista Sectorial

Cassandra T. Rogers
Especialista Sectorial

Tsuneki Hori
Consultor Interno

LIMITACIONES Y RESTRICCIONES

La aplicación que aquí se presenta es de carácter ilustrativo y presenta limitaciones y restricciones debido al nivel de resolución de la información disponible, de lo cual debe ser consciente el usuario final para efectos de poder dar un uso adecuado y consistente a los resultados obtenidos teniendo en cuenta el tipo de análisis realizado, el tipo y calidad de datos empleados, el nivel de resolución y precisión utilizado y la interpretación realizada. En consecuencia es importante señalar lo siguiente:

- Los modelos utilizados en los análisis tienen simplificaciones y supuestos para facilitar el cálculo que el usuario debe conocer debidamente. Éstas están descritas en detalle en los informes técnicos respectivos (ver referencias).
- Los análisis se han desarrollado con la mejor información disponible que presenta limitaciones en su confiabilidad y su grado actualización. Es posible que exista información mejor y más completa a la cual no se tuvo acceso.
- La información utilizada y los resultados de los análisis de amenaza, exposición y riesgo tienen una asociado un nivel de resolución según las unidades de análisis utilizadas, lo que se explica en el documento descriptivo del ejemplo.
- El uso que el usuario final le dé a la información no compromete a los autores de los estudios realizados, quienes presentan este ejemplo como lo que puede ser factible de hacer si se cuenta con información confiable con la precisión adecuada.
- Es responsabilidad del usuario comprender el tipo de modelo utilizado y sus limitaciones, la resolución y calidad de los datos, las limitaciones y suposiciones de los análisis y la interpretación realizada con el fin de darle a estos resultados un uso adecuado y consistente.
- Ni los desarrolladores del software, ni los promotores o financiadores del proyecto, ni los contratistas o subcontratistas que participaron en las aplicaciones o ejemplos de uso de los modelos asumen ninguna responsabilidad por la utilización que el usuario le dé a los resultados que aquí se presentan, por lo tanto están libres de responsabilidad por las pérdidas, daños, perjuicios o efectos que pueda derivarse por la utilización o interpretación de estos ejemplos demostrativos.

Tabla de contenido

1	Propósito del estudio	1-1
2	Metodología de evaluación	2-1
2.1	Introducción	2-1
2.2	Marco teórico del enfoque holístico.....	2-3
2.3	Procedimiento de cálculo	2-6
2.4	Funciones de transformación.....	2-10
2.5	Ponderación de factores	2-11
3	Aplicación a Managua	3-1
3.1	Información utilizada	3-1
3.2	Índice de riesgo físico, R_F	3-1
3.3	Coefficiente de agravamiento, F	3-4
3.4	Riesgo total, R_T	3-7
4	Comentarios finales	4-1
5	Bibliografía	5-1

Índice de tablas

TABLA 2-1 DESCRIPTORES DE RIESGO FÍSICO Y SUS UNIDADES	2-8
TABLA 2-2 DESCRIPTORES DE AGRAVAMIENTO POR FRAGILIDAD SOCIAL Y FALTA DE RESILIENCIA Y SUS UNIDADES	2-9
TABLA 3-1 INDICADORES DE RIESGO FÍSICO PARA MANAGUA	3-1
TABLA 3-2 INDICADORES DE RIESGO FÍSICO PARA MANAGUA	3-2
TABLA 3-3 INDICADORES DE RIESGO FÍSICO E ÍNDICE DE RIESGO FÍSICO PARA MANAGUA	3-2
TABLA 3-4 INDICADORES DE CONDICIONES DE AGRAVAMIENTO PARA MANAGUA	3-4
TABLA 3-5 INDICADORES DE CONDICIONES DE AGRAVAMIENTO PARA MANAGUA	3-4
TABLA 3-6 INDICADORES DE CONDICIONES DE AGRAVAMIENTO Y COEFICIENTE DE AGRAVAMIENTO PARA MANAGUA	3-6
TABLA 3-7 INDICADORES DE CONDICIONES DE AGRAVAMIENTO Y COEFICIENTE DE AGRAVAMIENTO PARA MANAGUA	3-7
TABLA 4-1 INDICADORES DE CONDICIONES DE AGRAVAMIENTO CON MAYOR APORTE EN ORDEN DECRECIENTE POR DISTRITO	4-2

1 Propósito del estudio

Para corregir las causas del riesgo mediante acciones de intervención de la vulnerabilidad y mediante el fortalecimiento de la capacidad de gestión del riesgo en todas sus modalidades y ámbitos es necesario identificar y reconocer el riesgo existente y las posibilidades de generación de nuevos riesgos desde la perspectiva de los desastres. Esto implica dimensionar o medir el riesgo y monitorearlo con el fin de determinar la efectividad y eficiencia de las medidas de intervención; sean estas tanto correctivas como prospectivas. La evaluación y seguimiento del riesgo es un paso ineludible para su reconocimiento por parte de los diversos actores sociales y los órganos de decisión responsables de la gestión. Es decir, es necesario “hacer manifiesto” el riesgo, socializarlo e identificar sus causas. En consecuencia, su evaluación y seguimiento debe realizarse utilizando herramientas apropiadas e idóneas que faciliten la comprensión del problema y orienten la toma de decisiones.

En este documento se describe paso a paso y se aplica, para el caso de Managua, una metodología de evaluación del riesgo sísmico desde una perspectiva integral u holística que incluye, además del riesgo físico, variables económicas, sociales y de capacidad de respuesta en caso de desastre. Esta metodología puede ser utilizada para orientar la toma de decisiones en la gestión de riesgos identificando zonas de la ciudad que pueden ser especialmente problemáticas en caso de un evento sísmico catastrófico, no sólo por el daño físico que pueden presentar, o impacto directo, sino también por las características socio-económicas y la falta de resiliencia que pueden agravar la situación y que contribuyen a generar, lo que puede considerarse como el impacto indirecto o de segundo orden.

Teniendo en cuenta el nivel espacial al cual se trabaja cuando se hacen evaluaciones de riesgo sísmico a escala urbana es necesario contar con información acerca de los daños y pérdidas potenciales en los elementos expuestos que caracterizan la ciudad (personas involucradas, edificaciones, líneas vitales, otra infraestructura, etc.). La metodología que se utiliza en este estudio identifica una serie de circunstancias o condiciones que favorecen que un fenómeno intenso se convierta en un desastre, con el fin de anticiparse y poder intervenirlas y así disminuir el impacto de los futuros eventos peligrosos. El enfoque de esta técnica de evaluación, desde una perspectiva holística, puede tener una importante influencia en la efectividad de la gestión del riesgo, dado que facilita la orientación de las medidas de mitigación y prevención que se deben promover según el tipo de resultados obtenidos mediante indicadores que describen en forma integral las condiciones de riesgo sísmico del centro urbano. El objetivo de la técnica utilizada no se limita a identificar la existencia de debilidades –lo que comúnmente ocurre con estudios cuyo propósito es solamente evaluar el riesgo físico– sino que también intenta identificar otros aspectos sociales factibles de intervenir que contribuyen en forma significativa al riesgo sísmico.

Utilizando los resultados del informe ERN-CAPRA-T2-7 - Riesgo sísmico de Managua obtenidos por este grupo consultor en el marco del desarrollo de la plataforma CAPRA, así como una serie de variables que caracterizan aspectos sociales y del contexto de los

diferentes distritos de la ciudad, este estudio ha tenido como objeto realizar la evaluación holística del riesgo para la amenaza sísmica que fue identificada como la más importante para la ciudad de Managua. Se han tenido en cuenta los trabajos desarrollados por Cardona (2001) y por Carreño et al (2004; 2005) para el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), en los cuales se ha desarrollado y mejorado una metodología de evaluación holística del riesgo a escala urbana (IDEA 2005).

En esta versión se han utilizado como indicadores de riesgo físico la pérdida anual esperada o primas puras de riesgo, para el caso de terremoto, y el número de personas fallecidas y heridas. Detalles de este tipo de evaluación se encuentran en el informe antes mencionado en el cual se ilustra el cálculo del riesgo sísmico de la ciudad utilizando métricas probabilistas.

2 Metodología de evaluación

2.1 Introducción

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

Dentro de lo definido como riesgo del contexto se tiene en cuenta la ausencia de desarrollo económico y social, debilidades sociales para absorber el impacto, deficiencias en la gestión institucional y falta de capacidad para la respuesta en caso de desastre. El riesgo del contexto intenta reflejar de la manera más adecuada posible las condiciones de deterioro social. En términos relativos, un área que experimenta un alto deterioro social es más vulnerable y por lo tanto se encuentra en mayor riesgo. La falta de resiliencia, definida como el inverso de la capacidad económica, social e institucional para absorber el impacto de una crisis, representa la incapacidad e la comunidad para responder eficientemente en caso de emergencia y sus deficiencias en su gestión institucional y gobernabilidad (falta de capacidad para anticiparse, responder y recuperarse con efectividad).

Si bien es cierto que algunas circunstancias sociales pueden considerarse como aspectos asociados con la vulnerabilidad desde la perspectiva de los desastres, no siempre dichos aspectos pueden considerarse como la vulnerabilidad misma. Un ejemplo es el caso de la pobreza, la cual puede considerarse como un factor o como una causa de la vulnerabilidad ante cierto tipo de sucesos. Sin embargo, la pobreza en sí misma no es sinónimo de vulnerabilidad. Por esta razón, es necesario estudiar detenidamente los factores que hacen que las poblaciones sean vulnerables a los fenómenos que caracterizan a las amenazas. Sin duda, muchos desastres actualmente son el producto de factores económicos y políticos,

muchas veces exacerbados por presiones que concentran población en áreas de peligro. En la mayoría de los casos, la reducción de la vulnerabilidad está ligada de manera indisoluble a intervención de las necesidades básicas de desarrollo prevaletes, razón por la cual se puede afirmar que existe una relación entre las condiciones de marginalidad económica y la vulnerabilidad vista desde la perspectiva de los desastres. La vulnerabilidad de los asentamientos humanos está íntimamente ligada a los procesos sociales que allí se desarrollan y está relacionada con la fragilidad, la susceptibilidad o la falta de resiliencia de los elementos expuestos ante amenazas de diferente índole. Por otra parte, la vulnerabilidad está íntimamente ligada a la degradación ambiental, no solo urbana sino en general del entorno natural intervenido o en proceso de transformación.

En otras palabras, el riesgo depende de aspectos físicos, pero también de un impacto intangible de carácter social, económico, ambiental. Dicho impacto, a su vez depende de una serie de factores que agravan la situación –a veces llamados efectos indirectos– que dependen de situaciones sociales del contexto y de su resiliencia; aspectos de la vulnerabilidad que no siempre son dependientes de la amenaza. Desde el punto de vista de la ingeniería, la vulnerabilidad se convierte en riesgo (nivel de consecuencias esperadas) cuando se define ante qué grado de amenaza se quiere establecer el potencial de consecuencias, pero la descripción de esa “condición que favorece o que facilita” que al ocurrir cualquier evento éste se convierta en consecuencias es una función atemporal. Al definir el nivel de intensidad del evento, en términos probabilistas, se incluye el tiempo, dado que la probabilidad se establece para un lapso de tiempo. De esta forma se establece el potencial de pérdidas, de daño o de consecuencias, que en estos términos ya es un valor expresado en términos de probabilidad, al cual se le denomina riesgo. Aceptando la hipótesis que existe una alta relación entre las carencias de desarrollo y la vulnerabilidad, Cardona (2001; 2003) propone los siguientes factores de los cuales se origina la vulnerabilidad:

- a) *La exposición*, que es la condición de susceptibilidad que tiene el asentamiento humano de ser afectado por estar en el área de influencia de los fenómenos peligrosos y por su fragilidad física ante los mismos.
- b) *La fragilidad social*, que se refiere a la predisposición que surge como resultado del nivel de marginalidad y segregación social del asentamiento humano y sus condiciones de desventaja y debilidad relativa por factores socioeconómicos.
- c) *La falta de resiliencia*, que expresa las limitaciones de acceso y movilización de recursos del asentamiento humano, su incapacidad de anticipación y respuesta efectiva y sus deficiencias para absorber el impacto.

Desde una perspectiva holística, es necesario considerar variables de diversa índole cuyo tratamiento no siempre se facilita utilizando funciones. Por esta razón, es necesario utilizar *proxies* o “representaciones”, que bien pueden ser índices o indicadores. Así, se puede afirmar que la vulnerabilidad tiene unos componentes que reflejan susceptibilidad y fragilidad física (exposición) –que tienen una dependencia de la acción o severidad del fenómeno– y otros que reflejan fragilidad social y falta de resiliencia –es decir, de capacidad de anticiparse, recuperarse y de absorber el impacto– que no son tan dependientes o no están tan condicionados a la acción del fenómeno. Un ejemplo sería una

buena organización institucional, una buena gobernabilidad, una buena cantidad de servicios de salud, una alta estabilidad económica, entre otros, que se pueden considerar factores de resiliencia. Su ausencia, o la falta de estas cualidades o capacidades se traduce en vulnerabilidad, pero en una vulnerabilidad “prevaliente”, “característica”, “inherente”, “intrínseca”, que es de especial interés desde la perspectiva de las ciencias sociales. En resumen, existe una cierta susceptibilidad y fragilidad social y una cierta falta de resiliencia que se expresa en una vulnerabilidad prevaliente, que “agrava” el impacto directo del daño causado por la acción de un fenómeno, y la vulnerabilidad condicional o dependiente de la amenaza, que modula el daño directo en el contexto social y material. Este tipo de planteamiento intenta integrar de manera holística la lectura de las ciencias físicas y las ciencias sociales, con el fin de tener una visión más completa de los factores que originan o exacerbaban la vulnerabilidad, teniendo en cuenta los aspectos de resistencia física ante los fenómenos y los aspectos prevalientes de autoprotección individual y colectiva (Cardona y Barbat 2000).

La evaluación del riesgo utilizando indicadores es una técnica desarrollada con el fin de llevar a cabo mediciones y monitoreo en el tiempo y para identificar las condiciones de inseguridad y sus causas, utilizando criterios relacionados con el grado de amenaza sísmica al que están expuestas las unidades territoriales que constituyen el área urbana de la ciudad y sus circunstancias socio-económicas que influyen en su vulnerabilidad. La evaluación del riesgo que aquí se describe y se aplica está basada en un enfoque holístico de valoración, que debido a su flexibilidad y posible compatibilidad con otros enfoques de evaluación específica, será con el tiempo cada vez más utilizada y aceptada como una de las mejores opciones para la representación de las situaciones de riesgo, debido a la naturaleza compleja e imprecisa el mismo. Su fortaleza está en la posibilidad de desagregar los resultados e identificar los factores hacia los cuales se deben orientar las acciones de reducción del riesgo, con el fin de valorar su efectividad. Su objetivo principal no es “revelar la verdad” sino proveer información y análisis para estimular y mejorar la “toma de decisiones” –es decir, que el concepto que lo subyace es el control– y no la evaluación precisa del riesgo que comúnmente se soporta en el concepto de verdad física.

2.2 Marco teórico del enfoque holístico

El marco y modelo conceptual para la evaluación del riesgo de desastre desde una perspectiva holística fue propuesto por Cardona a finales de los años 90 (Cardona 2001) y lo aplicó con Hurtado y Barbat en 2000. En estos trabajos el riesgo de desastre fue evaluado considerando diversas dimensiones o aspectos de la vulnerabilidad, que pueden subdividirse en tres categorías o factores de vulnerabilidad:

- a) *Exposición y susceptibilidad física*, D, que corresponde a un riesgo obtenido utilizando variables “duras” (hard), es decir aquellas que se reconoce que están relacionadas con el daño potencial en la infraestructura física y el ambiente,
- b) *Fragilidades socioeconómicas*, F, que corresponde a una serie de variables “blandas” (soft), que dan cuenta del impacto potencial sobre el contexto social, y

- c) *La falta de resiliencia para enfrentar el riesgo y los desastres y recuperarse de los mismos, $\neg R$, que son variables que agravan también la situación y que contribuyen al factor de impacto de segundo orden que se genera sobre las comunidades y organizaciones.*

La Figura 2-1 describe el marco teórico antes mencionado (Cardona y Barbat 2000).

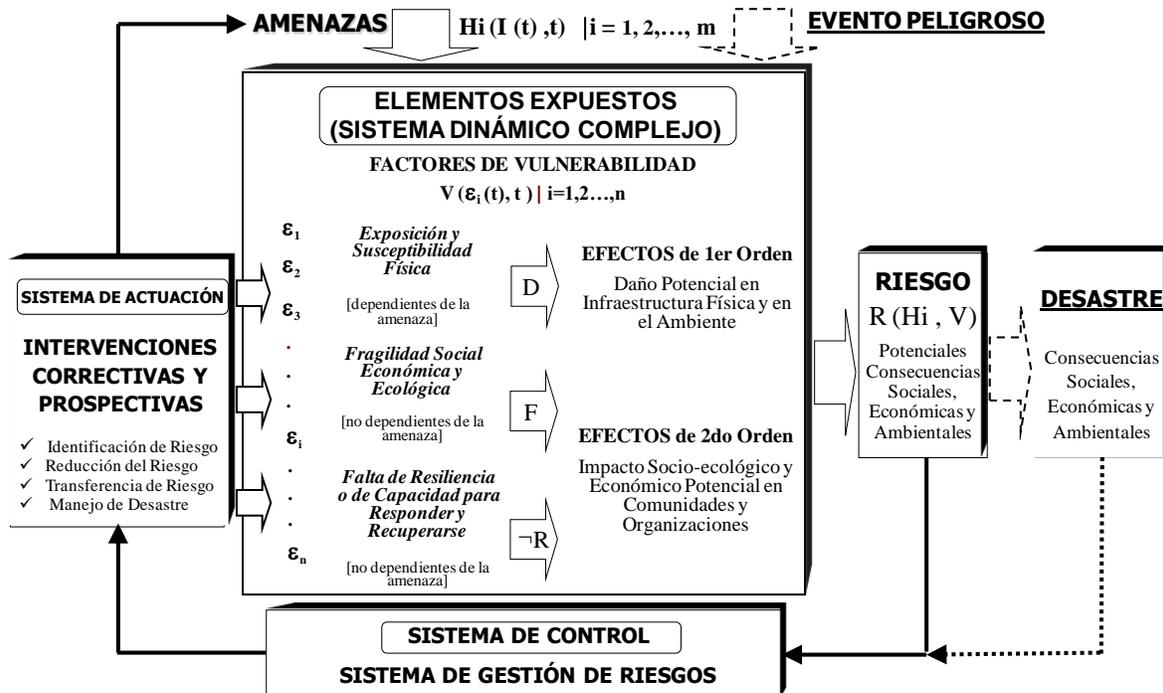


Figura 2-1

Marco y modelo teórico para el enfoque holístico de la evaluación y gestión del riesgo de desastre, adaptación para este informe de Cardona y Barbat (2000)

De acuerdo con este modelo, las condiciones de vulnerabilidad en áreas propensas a desastres dependen de la exposición y susceptibilidad de los elementos físicos, la fragilidad socioeconómica y la falta de resiliencia social del contexto. Estos factores proveen tanto una medida directa como indirecta e intangible del impacto de los eventos peligrosos. La vulnerabilidad y, por lo tanto, el riesgo son el resultado del crecimiento económico inadecuado y de deficiencias que pueden corregirse a través de procesos apropiados de desarrollo. Indicadores o índices se pueden proponer para medir la vulnerabilidad desde una perspectiva integral y multidisciplinaria. Estos indicadores se pueden definir con base en información disponible y conceptualmente deben reflejar, de la manera más directa posible, lo que se quiere valorar evitando el uso simultáneo de variables o indicadores que expresen aproximadamente el mismo aspecto. Su utilización intenta identificar las condiciones que favorecen los impactos físicos directos, como el grado de exposición y susceptibilidad de los elementos expuestos, así como también los impactos indirectos, a veces intangibles de

los eventos peligrosos a causa de la fragilidad socio-económica y falta de resiliencia de dichos elementos. Por lo tanto, de acuerdo con este enfoque, el estar expuesto y ser susceptible al daño son condiciones necesarias para la existencia de un riesgo físico o “duro”; lo que es dependiente de la amenaza. Por otra parte, estar propenso a sufrir impactos negativos, como resultado de fragilidad socioeconómica y de la incapacidad para enfrentar adecuadamente desastres es también una condición de vulnerabilidad que subyace el riesgo del contexto, o riesgo “blando”; condiciones que usualmente no son dependientes de la amenaza.

El riesgo, desde una perspectiva holística, significa consecuencias económicas, sociales y ambientales a causa de posibles fenómenos físicos. Estas consecuencias potenciales son el resultado de la convolución de la amenaza y la vulnerabilidad. Para la gestión del riesgo es deseable contar con un sistema de control y un sistema de actuación. El primero representa la organización institucional de la gestión del riesgo y el segundo las medidas de intervención, tanto correctivas como prospectivas.

Carreño (2006) desarrolló una versión alternativa del modelo, en la cual la evaluación del riesgo se lleva a cabo afectando el riesgo físico con un factor de impacto obtenido de las condiciones del contexto, tales como las fragilidades socioeconómicas y la falta de resiliencia; condiciones que agravan, ambas, el escenario de pérdidas físicas. La Figura 2-2 ilustra la nueva versión del modelo propuesto desde la perspectiva holística (Carreño et al 2005).

El diagrama se explica de la siguiente manera: desde un enfoque holístico el riesgo R , es una función del daño físico potencial D_{ϕ} , y de un factor de impacto I_f (o coeficiente de agravamiento como le denomina la autora). El primero es obtenido de la susceptibilidad de los elementos expuestos γD_i , frente a las amenazas H_i , teniendo en cuenta sus intensidades potenciales I , de los eventos en un período de tiempo t . El segundo depende de las fragilidades sociales γF_i , y de aspectos relacionados con la falta de resiliencia γR_i , del sistema socio-técnico o contexto propenso a desastres.

Usando los metaconceptos de la teoría del control y la dinámica de sistemas complejos, para reducir el riesgo es necesario intervenir en forma correctiva y prospectiva los factores de vulnerabilidad y, cuando es posible, las amenazas en forma directa. Así, la gestión del riesgo requiere de un sistema de control (estructura institucional) y un sistema de actuación (políticas públicas y acciones) para implementar los cambios necesarios en los elementos expuestos o sistema complejo donde el riesgo es un proceso socio-ambiental. Las políticas públicas de la gestión del riesgo incluyen la toma de decisiones en relación con la identificación del riesgo, la reducción del riesgo, el manejo de desastres y la transferencia del riesgo. La identificación del riesgo conlleva la representación y evaluación objetiva del riesgo, sus percepciones individuales y su representación colectiva. La reducción del riesgo involucra las medidas de prevención y mitigación, el manejo de desastres involucra la respuesta a emergencias, la recuperación y reconstrucción y, finalmente, la transferencia del riesgo significa la toma de decisiones para la protección financiera.

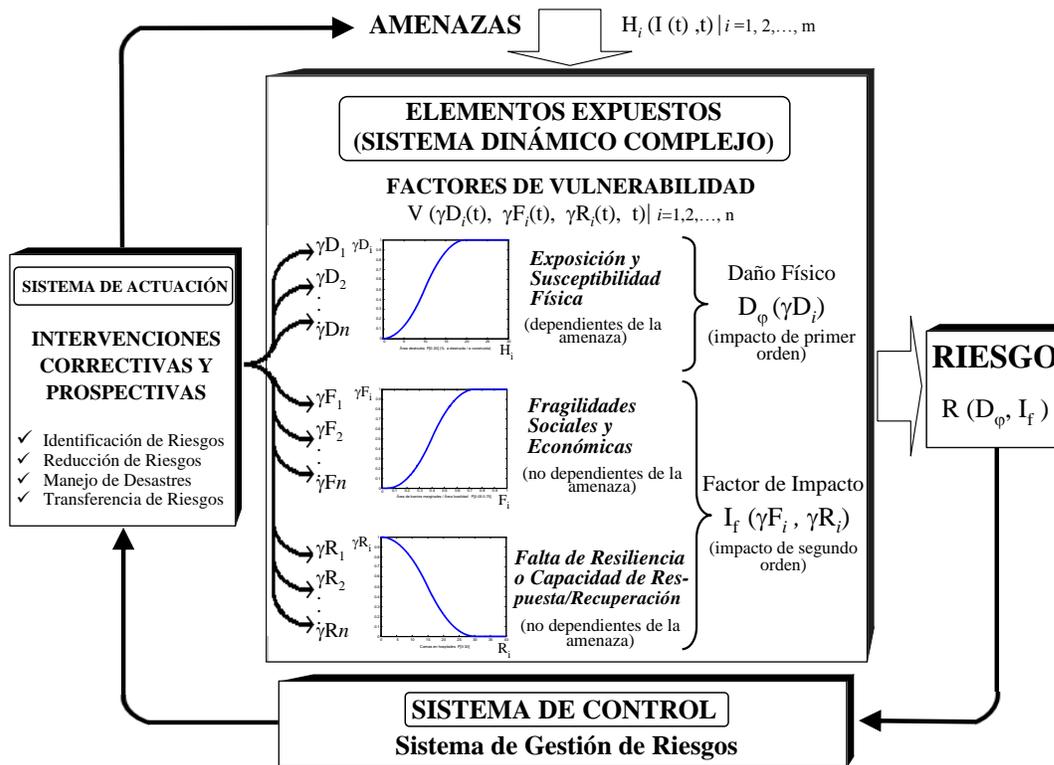


Figura 2-2
Versión del marco conceptual y modelo analítico (Carreño et al 2005)

2.3 Procedimiento de cálculo

La presente evaluación holística del riesgo sísmico a nivel urbano utiliza la técnica desarrollada por Carreño (2006) que se realiza a partir de descriptores o variables de entrada que dan cuenta tanto al riesgo físico como del riesgo del contexto. Los descriptores de riesgo físico se obtienen a partir de información existente de riesgo físico (como escenarios de daños) y los del riesgo del contexto de información sobre la fragilidad socio-económica y de la falta de resiliencia que se obtienen a su vez a partir de indicadores y datos existentes para cada una de las unidades territoriales de análisis en que se subdivide de la ciudad. Los descriptores del riesgo del contexto son factores que “agravan” el riesgo físico, o el impacto directo de un evento. Así el riesgo total puede expresarse utilizando indicadores compuestos o índices mediante la ecuación 1 de la siguiente manera:

$$R_T = R_F(1 + F) \tag{Ec. 1}$$

Esta expresión se conoce como la ecuación de Moncho¹, donde R_T es el índice de riesgo total, R_F es el índice de riesgo físico y F es un coeficiente de agravamiento que depende de la fragilidad socio-económica, FS , y de la falta de resiliencia del contexto, FR . La Figura 2-1 ilustra de manera esquemática el procedimiento de cálculo para obtener cada uno de los índices antes mencionados en cada unidad de análisis y sugiere el tipo de indicadores a utilizar en cada caso².

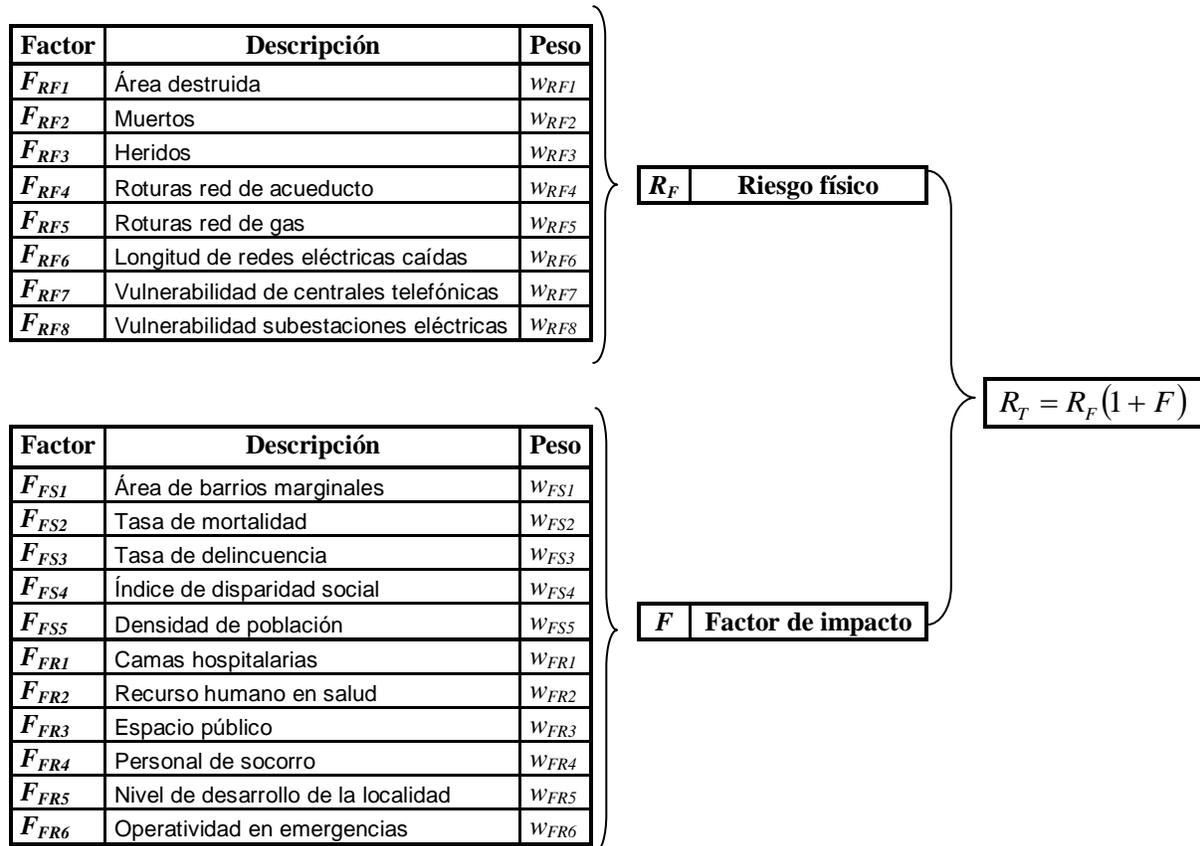


Figura 2-3
Factores de riesgo físico, fragilidad social y falta de resiliencia y sus pesos

El índice de riesgo físico R_F se obtiene de la suma ponderada de factores de riesgo físico, como lo expresa la ecuación 2

$$R_F = \sum_{i=1}^p F_{RFi} \cdot W_{RFi} \tag{Ec. 2}$$

¹ Esta denominación se la dio un grupo de expertos en uno de los talleres de trabajo del proyecto BID-IDEA, sobre indicadores de riesgo, realizado en Barcelona en noviembre de 2003.

² Los indicadores sugeridos en la figura a modo de ejemplo han sido utilizados en su totalidad o en forma parcial y/o en forma equivalente en aplicaciones anteriores en las ciudades de Barcelona, Bogotá, Manizales, Metro-Manila y Estambul.

donde F_{RFi} son los factores de riesgo físico, w_{RFi} son los pesos o contribuciones relativas de cada factor y p es el número de factores de riesgo físico utilizados. Estos pesos suman 1 y se obtienen utilizando el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) que se describe más adelante. La Tabla 2-1 presenta las variables propuestas para describir el riesgo físico y las unidades en las cuales se recomienda obtener dichos descriptores para cada zona o área de análisis.

Tabla 2-1
Descriptores de riesgo físico y sus unidades

Descriptor		Unidades
X_{RF1}	Área destruida	Porcentaje área destruida (del área construida)
X_{RF2}	Muertos	Número de heridos por cada 1,000 habitantes
X_{RF3}	Heridos	Número de muertos por cada 1,000 habitantes
X_{RF4}	Roturas red de acueducto	Número de roturas / Km ²
X_{RF5}	Roturas red de gas	Número de roturas / Km ²
X_{RF6}	Longitud de redes eléctricas caídas	Metros de longitud caída / Km ²
X_{RF7}	Vulnerabilidad de centrales telefónicas	Índice de vulnerabilidad
X_{RF8}	Vulnerabilidad subestaciones eléctricas	Índice de vulnerabilidad

Los factores de riesgo físico se obtienen de normalizar el valor de cada descriptor respectivo utilizando una función de transformación como las que se ilustran en la Figura 2-2. Conocido el valor bruto de cada variable, o descriptor, que representa el riesgo físico (número de fallecidos, área destruida, etc.), se obtiene el valor de cada factor de riesgo físico, el cual toma un valor entre 0 y 1.

De forma similar, el coeficiente de agravamiento, F , se obtiene de la suma ponderada de los factores de agravamiento que representan la fragilidad social y la falta de resiliencia, como lo expresa la ecuación 3,

$$F = \sum_{i=1}^m F_{FSi} \cdot w_{FSi} + \sum_{j=1}^n F_{FRj} \cdot w_{FRj} \quad (\text{Ec. 3})$$

donde F_{FSi} son los factores de fragilidad social, F_{FRj} son los factores de falta de resiliencia, m y n son el número de factores en cada caso y w_{FSi} y w_{FRj} son los pesos o importancias relativas de cada factor de agravamiento. Estos pesos suman 1 y se obtienen utilizando el PAJ que se explica más adelante. La Tabla 2-2 presenta los indicadores o variables propuestas para describir la fragilidad social y la falta de resiliencia, y las unidades utilizadas en cada descriptor.

Tabla 2-2
Descriptor de agravamiento por fragilidad social y falta de resiliencia y sus unidades

	Descriptor	Unidades
X_{FS1}	Área de barrios marginales	Área barrios marginales / Área localidad
X_{FS2}	Tasa de mortalidad	Número de muertos cada 10,000 habitantes
X_{FS3}	Tasa de delincuencia	Número de delitos cada 100,000 habitantes
X_{FS4}	Índice de disparidad social	Índice entre 0 y 1
X_{FS5}	Densidad de población	Habitantes / Km ² de área construída
X_{FR1}	Camas hospitalarias	Número de camas cada 1,000 habitantes
X_{FR2}	Recurso humano en salud	Recurso humano en salud cada 1,000 habitantes
X_{FR3}	Espacio público	Área de espacio público/ Área total
X_{FR4}	Personal de socorro	Personal de socorro cada 10,000 habitantes
X_{FR5}	Nivel de desarrollo de la localidad	Calificación de 1 a 4
X_{FR6}	Operatividad en emergencias	Calificación de 0 a 2

Los factores de agravamiento se calculan normalizando el valor de cada descriptor respectivo utilizando una función de transformación como las que se ilustran en las Figuras 2-3 y 2-4. Con el valor bruto de cada indicador o variable, que refleja la fragilidad social y la falta de resiliencia (área de barrios marginales, camas hospitalarias, etc.), se obtiene el valor de cada factor de agravamiento, el cual toma un valor entre 0 y 1.

Según Zapata (2004) de acuerdo con la experiencia de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, aunque los efectos económicos indirectos de un desastre natural dependen del tipo de fenómeno (CEPAL 2003), se puede considerar apropiado que si se trata de desastre “húmedo” (por ejemplo, causado por una inundación) los efectos económicos indirectos podrían llegar a ser del orden del 50% al 75% de los efectos directos. Por otra parte, en el caso de un desastre “seco” (por ejemplo, un sismo), los efectos indirectos podrían llegar a ser del orden de 75% al 100% de los efectos directos. La diferencia radica en el tipo de daños que ocasionan (destrucción de cultivos, de medios de sustento, infraestructura, vivienda, etc.). Esto significa que el impacto total podría ser del orden de 1.5 y 2 veces el impacto directo. Teniendo en cuenta esta apreciación general y para simplificar aquí se asume que el impacto indirecto de un evento, representado por F en la ecuación 1, puede llegar a ser del mismo orden que el impacto directo. Es decir, que como máximo, el impacto total –que aquí corresponde al índice de riesgo total R_T – corresponde al doble del impacto directo –que aquí se representa con el índice de riesgo físico R_F –. Esto se ve reflejado en la ecuación 1 donde el coeficiente de agravamiento F toma un valor entre 0 y 1³, y por lo tanto se asume que R_T podría ser máximo 2 veces R_F .

³ Es importante indicar que la relación entre impacto directo e indirecto al que se hace referencia se refiere a estimaciones gruesas de efectos económicos directos e indirectos. No existe un estudio que relacione empíricamente los coeficientes de agravamiento aquí propuestos con los efectos económicos indirectos; sin embargo, dichos indicadores son un proxy de los aspectos que agravan la situación en caso de presentarse el daño físico, contribuyendo al impacto socioeconómico indirecto que en este caso se valora con fines de evaluaciones relativas.

2.4 Funciones de transformación

Mediante el procedimiento antes descrito, para un área de estudio conformada por unidades de análisis, tales como departamentos, provincias, alcaldías menores, distritos, localidades o comunas, el riesgo total para cada una de las unidades de análisis se obtiene de estimar los factores de riesgo físico y de agravamiento por fragilidad social y falta de resiliencia. Dichos factores se obtienen de escalar una serie de descriptores que se han definido con base en la información disponible y que reflejan de la mejor manera lo que se quiere capturar, evitando el uso simultáneo de variables que expresen el mismo aspecto para evitar doble valoración. Esta transformación de descriptores en factores tiene como objeto escalar las diferentes variables en unidades compatibles que permitan hacer análisis conmensurables. El área de espacio público para la atención masiva de personas y el personal de socorro, por ejemplo, no pueden relacionarse en forma directa, porque en el primero se utilizan metros cuadrados y en el segundo número de personas.

Expresar el resultado del índice R_F y de F como una combinación lineal de indicadores relativos implica que no existe interacción entre los mismos o entre dichas variables y los pesos que se utilizan en la ponderación. Esto no es muy realista pero en ocasiones se ha considerado aceptable teniendo en cuenta las incertidumbres e imprecisiones inherentes de los datos y para efectos de simplificación. Ahora bien, obtener índices de riesgo mediante funciones no lineales que se vayan perfeccionando paulatinamente puede llegar a ser más adecuado y deseable, dada la complejidad asociada con la noción de riesgo y debido a que permite hacer comparaciones entre los resultados, que no sería factible poder realizar si estos son sólo valores relativos al interior del área geográfica analizada. Para este efecto es necesario asumir ciertas formas de las funciones y sus valores extremos con el apoyo de expertos, teniendo en cuenta la información existente sobre desastres anteriores. En el caso del riesgo, la mayoría de estas funciones –que tendrían un papel normativo o referencial– podrían adoptar formas sigmoidales, dado que se considera que son las formas más apropiadas y que se han utilizado ampliamente en la estimación de la vulnerabilidad física. El uso del mismo grupo de funciones –no obstante que ellas sean hipotéticas– para obtener los factores del índice R_F y de F resuelve el problema de la inconmensurabilidad de las unidades de los descriptores y establece un esquema normativo unificado para la valoración del riesgo.

La Figura 2-4, ilustra el modelo que siguen las funciones de transformación propuesto y aplicado por Carreño (2006) para la estimación de factores de riesgo físico y de agravamiento por fragilidad social y falta de resiliencia. En el eje x de la curva están los valores de los descriptores y en el eje y el valor del factor entre 0 y 1. En la parte inferior de cada función se señalan los valores máximos y mínimos a partir de los cuales el factor toma el valor máximo o mínimo (1 ó 0). Estos valores límites se determinan teniendo en cuenta apreciaciones de expertos e información sobre desastres anteriores. Para los descriptores de falta de resiliencia la curva tendrá la forma inversa, ya que a mayor valor de indicador menor será el agravamiento por su causa.

La utilización de las funciones de transformación en el cálculo de los índices de riesgo permite la comparación de sus resultados (por ejemplo, en diferentes momentos en el

tiempo o entre ciudades diferentes) y hacer una categorización o ranking siempre y cuando se utilicen indicadores similares y la misma ponderación de los factores obtenidos. Tanto las funciones de transformación como los pesos, cuyo estimación se describe más adelante, son referentes tan casuales o deliberados como lo es la estimación del daño físico o las pérdidas para un período de retorno específico en los términos más rigurosos de la evaluación del riesgo, sin embargo su utilidad es notable dado que permiten realizar un benchmark –mediciones utilizando referentes– con base en el buen juicio y la unificación de criterios de los expertos que han apoyado este trabajo. El uso de este tipo de referentes apropiados es lo que facilita la medición de múltiples atributos –evaluación multicriterio– y la comparación de aspectos del riesgo que no podrían medirse y combinarse en forma directa.

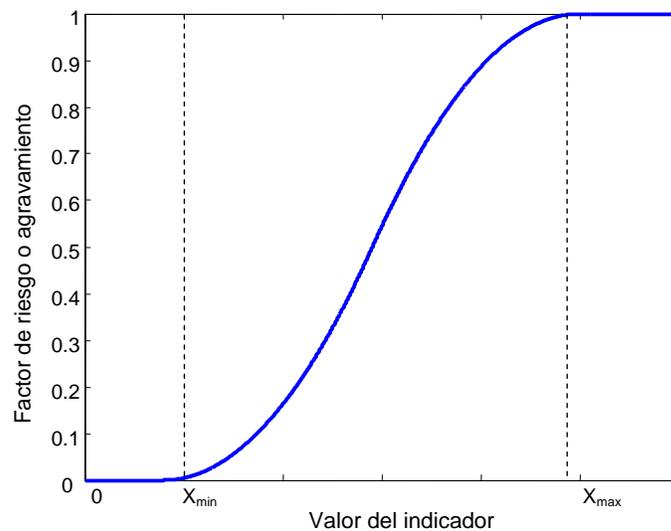


Figura 2-4
Modelo para las funciones de transformación utilizadas

2.5 Ponderación de factores

Una vez los descriptores se han escalado y se han convertido en indicadores conmensurables –es decir en factores– se debe realizar su ponderación según sea su contribución o importancia relativa al interior del índice del cual hacen parte. La participación de cada factor ilustra que tan importante –es decir que tanto pesa– dicho indicador frente a los demás en la composición del índice de riesgo sísmico y del coeficiente de agravamiento. Estos índices deben tratar de capturar el conocimiento colectivo de todos los expertos que participan en el proceso de ponderación para establecer su valor de la manera más apropiada posible. Una variedad de técnicas de ponderación ha sido usada para la construcción de índices o indicadores compuestos (JRC-EC 2002; 2003), sin embargo todos aquellos propuestos con base en técnicas estadísticas requieren o que las variables dependientes puedan ser medidas directamente (por ejemplo, mediante una

regresión) o que los indicadores estén bien correlacionados (por ejemplo, mediante un análisis de componentes principales). Dado que el riesgo no puede ser medido directamente y los indicadores no están bien correlacionados, cualquiera de las técnicas con esos prerrequisitos no es más efectiva. La única opción que queda para la ponderación es la evaluación subjetiva por parte de expertos de las contribuciones o importancias relativas (pesos) de los subindicadores que componen un indicador o un índice. Aunque esta técnica parece ser indeseable por algunos por la falta de una base explícitamente replicable, en evaluaciones características dentro de lo que se conoce como ciencia pos-normal (Funtowicz y Ravetz 1992), como es el caso del riesgo de desastre, ésta es la única opción factible y razonable para capturar el criterio, la experiencia y el juicio de expertos. Existen varias posibilidades, desde la más sencilla, conocida como la asignación de puntajes o presupuesto, hasta las técnicas Delphi cuyo objetivo es lograr resultados por consenso mediante procesos de interacción en forma anónima. Como alternativa a estas técnicas se ha propuesto el Proceso Analítico Jerárquico (Analytical Hierarchy Process - AHP) que facilita el análisis multicriterio basado en importancias relativas. Es una técnica útil para asignar los factores de participación o importancia de los componentes de un indicador de una manera más rigurosa que la directa apreciación utilizando el “juicio” o “sentimiento” de los expertos (Hyman 1998). Una descripción resumida de esta técnica se presenta en el Apéndice 1.

3 Aplicación a Managua

3.1 Información utilizada

Para la evaluación holística del riesgo de Managua, se tuvieron como base los resultados de riesgo físico presentados en el informe ERN-CAPRA-T2-7 (Riesgo sísmico de Managua, ERN 2009) realizados por este grupo consultor en el marco de la plataforma CAPRA, así como una serie de variables que caracterizan aspectos sociales y del contexto de los distritos que conforman la ciudad, para calcular el índice de riesgo físico R_F .

Para el cálculo del coeficiente de agravamiento F , se utilizó como base información encontrada en diferentes fuentes nacionales y locales.

Managua está dividida en cinco distritos, este estudio se realizó teniendo en cuenta esta división.

3.2 Índice de riesgo físico, R_F

La evaluación del riesgo físico para Managua, tiene en cuenta la amenaza sísmica, ya que esta es la amenaza dominante para la ciudad; es decir la que mayores pérdidas traería a la ciudad. Los indicadores seleccionados para la evaluación se presentan en la tabla 3-1.

Tabla 3-1
Indicadores de riesgo físico para Managua

	Indicador	Unidades
X_{RF1}	Muertos	# cada 100.000 hab
X_{RF2}	Heridos	# cada 100.000 hab
X_{RF3}	Perdidas	prima [‰]

La tabla 3-2 presenta los valores de los indicadores seleccionados para los distritos de la ciudad. La figura 3-1 presenta las funciones de transformación utilizadas para normalizar estos indicadores, y la tabla 3-3 presenta los factores obtenidos de esta transformación y los resultados para el índice de riesgo físico R_F .

La figura 3-1 presenta las funciones correspondientes a los indicadores de muertos, heridos, prima para construcciones.

Tabla 3-2
Indicadores de riesgo físico para Managua

Distrito	X_{RF1}	X_{RF2}	X_{RF3}
II	5	10	1,69
III	5	9	2,48
IV	3	7	2,08
V	4	9	1,56
VI	4	8	0,90

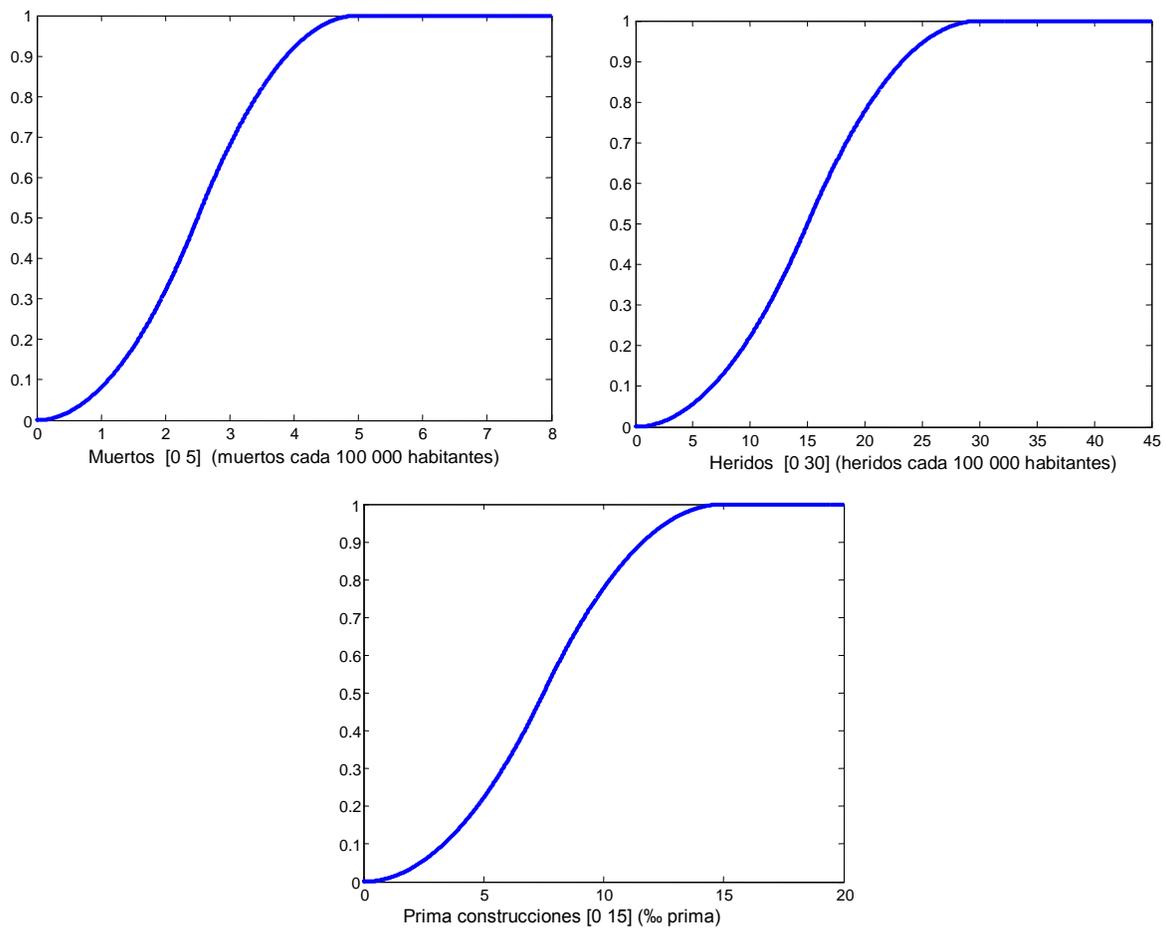


Figura 3-1
Funciones de transformación utilizadas

Tabla 3-3
Indicadores de riesgo físico e Índice de riesgo físico para Managua

Distrito	F_{RF1}	F_{RF2}	F_{RF3}	R_F
II	1,00	0,22	0,03	0,14
III	1,00	0,18	0,05	0,16
IV	0,68	0,11	0,04	0,11
V	0,92	0,18	0,02	0,13
VI	0,92	0,14	0,01	0,11

Las figuras 3-2 y 3-3 presentan los resultados obtenidos para el riesgo sísmico físico.

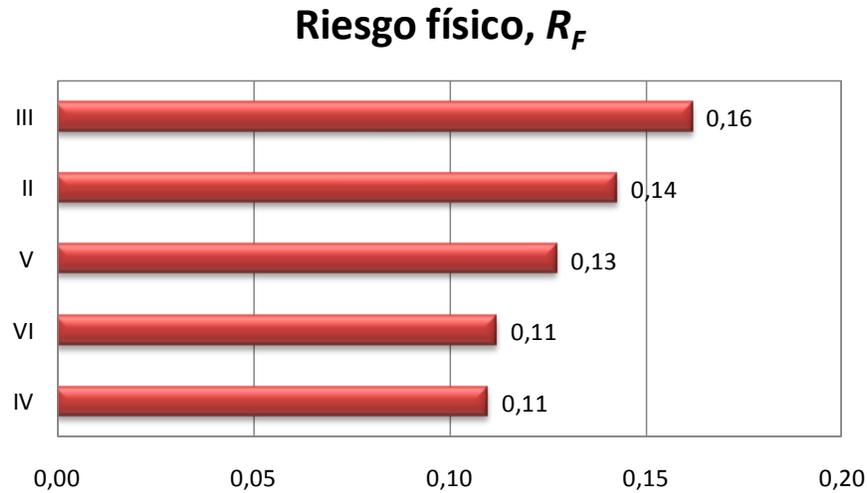


Figura 3-2
Resultados obtenidos de riesgo físico por distrito

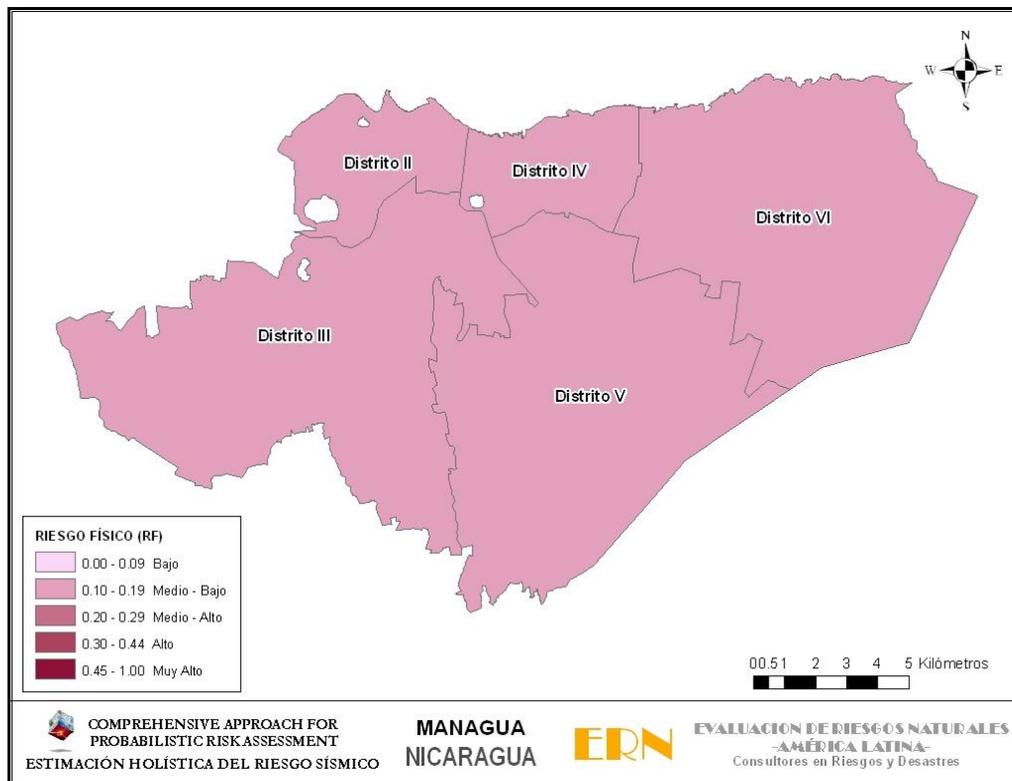


Figura 3-3
Mapa de resultados obtenidos por rango para riesgo físico

3.3 Coeficiente de agravamiento, F

Para la evaluación de las condiciones de agravamiento para Managua se utilizó como base información encontrada en fuentes como el Instituto Nacional de Información de Desarrollo, así como estudios realizados por UNDP, información de la Alcaldía de Managua y de la Policía Nacional. La tabla 3-4 presenta los indicadores seleccionados para la evaluación de acuerdo con la información disponible.

La tabla 3-5 presenta los valores de los indicadores seleccionados para los distritos de la ciudad. La figura 3-4 presenta las funciones de transformación utilizadas para normalizar estos indicadores, y la tabla 3-6 presenta los factores obtenidos de esta transformación y los resultados para el Coeficiente de agravamiento F .

La figura 3-4 presenta las funciones correspondientes a los indicadores de densidad de población, tasa de delincuencia, espacio libre, camas en hospitales y recurso humano en salud.

Tabla 3-4
Indicadores de condiciones de agravamiento para Managua

	Indicador	Unidades
X_{FS1}	Densidad de población	hab / km ²
X_{FS2}	Tasa de delincuencia	delitos cada 100.000 hab
X_{FS3}	Pobreza extrema	% de población
X_{FR1}	Espacio libre	m ² de espacio / km ² área
X_{FR2}	Camas hospitalarias	camas cada 10.000 hab
X_{FR3}	Recurso humano en salud	personal cada 10.000 hab

Tabla 3-5
Indicadores de condiciones de agravamiento para Managua

Distrito	X_{FS1}	X_{FS2}	X_{FS3}	X_{FR1}	X_{FR2}	X_{FR3}
II	6498	5493,47	37,80	0,03	50,50	3,41
III	2282	4311,09	46,80	0,00	38,93	1,89
IV	9323	5411,72	39,80	0,04	20,01	2,36
V	2510	5753,98	44,20	0,01	14,28	2,22
VI	3729	5594,61	45,50	0,01	5,40	2,19

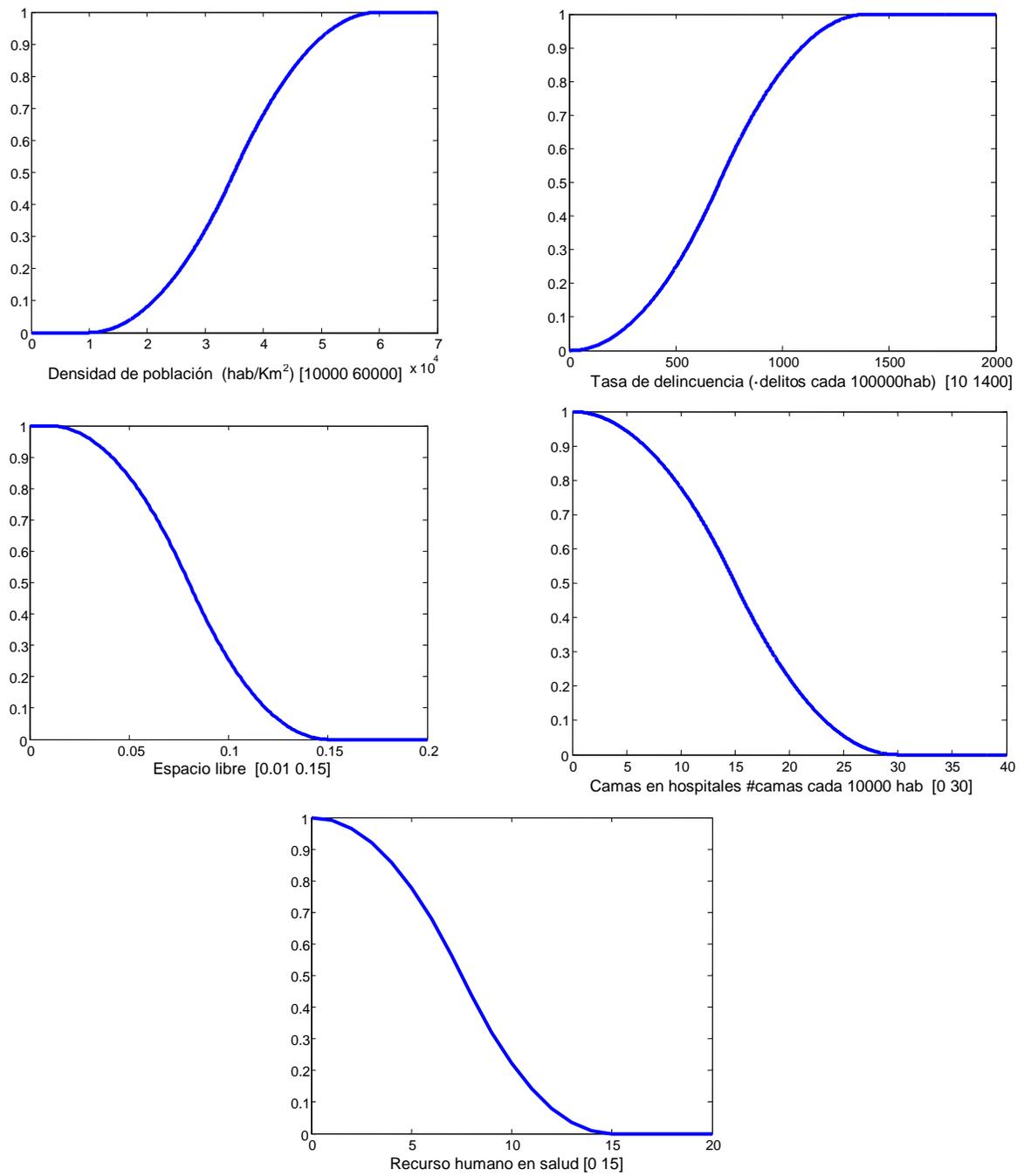


Figura 3-4
Funciones de transformación utilizadas

Tabla 3-6
Indicadores de condiciones de agravamiento y coeficiente de agravamiento para Managua

Distrito	F_{FS1}	F_{FS2}	F_{FS3}	F_{FR1}	F_{FR2}	F_{FR3}	F
II	0,31	1,00	0,38	0,97	0,90	0,90	0,62
III	0,02	1,00	0,47	1,00	0,97	0,97	0,62
IV	0,67	1,00	0,40	0,92	0,95	0,95	0,70
V	0,02	1,00	0,44	1,00	0,96	0,96	0,61
VI	0,08	1,00	0,46	1,00	0,96	0,96	0,63

Coeficiente de agravamiento, *F*

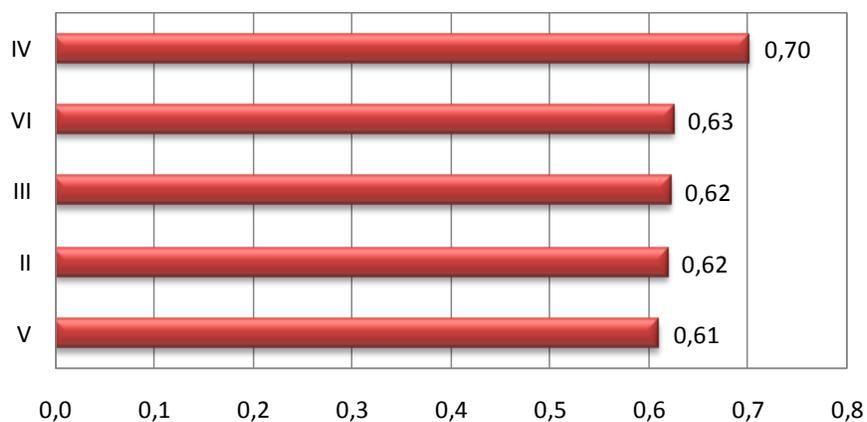


Figura 3-5
Resultados obtenidos del coeficiente de agravamiento por distritos

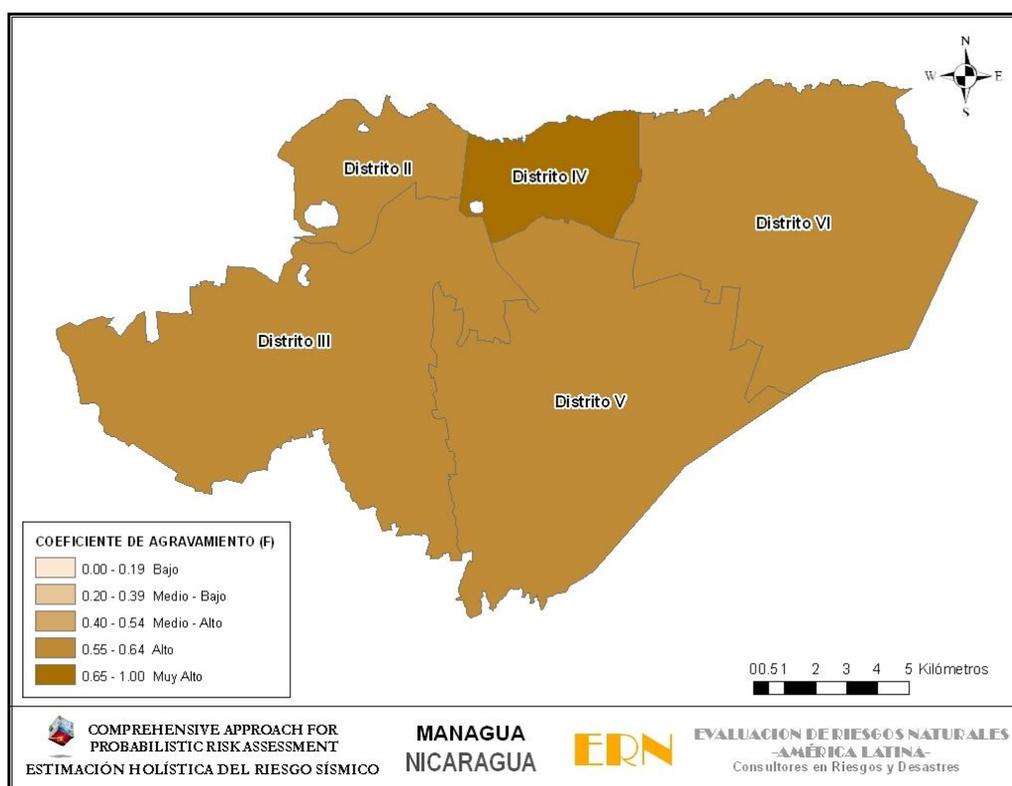


Figura 3-6

Mapa de resultados obtenidos por rango para el coeficiente de agravamiento

3.4 Riesgo total, R_T

El riesgo total se obtiene una vez han sido calculados sus índices componentes. La Tabla 3.7 y la Figura 3.7 presentan los valores del índice de riesgo total para cada distrito.

Tabla 3-7
Resultados obtenidos para Managua

Distrito	R_F	F	R_T
II	0,14	0,62	0,23
III	0,16	0,62	0,26
IV	0,11	0,70	0,19
V	0,13	0,61	0,21
VI	0,11	0,63	0,18

Riesgo total, R_T

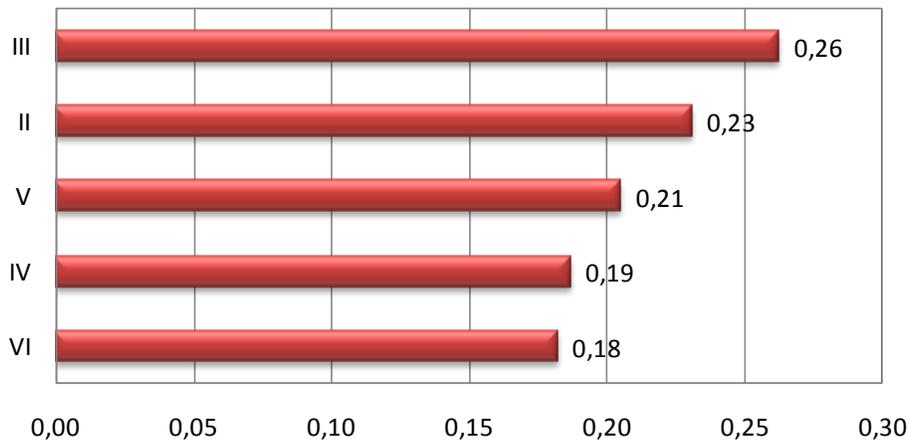


Figura 3-7
Resultados obtenidos del Riesgo total por distritos

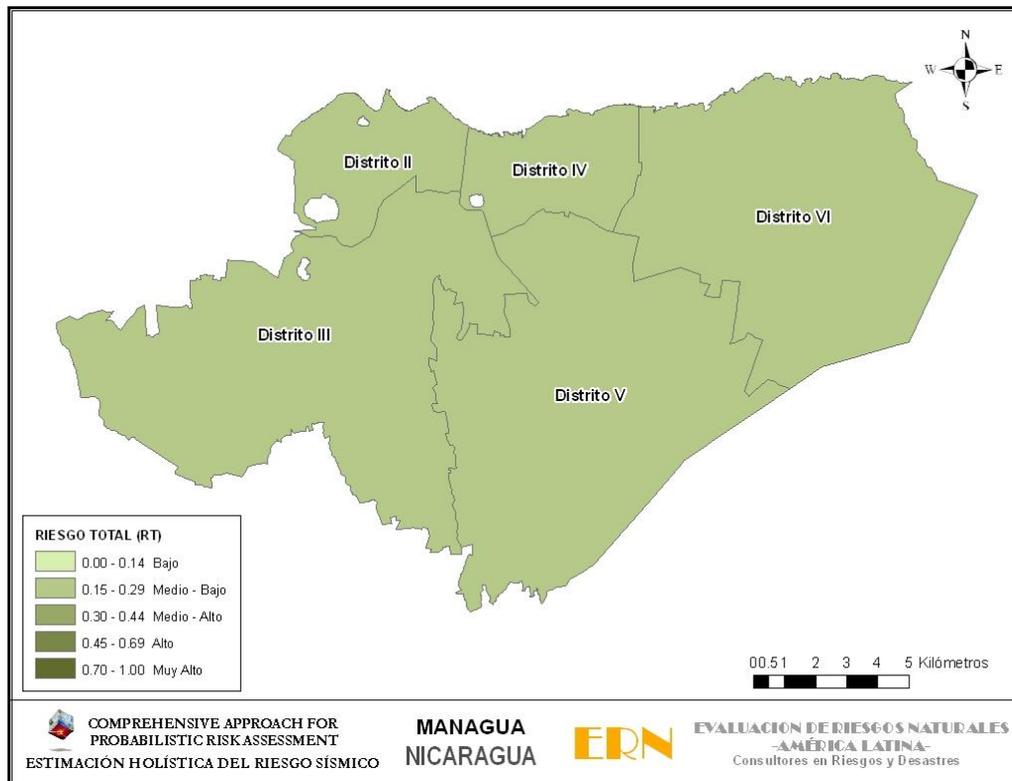


Figura 3-8
Mapa de resultados obtenidos por rango para riesgo total

4 Comentarios finales

La estimación del riesgo desde una perspectiva holística permite hacer una clasificación o ranking del nivel de riesgo relativo de unidades territoriales, permitiendo identificar aquellas que presentan el mayor riesgo físico, pero también aquellas que presentan condiciones sociales, económicas o ambientales que favorecen que el riesgo se incremente cuando se materializa en un desastre. En este caso es posible identificar que, en cuanto al riesgo físico, todos los distritos de la ciudad tienen un nivel medio-bajo de riesgo sísmico.

Por otro lado, en general el coeficiente de agravamiento es alto para todos los distritos de la ciudad, con excepción del distrito IV que presenta un nivel de agravamiento muy alto, es decir, es el distrito con mayor fragilidad social y falta de resiliencia. Todos los distritos de la ciudad de Managua presentan un nivel medio-bajo de riesgo sísmico total.

En general, el indicador que hace mayor aporte a empeorar las condiciones agravantes en la ciudad para todos los distritos es la tasa de delincuencia, seguido por la falta de espacio libre y la falta de recurso humano en salud. La Tabla 4-1 identifica para cada distrito los indicadores de fragilidad social y falta de resiliencia que más contribuyen a empeorar el coeficiente de agravamiento.

Se concluye que si se realizan evaluaciones periódicas es posible identificar las influencias y cambios en las variables y resultados de riesgo que se derivan. En el caso de intervenciones prospectiva y correctiva que signifiquen cambios como resultado de actividades de prevención y en general del desarrollo, es posible identificar el beneficio de dichas intervenciones en forma dinámica. En otras palabras, es posible actualizar el valor de las variables fácilmente, lo que favorece los análisis de sensibilidad y la calibración del modelo. Esta particularidad del enfoque integral de evaluación del riesgo, que parte de la evaluación de los efectos directos, permite monitorear el riesgo y la efectividad de las medidas de prevención-mitigación. Finalmente, es posible identificar los aspectos más relevantes del riesgo sin llevar a cabo grandes esfuerzos de análisis e interpretación de resultados.

Tabla 4-1
Indicadores de condiciones de agravamiento con mayor aporte en orden decreciente por distrito

Distrito	Indicador
II	Tasa de delincuencia Espacio libre Recurso humano en salud Camas hospitalarias
III	Tasa de delincuencia Espacio libre Recurso humano en salud Camas hospitalarias
IV	Tasa de delincuencia Recurso humano en salud Camas hospitalarias Espacio libre
V	Tasa de delincuencia Espacio libre Recurso humano en salud Camas hospitalarias
VI	Tasa de delincuencia Espacio libre Recurso humano en salud Camas hospitalarias

5 Bibliografía

- Cardona, O.D. (1999): "Environmental Management and Disaster Prevention: Two Related Topics - A Holistic Risk Assessment and Management Approach", *Natural Disaster Management*, Ingleton J. (Ed.) IDNDR, Tudor Rose, IDNDR, London, UK.
- Cardona, O.D. (2001a). "Estimación Holística del Riesgo Sísmico utilizando Sistemas Dinámicos Complejos" Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
<http://www.desenredando.org/public/varios/2001/ehrisusd/index.html>,
- Cardona, O.D., Yamin, L.E., Arámbula, S., Molina, L.F., (2001b). *Retención y Transferencia de Riesgo Sísmico en Colombia*, Primer Simposio Colombiano de Sismología, Bogotá.
- Cardona, O.D.. (2003). "The Need for Rethinking the Concepts of Vulnerability and Risk from a Holistic Perspective: A Necessary Review and Criticism for Effective Risk Management", in *Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People*, G. Bankoff, G. Frerks, D. Hilhorst (Ed), Earthscan Publishers, Londres.
- Instituto de Estudios Ambientales. (2005). *Indicators of Disaster Risk and Risk Management: Program for Latin America and the Caribbean. Summary Report*. BID/IDEA Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
<http://idea.unalmz.edu.co>
- Cardona, O. D. & Barbat, A. H. (2000). *El Riesgo Sísmico y su Prevención*, Cuaderno Técnico 5, Calidad Siderúrgica, Madrid.
- Cardona, O.D., Hurtado J.E. (2000): "Modelación Numérica para la Estimación Holística del Riesgo Sísmico Urbano, Considerando Variables Técnicas, Sociales y Económicas" *Métodos Numéricos en Ciencias Sociales (MENCIS 2000)*, Oñate, E. et al. (Eds.) CIMNE-UPC, Barcelona.
- 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, Cardona, O.D. & Barbat, A.H. (2004). *Metodología para la evaluación del desempeño de la gestión del riesgo*, Monografía CIMNE IS-51, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Carreño, M.L., Cardona, O.D. and Barbat, A.H. (2005). *Sistema de indicadores para la evaluación de riesgos*, Monografía CIMNE IS-52, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.