

ÍNDICE DE RIESGO SÍSMICO URBANO

RESUMEN

El Índice de riesgo sísmico urbano (I.R.S.U.) es un modelo para la estimación holística que utiliza la evaluación multicriterio e involucra factores de amenaza como amenaza sísmica y efectos colaterales y de vulnerabilidad como físico, exposición, socio-económico e institucional, para obtener una aproximación a las condiciones de riesgo. El I.R.S.U. se propone como una herramienta para la toma de decisiones en la gestión del riesgo, que permite realizar evaluaciones individuales y también comparativas entre áreas urbanas, con el fin de efectuar análisis regionales. Finalmente, este modelo ha sido aplicado en cinco municipios de Colombia pertenecientes al Eje Cafetero.

PALABRAS CLAVES: Riesgo sísmico, estimación holística, evaluación multicriterio, amenaza, vulnerabilidad, gestión del riesgo.

ABSTRACT

The Index of urban seismic risk (I.R.S.U.) is a model for the holistic valuation that utilizes multicriterion evaluation and involves hazard factors such as seismic hazard and collateral effects, and of vulnerability like physical, exposure, social, economical, and institutional to obtain an approach to risk conditions. The I.R.S.U. is proposed like a tool for making decisions on risk management, that allows realize individual and comparative evaluations between urban areas, to effect regional analysis. Finally, this model have been applicated in five Colombian cities pertaining to Eje Cafetero.

KEYWORDS: *Seismic risk, holistic valuation, multicriterion evaluation, hazard, vulnerability, risk management.*

1. INTRODUCCIÓN

La concepción del riesgo asociado a fenómenos naturales ha sido fragmentada, estando prioritariamente orientada al estudio de la amenaza y la vulnerabilidad de las estructuras, lo que probablemente ha ocasionado la ineficacia en la toma de decisiones tendientes a su reducción, por lo cual es necesario abordar el tema desde un enfoque integral.

El área de estudio esta conformada por los conglomerados de ciudades con proceso de metropolización del Eje Cafetero¹ denominados en su conjunto también ciudad-región. Ésta zona se encuentra sujeta a una amenaza sísmica alta, debido a la tectónica regional y a las condiciones locales del suelo; lo cual sumada al proceso acelerado y no planificado de urbanización que se esta presentando en estos municipios, en los que un segmento importante de la población, vive en condiciones económicas precarias, sin una organización social fuerte y bajo una gestión

¹ Entiéndase para esta investigación como ciudades con procesos de metropolización de la Ecorregión Eje Cafetero, aquellas pertenecientes a los conglomerados conformados así: el primero por Manizales, Villa María, Chinchiná, Palestina y Neira; el segundo correspondiente a Pereira, Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal, La Virginia y Cartago; el último integrado por Armenia, Calarcá, Circasia, Montenegro y La Tebaida.

JORGE ENRIQUE SALAZAR H.
Estudiante de Administración del Medio Ambiente
Universidad Tecnológica de Pereira
jesalazarh@yahoo.es

ISABEL CRISTINA VÉLEZ B.
Estudiante de Administración del Medio Ambiente
Universidad Tecnológica de Pereira
velezbermudez@yahoo.es

institucional insuficiente en cuanto a la prevención de desastres, configura un escenario de riesgo que trasciende las escalas político-administrativas.

Por tanto la presente investigación elaborada bajo la modalidad de práctica empresarial dentro del Proyecto Perfil Urbano de las Ciudades con Procesos de Metropolización en la Ecorregión del Eje Cafetero, de la CORPORACIÓN ALMA MATER y COLCIENCIAS, buscó profundizar en el análisis del riesgo sísmico, desde una perspectiva más amplia desarrollando para ello, un índice de riesgo sísmico urbano relativo, que por una parte permite evaluar individualmente cada municipio y por otra posibilita comparar diferentes áreas urbanas para realizar estimaciones regionales.

2. ÍNDICE DE RIESGO SÍSMICO URBANO (I.R.S.U.)

2.1 SELECCIÓN DE FACTORES Y VARIABLES QUE INCIDEN EN EL RIESGO SÍSMICO URBANO EN LAS CIUDADES CON PROCESOS DE METROPOLIZACIÓN DE LA ECORREGIÓN DEL EJE CAFETERO

De acuerdo a los datos recolectados, el marco conceptual propuesto, la factibilidad de medición y la opinión de expertos locales, se identificaron los factores de amenaza y vulnerabilidad que se consideraron como los de mayor

incidencia en el riesgo sísmico en los 15 municipios pertenecientes a la zona de estudio (Figura 1). Finalmente la disponibilidad de información no permitió incluir dimensiones de la vulnerabilidad, como la cultural, coyuntural y educativa. De la misma forma, se eligieron las variables que podrían conformar los factores determinados, para proporcionar una visión general a cerca del riesgo asociado a eventos sísmicos en las áreas urbanas en cuestión.

Posteriormente, las escalas de medición o parámetros de las variables se establecieron de acuerdo con las condiciones de la zona, la consulta a expertos o en algunos casos con base en los rangos originales de las investigaciones existentes analizadas.

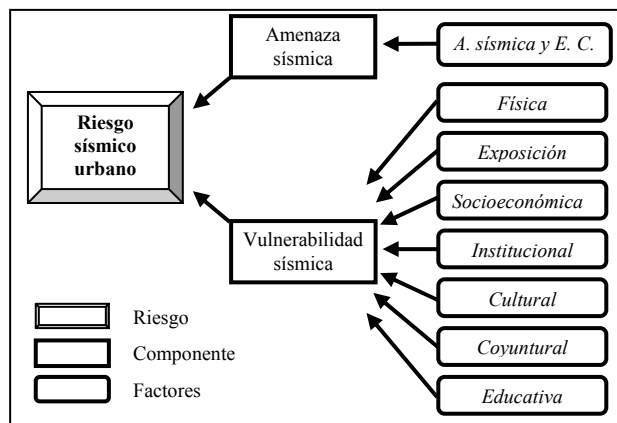


Figura 1. Componentes y factores que inciden en el Riesgo Sísmico

Teniendo en cuenta que fue necesario llevar a cabo una selección de variables, se utilizaron los criterios usados por Davidson [1] para la elección de indicadores en el proceso de construcción del EDRI (*Earthquake Disaster Risk*), los cuales se enumeran a continuación:

Validez. Los indicadores propuestos deberán representar exactamente los factores para los cuales son delegados.

Disponibilidad y calidad de datos. Los indicadores deberán ser medidos mediante datos confiables, accesibles en forma consistente para todas las ciudades estudiadas y relativamente fáciles de recopilar.

Cuantitividad y objetividad. Los indicadores deben ser elaborados cuantitativa y objetivamente siempre que sea factible.

Comprensibilidad. Los indicadores deberán ser intuitivamente comprensibles, usando conceptos conocidos y cantidades cuando sea posible.

Ser directo. Un indicador es directo si mide el concepto de interés él mismo, mientras que el indirecto miden alguna otra variable que se supone (basándose en

experiencia o teoría) esta cercanamente relacionada con la variable de interés.

Sin embargo en algunas ocasiones no fue viable acogerse a todos los criterios antes expuestos, por ejemplo, cuando no se contaba con la suficiente información para cuantificar las variables, fue necesario recurrir a evaluaciones subjetivas.

2.2 DEFINICIONES DE LOS COMPONENTES Y FACTORES ESTABLECIDOS

2.2.1 Amenaza sísmica. Se define como la probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico potencialmente dañino con una cierta intensidad, en un espacio y período de tiempo determinado

2.2.1.1 Factor amenaza sísmica y efectos colaterales. Se refiere a una serie de variables que expresan el nivel de peligro sísmico en el municipio. Para su determinación en este caso, se usaron las siguientes variables dependiendo de si el centro urbano cuenta con un estudio de microzonificación sísmica o de zonificación sísmica indicativas, ésto debido a que una gran cantidad de municipios de la ciudad-región del eje cafetero, no poseen el primer tipo de estudio mencionado, por no tener más de 100.000 habitantes, ya que es lo que se estipula en las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo-Resistente NSR-98 [2] para su realización, siendo entonces necesario usar indicadores distintos para su estimación:

- Municipios con microzonificación sísmica:
 - Seudo-aceleración espectral $(0,2-0,5)$
 - Seudo-aceleración espectral $(0,51-1)$
 - Area en suelos licuables
 - Topografía
 - Precipitación Media Anual
- Municipios con zonificación sísmica indicativa:
 - Aceleración en roca
 - Nivel de amplificación
 - Area en suelos licuables
 - Topografía
 - Precipitación Media Anual

Cabe anotar, que la topografía y precipitación media anual, a pesar de evaluarse separadamente, tienen como propósito estimar la susceptibilidad a deslizamientos, esto debido a que no se contaba con la información secundaria que permitiera medir esta última directamente. Lo más adecuado, sería utilizar un indicador que se refiriera al área con susceptibilidad a deslizamientos, en el cual se incluyan por ejemplo las categorías baja, media, alta y muy alta.

2.1.2 Vulnerabilidad sísmica. Es una predisposición intrínseca a ser afectado o sufrir un daño, debido a la incapacidad para absorber, oponerle resistencia o

adaptarse al cambio generado por un evento sísmico potencialmente dañino.

2.1.2.1 Factor físico. Se define como la capacidad que poseen las estructuras físicas para absorber los efectos de un evento sísmico. Para su determinación, se emplearon las variables que se presentan a continuación:

- Número de pisos
- Tipo estructural
- Tipo de cubierta
- Edad de las construcciones

2.1.2.2 Factor exposición. Se define como la cantidad y concentración de personas y área construida, sujetas a la acción de un evento sísmico en el casco urbano del Municipio. Para su medición, se utilizaron cuatro variables:

- Población
- Densidad de población
- Área construida
- Densidad de construcción

2.1.2.3 Factor socio-económico. Se define como “el nivel de cohesión interna que posee una comunidad” [3] y la posibilidad de cada individuo de tener acceso a diferentes bienes y servicios básicos de acuerdo a sus recursos económicos. Las variables usadas en este caso fueron:

- Densidad organizacional
- Diversidad organizacional
- Índice de calidad de vida
- Cobertura en salud
- Tipo de estrato socioeconómico

2.1.2.4 Factor institucional. Se define como la capacidad que tienen las instituciones para prevenir y enfrentar un desastre natural provocado por un evento sísmico en un momento determinado. En este factor se tomaron las siguientes variables:

- Conformación del comité de prevención y atención de desastres municipal
- Plan de trabajo
- Plan para la prevención de desastres y mitigación de riesgos
- Plan de emergencias
- Plan de contingencia
- Inventario de viviendas ubicadas en zonas de alto riesgo
- Ejecución presupuestal para la Prevención y Atención de Desastres con respecto al presupuesto total de inversiones del municipio

2.3 TÉCNICA DE MODELIZACIÓN Y ESTRUCTURA DEL ÍNDICE DE RIESGO SISMICO URBANO

El modelo aquí planteado pretende realizar un acercamiento holístico a la realidad, tratando de involucrar la mayor cantidad de información pertinente posible, con el fin de obtener una aproximación acertada de las condiciones de riesgo sísmico en las áreas urbanas.

Teniendo en cuenta lo anterior se considero como una herramienta útil para el desarrollo del modelo la evaluación multicriterio (EMC). Para Sanahuja “La EMC basa su funcionamiento en la evaluación de una serie de criterios que se han reconocido a priori como relevantes en un problema a evaluar” [4].

El modelo presenta dos alternativas, una para los municipios que cuentan con microzonificación sísmica y la segunda para los que tienen zonificación sísmica indicativa. En la Figura 2, se muestra la estructura general del IRSU; integrada por componentes y factores, éstos últimos constituidos a su vez por y variables y sus respectivos parámetros, los cuales serán tratados más adelante.

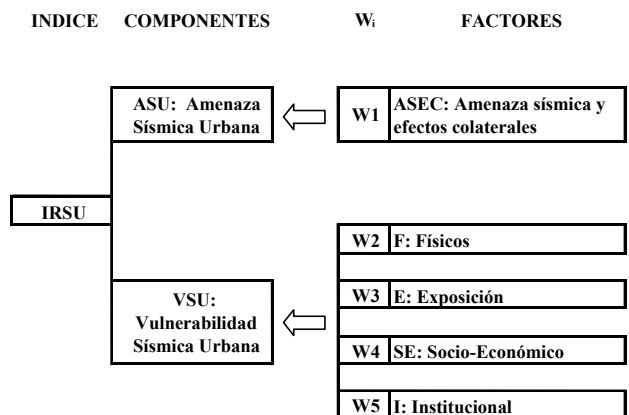


Figura 2. Estructura del Índice de riesgo sísmico urbano (IRSU)

2.4 FÓRMULA MATEMÁTICA

El Índice de Riesgo Sísmico Urbano se calcula mediante una combinación lineal, no habiendo por tanto una interacción entre los diferentes factores, variables y sus respectivos pesos de ponderación, pero si se tiene en cuenta, la complejidad que generaría una combinación no lineal, la incertidumbre propia de los datos y además que estudios de tipo similar han llevado a cabo este procedimiento con éxito, se consideró que ésta era la mejor alternativa para originar una herramienta sencilla para la estimación del riesgo sísmico urbano.

La fórmula matemática usada para efectos de esta evaluación se presenta a continuación:

$$IRSU = \sqrt{A.S.U. \times V.S.U.}$$

A.S.U. = Componente Amenaza Sísmica Urbana

V.S.U. = Componente Vulnerabilidad Sísmica Urbana

En el modelo aquí propuesto como se observa en la formula anterior, se eligió como expresión matemática para la determinación del riesgo la raíz cuadrada de la multiplicación de la amenaza por la vulnerabilidad, por generar resultados que satisfacen sus límites naturales de cero a uno y además que cuando alguno de los dos componentes es cero, el riesgo es cero y de la misma manera, en el caso que ambos sean uno, este último es equivalente a la unidad.

Según Jaramillo [5], cuando en la literatura se hace alusión acerca del producto de la amenaza y la vulnerabilidad se habla en sentido informativo, es decir, que se refieren a que en el cálculo del riesgo intervienen ambos elementos, pero no que la relación matemática funcional sea el producto.

A continuación se desagregan los dos componentes anteriores en sus respectivos factores:

$$A.S.U. = W_1 \times A.S.E.C.$$

$$V.S.U. = W_2 \times F + W_3 \times E + W_4 \times SE + W_5 \times I$$

Donde:

A.S.E.C. = Factor Amenaza Sísmica y Efectos Colaterales.

F = Factor Físico.

E = Factor Exposición.

SE = Factor Socio-Económico.

I = Factor Institucional.

W_i = Valor de ponderación generado por los expertos para los factores.

Para obtener los valores de cada uno de los factores, se multiplican las variables que los conforman por sus respectivos pesos de ponderación y seguidamente se suman, llevándose a cabo esto de la misma forma como anteriormente fueron obtenidos los componentes amenaza y vulnerabilidad.

Posteriormente para evaluar las variables, debido a que poseen diferentes parámetros y no en todos los casos pueden ser calificadas con uno solo, el puntaje de éstas se determina mediante el procedimiento que se explica a continuación:

Valor de la variable = $\sum W_{ii} \times \% \text{ del parámetro con respecto al municipio, a su casco urbano o al área de las manzanas dentro de este último, según sea el caso.}$

W_{ii} = Valor de ponderación generado por los expertos para las variables.

En la calificación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo se utilizan los mismos rangos (Tabla 1), los cuales están basados en los índices de Park, Ang y Wen [6] y los propuestos por Cardona [7] para iniciar la calibración de una red neuronal, el cual a su vez tuvo en cuenta el trabajo antes mencionado, las curvas de fragilidad utilizadas por HAZUS en las que se observa la tendencia creciente en forma de S del nivel de consecuencias y los rangos propuestos por ATC-13.

Tabla 1. Rangos de calificación utilizados en el I.R.S.U.

Rango	Calificación
0 - 0,16	Muy bajo
0,17 - 0,32	bajo
0,33 - 0,54	Moderado
0,55 - 0,75	Alto
0,76 - 1,00	Muy alto

2.5 PONDERACIÓN DE LOS FACTORES, VARIABLES Y PARÁMETROS

Puesto que los indicadores utilizados en el modelo no tienen la misma importancia relativa, fue pertinente llevar a cabo una ponderación de los mismos. Para lo anterior se analizaron distintas alternativas examinadas en estudios como el de Davidson [1] y el de Cardona [7], donde se consideraron tres métodos: la regresión, el análisis de componentes principales y la evaluación subjetiva. En éstos, las dos primeras opciones basadas en la estadística no fueron factibles, ya que la primera, requiere que las variables dependientes sean medidas directamente y la segunda que los indicadores estén bien correlacionados. Por tanto el método elegido fue la evaluación subjetiva.

En la investigación realizada, al igual que en las antes mencionadas, no es posible medir directamente las variables que componen el riesgo y los indicadores no están bien correlacionados, por tanto se optó por realizar también una evaluación subjetiva. Para Davidson [1] esta es la única técnica factible y razonable para capturar el criterio, la experiencia y el juicio de expertos. La evaluación subjetiva tiene como principales ventajas aumentar la legitimidad, la aceptación de los resultados y rescatar la experiencia y conocimiento de los expertos.

Para realizar la ponderación, se utilizaron técnicas derivadas de la teoría de la decisión, una de estas fue la Delphi, la cual es usada para la toma grupal de decisiones y no requiere de la presencia física, por tanto facilita la participación de personas de diferentes áreas de una región, país o incluso del mundo sin la necesidad de reunirlos en un lugar y momento determinado. En esta se desarrollan una serie de cuestionarios para recoger la apreciación de los expertos, en este caso se empleo la matriz de comparación por pares del proceso jerárquico

analítico (AHP), que permite medir la consistencia de las valoraciones de los expertos.

Por otra parte, las variables consideradas utilizan distintas escalas de medición o parámetros², un ejemplo de esto es: el tipo estructural, el cual reconoce diferentes valores como mampostería simple, mampostería confinada, mampostería reforzada, etc., siendo ésta una escala nominal, el estrato socio-económico cuya escala ordinal jerarquiza los valores de acuerdo con un rango y por último la población que no cuenta con una escala definida. Asimismo, debido a las carencias en cuanto a la información disponible, se generó la necesidad de involucrar indicadores tanto cuantitativos como cualitativos, condición que también impide que los datos sean compatibles. Para superar los obstáculos antes mencionados, se analizaron varias alternativas, sin embargo la opción más viable fue construir escalas para las variables que no las tenían y adimensionar los datos con el fin de hacerlos conmensurables, buscando la equivalencia numérica mediante la asignación de un peso de ponderación a las escalas utilizadas, con el fin de igualarlas.

Lo anterior se realizó con la ayuda de expertos mediante la técnica Delphi, los cuales calificaron de 0 a 100 los parámetros correspondientes a las diferentes variables consideradas en el IRSU. Esta ponderación fue sencilla en comparación con la pasada, puesto que no se buscó el consenso total, sino que se utilizaron herramientas estadísticas como la media ponderada para obtener el resultado final. Este último fue aceptado si el coeficiente de variación era menor de 0.10, de lo contrario se consultó a los expertos cuya calificación arrojaba valores extremos, con el fin de disminuir la dispersión.

3. EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE RIESGO SÍSMICO (IRSU)

3.1 RESULTADOS DEL ÍNDICE DE RIESGO SÍSMICO URBANO

Cabe anotar que no fue posible construir un panorama completo del Corredor Urbano-Regional del Eje Cafetero, puesto que debido a carencias en la información sólo fue posible implementar el IRSU en los siguientes municipios: Manizales, Pereira, Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y La Virginia.

En todas las áreas urbanas analizadas el resultado del Índice de Riesgo Sísmico Urbano es catalogado como alto, pero éste es mayor en La Virginia³, Dosquebradas y

Santa Rosa de Cabal, que en Pereira y Manizales, esto como consecuencia de las elevadas puntuaciones obtenidas en la evaluación de la vulnerabilidad (Tabla 2) En general la amenaza sísmica arroja valores significativos y su aporte dentro del modelo es superior al del otro componente.

Tabla 2. Resultados del Índice de Riesgo Sísmico Urbano y de los componentes amenaza y vulnerabilidad.

Municipio	IRSU	Amenaza	Vulnerabilidad
Manizales	0,570	0,639	0,509
Pereira	0,584	0,629	0,543
Dosquebradas	0,629	0,676	0,585
Santa rosa	0,608	0,646	0,572
La virginia	0,721	0,808	0,642

3.1.1 Análisis de la amenaza sísmica

En cuanto a la amenaza sísmica en los municipios estudiados, puede considerarse que las diferencias son bajas. En la Tabla 3, se evidencia que el Municipio que obtiene un mayor valor en cuanto al factor amenaza sísmica y efectos colaterales y por tanto en el componente amenaza sísmica fue Dosquebradas. Este resultado, se debe a que presentó un puntaje alto en la variable pseudoaceleración espectral para los periodos entre 0.2-0.5, la cual fue ponderada por los expertos como la más relevante dentro de este factor. Posteriormente se sitúan Santa Rosa de Cabal, Manizales y Pereira. En La Virginia en cambio, se evalúan la aceleración en roca y el nivel de amplificación, con referencia a la amenaza sísmica regional y local respectivamente, los cuales arrojan un resultado desfavorable en el factor amenaza sísmica y efectos colaterales, sin embargo éste no es comparable con el de las otras zonas urbanas analizadas porque se utilizaron otro tipo de variables.

Asimismo, debe mencionarse que la susceptibilidad a deslizamientos, es una de las amenazas concatenadas examinadas, en donde se consideran para su estimación la topografía y la precipitación, características que ocasionan que ésta sea relevante en Manizales, seguido por Pereira, Santa Rosa de Cabal y Dosquebradas, por el contrario La Virginia no esta expuesta a este tipo de amenaza colateral, pero a su vez, es el único que se puede presentar el fenómeno de licuación, condición que incrementa su amenaza sísmica.

² Éstos no son expuestos en detalle en este texto, debido a que su elevado número requiere un análisis muy extenso.

³ Los resultados del IRSU y del componente amenaza sísmica de La Virginia no son equivalentes a los de los otros municipios ya que éste cuenta con zonificación sísmica indicativa y no con microzonificación sísmica, como Manizales, Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de

Cabal, siendo entonces necesario usar indicadores distintos para su evaluación.

Tabla 3. Resultado del Factor de Amenaza Sísmica.

Factor	Amenaza sísmica y efectos colaterales
Manizales	0.639
Pereira	0,629
Dosquebradas	0,676
Santa Rosa de Cabal	0,646
La Virginia	0.808

3.1.2 Análisis de la vulnerabilidad sísmica

En todos los casos (Tabla 4), el factor socio-económico (S-E) es el que aporta el mayor valor con respecto a la generación de condiciones inseguras, no solo por las particularidades del área, sino porque tiene el peso de ponderación más alto. En segundo lugar se halla la exposición (E), la cual es muy relevante en Manizales, Pereira, Dosquebradas y La Virginia, a diferencia de Santa Rosa de Cabal en la que ésta es baja. Seguidamente se encuentra el físico (F), con puntuaciones significativas en los cinco municipios evaluados, debido a las características de las construcciones de la zona. De otra parte en Santa Rosa de Cabal, La Virginia y Dosquebradas el factor institucional (I) adquiere gran trascendencia.

Tabla 4. Resultados de los Factores de Vulnerabilidad Sísmica.

Factores	F	E	S-E	I
Manizales	0,591	1	0,359	0,383
Pereira	0,633	1	0,367	0,522
Dosquebradas	0,658	0,851	0,477	0,567
Santa Rosa de Cabal	0,721	0,308	0,570	0,697
La Virginia	0,718	0,754	0,601	0,581

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 El modelo propuesto puede ser utilizado como una herramienta para el monitoreo de los factores que configuran el riesgo sísmico y la efectividad de las medidas tomadas en cuanto a su gestión.

4.2 Los factores y variables que constituyen el IRSU, pueden ser desagregados, por tanto es posible identificar cuales de éstos tienen una mayor incidencia en la configuración del riesgo, sirviendo como base para la toma de decisiones tendientes a su reducción.

4.3 El IRSU fue desarrollado para la estimación del riesgo en la Ciudad-Región Eje Cafetero, sin embargo debido a la flexibilidad del modelo es posible realizarle adaptaciones para su aplicación en otras áreas urbanas, incluyendo nuevos indicadores y evaluando los pesos de ponderación con los expertos locales.

4.4 La metodología elaborada para el diseño del IRSU puede ser utilizada para la construcción de índices relacionados con otro tipo de riesgos, los cuales en su conjunto pueden llegar a contribuir en la implementación de un sistema integrado de información para la gestión del riesgo.

4.5 La investigación realizada presenta una visión holística para la estimación del riesgo sísmico, debido a que en ésta se evalúan factores tales como amenaza sísmica y efectos colaterales, vulnerabilidad física, exposición, socio-económica e institucional, pero no se puede considerar como una evaluación estricta del riesgo ya que no incluye pérdidas económicas, sociales y ambientales.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] DAVIDSON, R. *An urban earthquake disaster risk index*. [En línea] Agosto 9, 2002. Disponible en: <<http://pangea.stanford.edu/~tucker/eri/edri.html>>
- [2] ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Normas Colombianas de Diseño y Construcciones Sismo Resistentes. Santa Fe de Bogotá: 3R Editores. Tomo I. Primera Edición. 1998. 474 p: il. (Ley 400 de 1997, Decreto 33 de 1998.).
- [3] WILCHES, G. "La vulnerabilidad global", En: los desastres no son naturales, A. MASKREY (Compilador), LA RED, Tercer Mundo Editores, Santa Fe de Bogotá, Colombia. 1993.
- [4] SANAHUJA, H. El daño y la evaluación del riesgo en América Central: Una propuesta metodológica tomando como caso de estudio a Costa Rica. 119 p. LA RED. Tesis de Postgrado, Maestría en Geografía, Universidad de Costa Rica. Septiembre de 1999. [En línea] Agosto 10, 2002 Disponible en: <<http://www.desenredando.org>>
- [5] JARAMILLO F., Juan Diego. Re: Asesoría tesis Pereira. [En línea]. Mensaje para: Jorge Enrique SALAZAR HENAO. 20 de marzo de 2003. Comunicación personal.
- [6] PARK, Y. J., ANG, A. H-S., and WEN, Y.K. *Seismic Damage Analysis and Damage-Limiting Design of R/C Buildings*. Civil Engineering Studies. Report SRS 516. University of Illinois, Urbana. 1987.
- [7] CARDONA, O. Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos. Barcelona. 2001. 322 p. LA RED. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Técnica Superior D'Enginyers de Camins, Canals I Ports. [En línea] Agosto 20, 2002. Disponible en: <http://www.desenredando.org>