



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ANÁLISIS DE RIESGO SÍSMICO EN ZONAS URBANAS DEL DF

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
ING. TOPÓGRAFO Y GEODESTA
P R E S E N T A
JUAN MANUEL NÚÑEZ HERNÁNDEZ

Directora de Tesis: M. I. Clemencia Santos Cerquera



MÉXICO, DISTRITO FEDERAL

Mayo de 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Juan Manuel Nuñez Hernández
FECHA: 10/05/04
FIRMA: [Signature]

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
FING/DCTG/SEAC/UTIT/007/04

Señor
JUAN MANUEL NUÑEZ HERNÁNDEZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso la profesora M.I. CLEMENCIA SANTOS CERQUERA, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO TOPÓGRAFO Y GEODESTA.

"ANÁLISIS DE RIESGO SÍSMICO EN ZONAS URBANAS DEL D.F."

- INTRODUCCIÓN
- I RIESGO: AMENAZA Y VULNERABILIDAD
- II LA SISMICIDAD EN LA CIUDAD DE MÉXICO
- III MODELO ESPACIAL DE RIESGO
- IV DESARROLLO CONCEPTUAL DEL SIG PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO SÍSMICO EN ZONAS URBANAS DEL DF.
- V IMPLEMENTACIÓN DEL SIG PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO SÍSMICO EN ZONAS URBANAS DEL DF.
- VI CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 28 de Enero del 2004.
EL DIRECTOR

[Signature]
M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/AJP/crc.

[Signature]
Ing. Benito González

[Signature]
Victor Manuel Mozo y Ferrero

[Signature]
M.I. Clemencia Santos C.

[Signature]
Ing. Victor Robles Olvera

[Signature]

DEDICATORIAS

A mi madre. Gracias por dejar en mí tanto de lo que tú fuiste durante toda tu vida, el mejor de los ejemplos. Por fin llegó el día y donde quiera que te encuentres recibe este trabajo como si fuera el más grande de los obsequios.

A mi familia. Gracias por ser mi apoyo y mi referencia. Reciban todos ustedes (tíos, primos y sobrinos) el mayor de los agradecimientos.

A Gabriela. Gracias por darme el regalo más maravilloso de mi vida. De hoy en adelante todos mis esfuerzos están dedicados a ti y al bebe, los amo.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ingeniería. Gracias por toda la formación recibida y por los verdaderos amigos que hasta hoy conservo, pero sobre todo gracias por todas las experiencias vividas dentro de la universidad.

A mi asesora M.I. Clemencia Santos Cerquera. Profesora muchas gracias por haber aceptado dirigir este trabajo.

A mis profesores. Aunque los recuerdo prácticamente a todos, quisiera agradecer de manera especial a quienes en mí dejaron una profunda huella de admiración.

A mis sinodales. Gracias por todo su tiempo y disposición puestos para la culminación de este trabajo.

Al CentroGEO. Gracias por todo el apoyo que se me ha dado, pero sobre todo gracias por hacerme sentir como en familia.

Quisiera agradecer de manera particular a la Dra. Carmen Reyes por brindarme la oportunidad y la confianza para llevar a buen término este requisito de titulación. A Alejandro Mohar, gracias por todas esas tardes en las que junto con Yosú Rodríguez compartieron conmigo un mucho de sus experiencias. A Jesús Trujillo quien junto con todo el Laboratorio de Geomática siempre me brindaron toda la ayuda posible y más.

La realización de este trabajo no hubiera sido posible sin la aportación de Radarsat Internacional, quien donó al CentroGEO las imágenes de satélite utilizadas.

A todos los demás, gracias totales.

ÍNDICE

Introducción	
Motivación de la investigación	i
Alcances y objetivos	iii
Organización del trabajo	iv
CAPÍTULO 1	
Riesgo: amenaza y vulnerabilidad	1
1.1. Antecedentes históricos	1
1.2. Los diferentes enfoques del riesgo	3
1.3. Definición de riesgo	5
1.4. Definición de amenaza	7
1.5. Tipos de amenaza	7
1.5.1. Amenazas naturales	7
1.5.2. Amenazas antrópicas o sociales	9
1.5.3. Amenazas socio naturales	10
1.6. Definición de vulnerabilidad	11
1.6.1. Dimensiones de la vulnerabilidad	12
1.6.2. Factores causantes de la vulnerabilidad	14
1.7. Diferencia entre riesgo y desastre	15
CAPÍTULO 2	
La sismicidad en La Ciudad de México	16
2.1. La génesis de los sismos en La Ciudad de México	16
2.2. Historia de los sismos en La Ciudad de México	18
2.3. Los sismos de Septiembre de 1985	23
2.4. Medidas tomadas a partir del 85	25
CAPÍTULO 3	
Modelo espacial de riesgo	27
3.1. Análisis espacial y riesgo	27
3.2. Análisis de riesgo	28
3.3. Sistemas de Información Geográfica para el análisis de riesgo	31
3.4. Diseño e implementación del modelo espacial de riesgo	33

CAPÍTULO 4

Desarrollo conceptual del SIG para el análisis de riesgo sísmico en zonas urbanas del DF	36
4.1. Ubicación y descripción de la zona de estudio	36
4.2. Desarrollo conceptual de la aplicación	43
4.3. Sistema geográfico de referencia	45
4.4. Metodología de trabajo	49

CAPÍTULO 5

Implementación del SIG para el análisis de riesgo sísmico en zonas urbanas del DF	51
5.1. Modelo de riesgo	51
5.2. Análisis de la amenaza	53
5.2.1. Amenaza sísmica	53
5.2.2. Efectos de sitio en el DF	54
5.2.3. Elaboración del mapa de amenaza sísmica para el DF	55
5.3. Análisis de la vulnerabilidad	56
5.3.1. Dimensiones de la vulnerabilidad	58
5.3.2. Modelo para la elaboración del mapa de vulnerabilidad sísmica del DF	67
5.4. Integración de los datos	68
5.5. Operaciones espaciales	70
5.6. Obtención de resultados	72

CAPÍTULO 6

Conclusiones	73
6.1. Discusión final	73
6.2. Recomendaciones para futuros trabajos	74

BIBLIOGRAFÍA

76

INTRODUCCIÓN

Motivación de la investigación

El estudio y análisis de riesgo se ha abordado desde diferentes y muy variados enfoques, pero si lo que se pretende es algo más que la simple estimación del riesgo, indudablemente que el estudio y la evaluación de la amenaza es un paso de fundamental importancia; sin embargo, para lograr dicho propósito es igual de importante el estudio y el análisis de la vulnerabilidad. “Al riesgo lo asociamos con la probabilidad de ocurrencia de sucesos potenciales de características destructivas, los cuales no sólo están relacionados con el fenómeno que los produce, sino también con la capacidad para soportar el impacto de dicho fenómeno y las implicaciones de éste en el área geográfica considerada como expuesta”⁽¹⁾. Pero para estimar el riesgo de acuerdo con su definición, es necesario tener en cuenta desde un punto de vista multidisciplinario, no solamente el daño físico esperado (el número de víctimas, las pérdidas materiales, etc.), sino también factores sociales, organizacionales e institucionales relacionados con el desarrollo de los asentamientos humanos.

El riesgo es un proceso que supone la existencia de dos factores; amenaza y vulnerabilidad, el cual se crea en la intersección de estos dos factores, cuyas características son sumamente heterogéneas. Aún cuando para fines analíticos se suelen separar estos dos factores estableciendo una aparente autonomía entre ambos (y este trabajo no es la excepción), en la realidad es imposible hablar de amenaza sin la presencia de vulnerabilidad y viceversa.

Desde la perspectiva de los desastres, en los últimos años, el riesgo se ha tratado de evaluar para efectos de gestión pública y ordenamiento territorial; en términos de sus posibles consecuencias, económicas, sociales y ambientales, que pueden ocurrir en lugar y tiempo.

(1) Cardona Arboleda, Omar Darío. 2001. “Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos”. España.

“El ordenamiento territorial tiene por objetivo central la utilización correcta y eficaz del territorio, de acuerdo a sus potencialidades y limitaciones; esto implica que una comunidad, actividad o bien solo deberán implantarse en zonas donde las condiciones ambientales sean optimas para su desenvolvimiento y su estabilidad” (2).

Según este concepto, el ordenamiento del territorio deberá ser orientado para la identificación y delimitación de unidades territoriales, que serán caracterizadas y evaluadas en cuanto a sus propiedades físicas, de modo que puedan ser utilizadas en la distribución espacial de los diferentes grupos de población y sus respectivas actividades. Con esta distribución espacial se debe no sólo optimizar las capacidades de las unidades territoriales, sino minimizar los impactos negativos sobre las mismas.

Por tanto la elaboración de una cartografía de zonas de riesgo para planificar el uso del territorio constituye un instrumento que no sólo sirve para prevenir daños que la dinámica del medio ambiente puede causar a la población y a sus actividades, sino también para proteger el medio ambiente de las modificaciones no deseables en su dinámica.

En México, distintos grupos empiezan a entender que para realmente hacer gestión de riesgos, es necesario en primera conceptuarlo no de forma fragmentada, sino tener una visión más multidisciplinaria, tratar de unir diferentes enfoques acerca del riesgo, lo que sin duda arrojará como resultado una mejor estimación acerca de él.

En el país existen ya diferentes grupos de investigación dedicados al estudio del riesgo. Por una parte la Universidad Nacional Autónoma de México con sus diferentes Institutos y Facultades involucrados en la materia: Los Institutos de Ingeniería, Geografía y Geología por citar algunos y la Facultad de Arquitectura mediante su división de estudios de posgrado, dedicados a estudios tanto de carácter social como de carácter físico. El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) como parte de las instituciones de gobierno dedicadas muy de lleno sólo al estudio de los aspectos físicos. El Consejo de Recursos Mineros, que realiza estudios sobre riesgos en zonas minadas y el Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS) mediante la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.

En virtud de lo anterior es que se hace necesario un concepto mas holístico del riesgo, es decir una valoración integral y multidisciplinaria que permita desagregarlo en sus componentes. Una concepción, que sea consistente y coherente, fundamentada en los planteamientos teóricos de la complejidad, que tenga en cuenta no sólo variables físicas, sino también variables económicas, sociales, políticas y culturales, o en fin de cualquier otro tipo, que puedan ayudar a la toma de decisiones en un área geográfica.

(2) Fernandes Simões, Luís Manuel. 2000. "A Importância da Integração dos Riscos Geológicos, no Planeamento, no Ordenamento do Território e na Protecção do Meio Ambiente: Conceitos e Algumas Ideias". Brasil.

La experiencia en México nos indica que no basta con el aporte de grandes estudios técnicos realizados con fines de evaluación que sólo utilizan la parte social como introducción y no como parte integral del análisis; y por el contrario los grandes estudios sociales que muestran una gran conceptualización, pero que pocas veces son llevados hacia la implementación de soluciones.

Es de esperarse que siempre existirán diferencias entre los diferentes enfoques y aunque se podría argumentar que dicha circunstancia puede ser irrelevante, debemos considerar que parte de las dificultades para lograr una gestión efectiva del riesgo ha sido la falta de una concepción integral del riesgo que facilite su estimación e intervención desde una perspectiva multidisciplinar. En palabras de Cardona, “la ausencia de una teoría holística del riesgo, desde el punto de vista de los desastres, ha favorecido o contribuido en parte a que el problema crezca a una velocidad mayor que la velocidad de sus soluciones”. Es pues así, que este nuevo tipo de enfoque integral y multidisciplinario que se pretende en este trabajo, tratará de tener en cuenta de manera más consistente las relaciones no lineales de los parámetros del contexto, la complejidad y dinámica de los sistemas sociales y contribuir a la gestión efectiva del riesgo.

Alcances y objetivos

El tema de riesgo sísmico en México ha sido ampliamente tratado de manera específica por especialistas de muy diferentes disciplinas. Existe un sin número de información relativo al riesgo sísmico, desde la perspectiva de las ciencias de la tierra, la geología, la geofísica, la mecánica estructural, la psicología, la geografía, la ingeniería civil y la sociología, entre muchas otras. Sin embargo, trabajos con enfoques holísticos que integren diferentes perspectivas no se han desarrollado tan ampliamente, aunque cabe mencionar que sí existen trabajos que aportan elementos para una visión integral.

El presente trabajo estudiará los diferentes elementos que componen un análisis de riesgo sísmico en zonas urbanas del Distrito Federal, con el fin de comprobar la adecuación de modelos cartográficos, basados en variables espaciales para producir mapas que hablen acerca de un verdadero análisis de riesgo por sismicidad en áreas urbanas. Las variables de los modelos cartográficos se obtendrán a partir de cartografía digital y mediante imágenes de sensores remotos y análisis de variables espaciales. El objetivo final es producir modelos con alta capacidad predicativa de la distribución de zonas de riesgo, basados en variables cartográficas cuya distribución espacial sea actualizable y fácilmente cuantificable. Con estos modelos se generará una cartografía digital de la distribución del riesgo en zonas urbanas, mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG), desarrollado a partir de una metodología de selección, medida de variables geográficas y de ajuste de modelos cartográficos, trasladable a otras zonas, que permita producir y actualizar de forma periódica mapas de alta resolución de la distribución espacial del riesgo sísmico en zonas urbanas.

Por lo tanto, a partir de una revisión de los conceptos de riesgo, de los elementos que lo conforman y desde el enfoque de las diferentes disciplinas del conocimiento, los objetivos específicos de este trabajo de tesis son:

- Plantear una concepción de riesgo, desde una perspectiva integral y multidisciplinaria, a partir de la revisión crítica del enfoque de las ciencias aplicadas y las ciencias sociales acerca del concepto de riesgo.
- Analizar las diferentes corrientes de la estimación de riesgo sísmico urbano, fundamentado en la estimación de daño físico y el escenario de pérdidas obtenidas a partir de los efectos físicos esperados en los elementos expuestos, sean estos sistemas, instituciones o personas.
- Proponer un modelo cartográfico para el análisis de riesgo sísmico urbano, basado en la metodología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el uso de cartografía digital generada a partir de la manipulación de variables espaciales y el uso de técnicas de Percepción Remota (PR).
- Desarrollar un escenario de posibles daños para un probable sismo de igual magnitud al ocurrido frente a las costas de Michoacán en Septiembre de 1985, que afectó gravemente a la Ciudad de México.

Organización del trabajo

Este trabajo parte de abordar los planteamientos históricos y teóricos sobre el concepto de riesgo, con el propósito de identificar y precisar las definiciones que le den coherencia a un planteamiento teórico consistente e integral en la materia. En este primer capítulo se describe como se valora el riesgo partiendo del entendimiento de la amenaza que representa la potencial ocurrencia de un fenómeno y de la vulnerabilidad que ofrece el contexto expuesto al fenómeno.

El recuento de cómo la historia de la Ciudad de México ha estado ligada a los acontecimientos sísmicos y a los graves daños que en ella han causado estos fenómenos naturales se presenta en el segundo capítulo. En él también se muestran los efectos que tuvieron sobre la ciudad los sismos de septiembre de 1985 ocurridos frente a las costas de Michoacán y de las medidas tomadas a partir de ese momento por el gobierno, la comunidad científica y la sociedad en general.

En el tercer capítulo se exponen los conceptos para el diseño e implementación de un modelo cartográfico basado en el análisis espacial de riesgo, fundamentado en la metodología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el análisis estadístico de datos espaciales de áreas superpuestas, a partir del uso de mapas de peligro sísmico, información catastral, imágenes de satélite y unidades básicas censales.

Debido a que el análisis de datos espaciales dentro de los SIG constituye un tema amplísimo, este trabajo sólo se concentrará en el cálculo de valores para áreas superpuestas de igual unidad geográfica.

El capítulo cuarto estudia los problemas conceptuales y metodológicos que deben enfrentarse para la implementación de un modelo cartográfico de análisis de riesgo sísmico en zonas urbanas mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG), que aborda otros aspectos adicionales a los efectos físicos potenciales, que están ligados al desarrollo y sustentabilidad del contexto social urbano considerado en este estudio. Se incluye además una descripción detallada de la zona de estudio.

En el último capítulo se propone la implementación del Sistema de Información Geográfica (SIG) para el análisis de riesgo sísmico en zonas urbanas. Mediante la aplicación de operaciones espaciales, se obtiene un sistema que sirve como herramienta sistemática para referenciar geográficamente estratos de información, a fin de facilitar la sobreposición, cuantificación y síntesis de la información; y así poder orientar el análisis sísmico del Distrito Federal.

Por último se presentan las conclusiones del trabajo, mediante la discusión final acerca del trabajo elaborado y se propone a manera de recomendación propia algunas sugerencias para el desarrollo de futuros trabajos relacionados con el tema aquí tratado.

CAPÍTULO 1. Riesgo: amenaza y vulnerabilidad

“La idea que se tiene de que los riesgos pueden ser solucionados por medios tecnológicos avanzados es errónea”

Anónimo

1.1. Antecedentes históricos

El origen del término riesgo es incierto, aparentemente la palabra proviene del griego *rhiza* que hace alusión a los peligros de navegar alrededor de un arrecife. Por lo que se cree, puede tener un origen común con la palabra castellana *risco* (peñasco escarpado). “Otro posible origen más tardío se relaciona con el castellano antiguo *reseque* (resecar, cortar), cuya acepción, muy usada en la edad media, es sinónimo de lucha, contradicción y división”⁽¹⁾.

Pero el primer ejemplo documentado en la historia que aborda el análisis de riesgo (en una forma muy simplificada) se remonta a las comunidades de la Antigua Babilonia, que ocuparon el valle del Eufrates y el Tigris, 3200 A. C., donde existió un grupo llamado el Asipu. Una de las funciones de este grupo era la de servir de consultor para decisiones difíciles de tomar por lo inseguras o inciertas. Si se deseaba tomar una decisión sobre alguna acción venidera se podía consultar a uno de los miembros del Asipu, el cual se encargaba de dimensionar la situación, identificar alternativas de acción y recoger datos sobre los resultados factibles de cada alternativa.

Dos siglos más tarde también en Mesopotamia el Código de Hamurabi, 1950 A. C., dio origen a la figura del seguro como la más antigua estrategia para afrontar riesgos. Dicho código instituyó las bases del seguro y estableció varias doctrinas de administración de riesgos. Allí surgieron las primeras tasas de interés sobre préstamos, entre agricultores,

(1) Aneas de Castro, Susana. 2000. “Riesgos y peligros: Una visión desde la Geografía”. Argentina.

inicialmente en especie y luego en metálico, posteriormente esta práctica se amplió al incluir primas de riesgo cuando se trataba de prestamos asociados con el transporte de mercancías, que podía perderse en el mar por tormentas, incendios o asaltos.

Ya para el año 750 A. C. en Grecia, casi todos los viajes estaban cubiertos por este tipo de contrato y las primas de riesgo variaban dependiendo el grado de riesgo de la aventura. Las instituciones de seguros prácticamente desaparecieron con la declinación de la civilización Griega, aunque los Romanos las continuaron por un tiempo.

Con la caída del Imperio Romano prácticamente desapareció el seguro marítimo hasta, quizá el año 1000 D. C., cuando reapareció en los puertos Italianos y con certeza en los siglos XII a XIV. Por esta época se establecieron los seguros de incendio y emergieron los seguros de vida en Inglaterra, aunque políticas de seguro de vida ya habían existido en España alrededor del año 1100 D. C. Durante los siglos XVI y XVII los seguros de vida en Inglaterra fracasaron por la falta de un soporte estadístico y matemático adecuado. Y por otra parte, debido a los cuestionamientos morales realizados por la iglesia, el seguro de vida fue prohibido en Francia hasta 1820.

Otra fecha importante en la historia del riesgo es 1657, año en el que Pascal introdujo la teoría de la probabilidad. Después de Pascal, a finales del siglo XVII y durante el siglo XVIII, se realizaron importantes aportes a la teoría de las probabilidades. En 1692 Arbuthnot argumentó que podían ser calculadas las probabilidades de las diferentes causas potenciales de un suceso. Halley (conocido por el cometa que lleva su nombre) en 1693, mejoró las tablas de esperanza de vida propuestas por Graunt en 1662 y matemáticos como Hutchinson, Cráter y Bernoulli realizaron trabajos valiosos a la naciente teoría. Sin embargo, fue Laplace quien en 1772 desarrolló un verdadero modelo de estimación de riesgo en términos modernos, al calcular la probabilidad de morir con y sin la vacuna contra la viruela.

Sorprende que las teorías matemáticas de las frecuencias relativas, aleatoriedad y probabilidad sólo surgieran 1500 años después de los trabajos de Pascal, Fermat y otros. Pues durante siglos las decisiones sobre riesgo, fundamentalmente estuvieron basadas en el sentido común, el saber tradicional, la prueba y error, las carencias y el conocimiento no científico. “Las primeras aplicaciones de la matemática de las probabilidades para la estimación del potencial de desastre por fenómenos naturales sólo se empezaron a tener en cuenta durante el siglo XX, sólo después de la ocurrencia de desastres que hacían evidente la necesidad de protección”⁽²⁾.

La investigación sobre los riesgos que el medio natural lleva consigo para el hombre, comenzó a desarrollarse en el ámbito geográfico anglosajón en las primeras décadas del siglo XX, cuando se definió a la geografía como “ecología humana”, haciendo hincapié en las relaciones existentes entre los medios ambientales naturales, de un lado, y la

(2) Cardona Arboleda, Omar Darío. 2001. “La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo”. Colombia.

distribución y actividades del hombre, de otro; muchos geógrafos se preocuparon por analizar las relaciones generales entre las poblaciones humanas y el medio. Este tipo de investigación estuvo desde el principio en relación con el problema de la correcta administración de los recursos del medio y surgió, por tanto, de una preocupación eminentemente práctica. Tal es el caso de las obras de acondicionamiento de las cuencas de diversos ríos estadounidenses tras la aprobación de la Flood Control Act (1936). Supuso una inversión muy considerable en presas, diques, acondicionamiento de márgenes y toda una variada gama de obras de ingeniería para prevenir las inundaciones. Este hecho atrajo la atención de diversos geógrafos (principalmente White en 1942 y Kollmorgen en 1953) que comenzaron a cuestionarse el énfasis puesto en soluciones estrictamente ingenieriles y esbozaron la posibilidad de soluciones alternativas. La reflexión sobre este hecho pronto llevó al planteamiento de una serie de cuestiones sobre ¿Cómo el hombre se adapta a el riesgo y a la incertidumbre de los sistemas naturales? y ¿Qué implica la comprensión de estos hechos por parte de la política pública?

Dando respuesta a este tipo de cuestionamientos es que nació la definición adoptada por Burton, Kates y White (1978) en su famoso libro "The Environment as Hazard" y que considera a el riesgo natural como "aquellos elementos del medio físico y biológico nocivos para el hombre y causado por fuerzas ajenas a él". A partir de esta insatisfactoria definición (y es que en la naturaleza no hay voluntariedad), es que se desata un intento de la escuela ecológica humana por clasificar todos los riesgos en términos de las causas naturales que los producen y dedicarse en gran parte sólo al estudio del fenómeno que constituye una amenaza, situación que originó que durante muchos años se utilizara el término riesgo para referirse a lo que hoy se le denomina amenaza.

Es importante mencionar que hasta la fecha aún se conserva este énfasis, en particular en los países más avanzados, donde el desarrollo tecnológico hace factible conocer con mayor detalle los fenómenos generadores de las amenazas. Esta tendencia fue evidente durante los primeros años del "Decenio Internacional para la Reducción de Desastres Naturales" declarado por la Naciones Unidas para los últimos diez años del siglo XX.

1.2. Los diferentes enfoques del riesgo

La concepción del riesgo y la terminología asociada a su definición no sólo ha variado en el tiempo. También ha variado desde la perspectiva disciplinar desde la cual sea abordada. Aún cuando al referirse a riesgo la mayoría de quienes están relacionados con el tema de los desastres creen que se está hablando del mismo concepto, en realidad existen serias diferencias que no facilitan identificar con claridad de qué manera se puede reducir con éxito; es decir de que forma se debe llevar a cabo su gestión con eficacia y efectividad.

Un enfoque con una visión trunca y reduccionista, que sin embargo ha contribuido al

conocimiento paulatino de una parte fundamental del riesgo: la amenaza, es el de las ciencias naturales. Sin embargo, el que este enfoque todavía confunda el concepto de riesgo con amenaza puede tener implicaciones insospechadas. Un evento natural extremo no es sinónimo de desastre y por lo tanto, el riesgo no debe entenderse exclusivamente como la posibilidad de que se presente un fenómeno natural.

El enfoque llamado de las ciencias aplicadas difiere del enfoque de las ciencias naturales en que su interés está dirigido hacia los efectos del suceso sobre un elemento expuesto y no hacia el suceso mismo. Es en este enfoque donde sin duda el aporte de la ingeniería desde la perspectiva de la confiabilidad, la seguridad y el análisis de riesgo, al estudiar la capacidad de un sistema de mantener su función o aptitud, significa un salto o un cambio de paradigma en lo que atañe al entendimiento del problema. Sin embargo, aunque mediante esta concepción se propone un concepto de riesgo más adecuado, de todas maneras este enfoque sigue siendo parcial y reduccionista. El análisis de riesgo cambia notablemente si el sistema en vez de ser una estructura, es una comunidad. La extrapolación metodológica y el uso de conceptos como “probabilidad”, “consecuencias” y “contexto” deben realizarse con extremo cuidado. La aceptabilidad o el análisis beneficio/costo son aspectos notablemente diferentes cuando el sistema expuesto es la sociedad o un subconjunto de ella, o cuando el proceso de análisis debe tener en cuenta variables sociales, culturales, institucionales y políticas. En general, las metodologías desarrolladas bajo este enfoque, cuando se trata de desastres, no son lo suficientes para ofrecer estimaciones completas del riesgo. Esto pues confirma la visión restringida y el desconocimiento que este enfoque de las ciencias aplicadas tiene de los aspectos sociales, culturales, económicos, etc. Que deben reflejarse en la estimación de la vulnerabilidad y el riesgo desde la perspectiva de los desastres. Sin duda, esta interpretación ha contribuido a percibir la vulnerabilidad sólo como un grado de exposición, o en el mejor de los casos, como susceptibilidad a sufrir daños, sin hacer prácticamente ninguna referencia a las implicaciones que pueden tener los daños o pérdidas.

En cuanto al otro enfoque aquí llamado de las ciencias sociales, se puede decir que inicialmente su aporte fue un tanto tímido, debido a la marcada tendencia que se tuvo a estudiar el comportamiento y la respuesta de la población en situaciones de emergencia o en caso de su inminencia. Algunos trabajos no obstante, han hecho algún énfasis en la capacidad de las comunidades de absorber el impacto o de recuperarse después de un suceso. Estos trabajos han tenido el mérito de cuestionar la visión restringida de las ciencias aplicadas, al indicar que la vulnerabilidad no debe ser considerada exclusivamente como la posibilidad de un daño físico. Sólo en los últimos años del siglo XX han surgido con mayor frecuencia planteamientos que abordan el tema de riesgo considerando que la vulnerabilidad e incluso la amenaza, en ocasiones puede ser el resultado de procesos sociales, económicos y políticos. Si bien este tipo de enfoque luce completo en cuanto a un análisis más exhaustivo de la vulnerabilidad, en muchos casos le ha dado un énfasis tal a la lectura y modelización social de ésta que ha llegado a omitir, o inadvertir, que el impacto ambiental y los daños físicos potenciales son

fundamentales a la hora de tener una concepción y estimación del riesgo. La vulnerabilidad, desde esta perspectiva, ha tenido la tendencia a interpretarse como una característica y no como una condición o predisposición, resultado de una susceptibilidad, unas fragilidades y una falta de capacidad para recuperarse. Incluso algunos autores llegan a perder de vista la amenaza, que de todas maneras se requiere para establecer la noción de riesgo.

De lo anterior, se deduce que debido a los enfoques de las diferentes disciplinas relacionadas en el estudio de riesgos, existe una alta fragmentación que no ha permitido concluir una teoría consistente y coherente de este desde la perspectiva del análisis de riesgo.

1.3. Definición de riesgo

Después del aporte conceptual de la escuela de la ecología humana y principalmente de White, Kates y Burton, la UNDRO y la UNESCO promovieron una reunión de expertos con el fin de proponer una unificación de definiciones. El informe final de dicha reunión, *Natural Disasters and Vulnerability Analysis (1979)* incluyó las siguientes definiciones:

1. **Amenaza, peligro o peligrosidad (*Hazard – H*).** Es la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente durante cierto periodo de tiempo en un sitio dado.
2. **Vulnerabilidad (*Vulnerability – V*).** Es el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo, resultado de la probable ocurrencia de un suceso desastroso, expresada en una escala desde 0 sin daño a 1 o pérdida total.
3. **Riesgo específico (*Specific Risk – Rs*).** Es el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un suceso particular y como una función de la amenaza y la vulnerabilidad.
4. **Elementos en riesgo (*Elements at Risk – E*).** Son la población, los edificios y obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y la infraestructura expuesta en un área determinada.
5. **Riesgo total (*Total Risk – Rt*).** Se define como el número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de un desastre, es decir, el producto del riesgo específico **RS** y los elementos en riesgo **E**.

De esta manera, desde este punto de vista, la evaluación del riesgo puede llevarse a cabo mediante la siguiente formulación general:

$$R_t = E * R_s = E * H * V$$

“Conservando este marco conceptual propuesto por el grupo de expertos reunidos por la UNDR0 en 1979, el Instituto de Ingeniería Sísmica y Sismología (IZIIS), propone eliminar la variable exposición E , por considerarla implícita en la vulnerabilidad V , sin que esto modificara sensiblemente la concepción original”⁽³⁾. Desde otra perspectiva, entender que el grado de exposición de un elemento cualquiera lo otorga el nivel de vulnerabilidad que tenga este, representa tan sólo una condición inicial. Esta manera de conceptualizar la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo, ampliamente aceptada desde entonces en el campo técnico y científico y con mayor frecuencia utilizado en las ciencias sociales, fue planteada por Cardona de la siguiente manera:

$$R_{i/e}/t = (A_i * V_e)/t$$

“Lo anterior significa que una vez conocida la amenaza o peligro A_i , entendida como la probabilidad de que se presente un suceso con una intensidad mayor o igual a i durante un periodo de exposición t y conocida la vulnerabilidad V_e , entendida como la predisposición intrínseca de un elemento expuesto e a ser afectado o de ser susceptible a sufrir un daño ante la ocurrencia de un suceso con intensidad i , el riesgo $R_{i/e}$ se expresa como la probabilidad de que se presente una pérdida sobre el elemento e , como resultado de la ocurrencia de un suceso con intensidad mayor o igual a i . Es decir, el riesgo en general puede entenderse como la probabilidad de pérdida durante un periodo de tiempo t dado”⁽⁴⁾.

En general hoy se acepta que el concepto de amenaza se refiere a un peligro latente o factor de riesgo externo de un sistema o de un elemento expuesto, que se puede expresar matemáticamente como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un suceso con cierta intensidad, en un sitio específico y durante un tiempo de exposición determinado. Por otra parte, la vulnerabilidad se entiende, en general, como un factor de riesgo interno que matemáticamente está expresado como la factibilidad de que el elemento o sistema expuesto sea afectado por el fenómeno que caracteriza la amenaza. De esta manera, el riesgo corresponde al potencial de pérdidas que pueden ocurrirle al elemento o sistema expuesto, resultado de la “convolución” de la amenaza y la vulnerabilidad. Así, el riesgo puede expresarse en forma matemática como la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias físicas, económicas, sociales o ambientales, etc. en un cierto sitio y durante un periodo de tiempo. Es importante mencionar que la convolución es un concepto que se refiere a la coexistencia y mutuo condicionamiento, en este caso, de la amenaza y la vulnerabilidad. En otras palabras, no se puede ser vulnerable si no se está amenazado y no existe una condición de

⁽³⁾ Cardona Arboleda, Omar Darío. 1985. “Hazard, Vulnerability and Risk Assessment, unedited working paper”. Yugoslavia.

⁽⁴⁾ Cardona Arboleda, Omar Darío. 1986 “Estudios de vulnerabilidad y evaluación del riesgo sísmico: planificación física y urbana en áreas propensas”. Colombia.

amenaza para un elemento o sistema si no está expuesto y es vulnerable a la acción potencial que representa dicha amenaza.

Dicho de otra forma, no existe amenaza o vulnerabilidad independientes, pues son situaciones mutuamente condicionantes, pues al intervenir uno o los dos componentes del riesgo se está interviniendo el riesgo mismo, que sin embargo se definen en forma conceptual de manera independiente para efectos metodológicos y para una mejor comprensión del riesgo.

1.4. Definición de amenaza

Actualmente en el ámbito de los riesgos, es ampliamente utilizado el concepto de amenaza, no obstante que durante muchos años se ha presentado una falta de unanimidad en su significado por parte de los diferentes autores, pues en ocasiones la amenaza se confunde con el episodio que puede generar o con el suceso que la caracteriza y en otras se le trata como equivalente a riesgo. En este trabajo nos referimos a la amenaza como un sinónimo de peligro latente que representa la posible manifestación dentro de un periodo de tiempo de un fenómeno peligroso de origen natural o provocado por el hombre, que puede producir efectos adversos en las personas, el ambiente, los bienes y servicios. Desde un punto de vista conceptual, la amenaza se entiende como un factor de riesgo externo de un elemento o sistema expuestos, que se expresa como la probabilidad de que un suceso se presente con una cierta intensidad, en un sitio específico y dentro de un periodo de tiempo definido.

1.5. Tipos de amenaza

De acuerdo con su origen y de manera muy general a las amenazas se les puede clasificar en dos grandes grupos: amenazas naturales y amenazas antrópicas o sociales; y su combinación como amenazas socio naturales.

1.5.1. Amenazas naturales

A las amenazas se les clasifica como naturales cuando la expresión de su dinámica o funcionamiento están asociadas con la posible ocurrencia de fenómenos de la naturaleza. Dichos fenómenos no son en si mismos perjudiciales, por ejemplo, para los antiguos egipcios las inundaciones del Nilo no eran acontecimientos peligrosos. Las inundaciones, sequías, tormentas, terremotos, huracanes, tornados, erupciones volcánicas y otros, son fenómenos naturales, que sólo se convierten en peligro si ocurren donde afecte a los elementos expuestos. La idea es pensar que los peligros naturales resultan de los conflictos de los procesos geofísicos con la gente. En muchos casos no pueden ser neutralizados debido a que su mecanismo de origen difícilmente puede ser intervenido, aún cuando en algunas ocasiones puede existir algún tipo de

control. La mayoría de estos sucesos que caracterizan las amenazas naturales se producen de manera súbita o repentina, aunque en algunos casos su ocurrencia también puede ser lenta. Las amenazas de origen natural en muchas ocasiones se encuentran relacionadas unas con otras, es decir, que la ocurrencia de un fenómeno natural puede generar o desencadenar la ocurrencia de otros (lo cual hace más difícil su posible clasificación). Es así como la ocurrencia de sismos puede generar deslizamientos, los huracanes pueden generar inundaciones, etc.

Las amenazas naturales en su conjunto pueden clasificarse desde distintos puntos de vista, sea atendiendo a sus causas, a sus efectos o a las características que presentan. Una clasificación sencilla por ejemplo, los agrupa de manera clara en dos grandes grupos: aquellos que tienen un origen geofísico y los que lo tienen biológico (Cuadro 1.1.).

Dentro del primer conjunto, de acuerdo con su principal agente causal es posible distinguir entre los que tienen un origen climático o meteorológico (sequías, huracanes, inundaciones, etc.) y los que son generados por factores de carácter geológico y geomorfológico, tal es el caso de los terremotos, los deslizamientos de tierras, la erosión, entre otros.

En el segundo conjunto también puede hacerse una distinción atendiendo a la condición de su agente causal, separando aquellos que presentan un origen filológico (afecciones por hongos, infestaciones) de los que tienen un origen de índole faunística, como una invasión de langosta.

Cuadro 1.1. Amenazas naturales según sus distintos agentes causales

Tipo de amenaza natural			
Geofísica		Biológica	
Climática y Meteorológica	Geológica y Geomorfológica	Floral	Fáunica

FUENTE: Calvo García-Tornel, 1985

Esta tipología, desarrollada de forma pormenorizada por Burton y Kates (1964) y muy divulgada posteriormente (muchos autores interpretan esta tipología para la clasificación de riesgos y no para la de amenazas debido a la confusión de términos a la hora de la traducción de éstos) no implica que los distintos peligros del medio carezcan de relación entre sí y que no puedan producirse al mismo tiempo situaciones de peligro de distintos tipos y orígenes. De hecho y tal como se mencionó en párrafos anteriores, con frecuencia este tipo de fenómenos se presentan como combinaciones íntimamente ligadas. “Así ocurre, por ejemplo, con las inundaciones, que tiene un origen claramente meteorológico, pero que puede potenciar la erosión y también verse modificada por ésta y que con frecuencia suele presentar secuelas de enfermedades con origen en la

fauna” ⁽⁵⁾. Otras muchas combinaciones pueden citarse como ejemplo de la interrelación de los fenómenos del medio natural.

1.5.2. Amenazas antrópicas o sociales

Son en su origen causadas por el ser humano o están relacionadas con el uso de la tecnología. Las caracteriza la factibilidad de ocurrencia de sucesos provocados intencionalmente o accidentalmente por el hombre o por el fallo en la operación de un sistema que puede desencadenar en serie efectos considerables. Como ejemplo de acciones que pueden generar este tipo de amenazas se encuentra el terrorismo, las guerras, los accidentes industriales y nucleares, la falla de represas, las explosiones, los incendios provocados, la contaminación química y radioactiva, entre otros. Los lugares de gran concentración de población e infraestructura en la actualidad presentan una alta susceptibilidad a que se presenten este tipo de eventos, los cuales pueden causar consecuencias desastrosas a todo nivel.

Al igual que las amenazas naturales, los eventos que caracterizan las amenazas antrópicas se pueden clasificar de diversas formas. Existe también mucha literatura dedicada a la descripción de este tipo de sucesos. Una de las muchas formas de clasificar los fenómenos o sucesos de origen antrópico que pueden significar amenaza puede ser la siguiente según su clase:

1. **Sucesos tecnológicos.** Pertenece a este tipo de eventos relacionados con fallos de sistemas por descuido, falta de mantenimiento, errores de operación, fatiga de materiales o mal funcionamiento mecánico. Algunos ejemplos son los accidentes aéreos y de embarcaciones, accidentes ferroviarios, rompimiento de presas, sobrepresión de tuberías, explosiones, incendios industriales, entre muchos otros. La incidencia de los llamados accidentes tecnológicos ha aumentado continuamente en los centros urbanos, creando a veces condiciones de verdadero desastre.
2. **Sucesos contaminantes.** A este tipo de sucesos pertenecen los relacionados con la acción de agentes tóxicos o peligrosos en términos bióticos para el ser humano y el ambiente. Ejemplos de eventos de este tipo son los escapes de sustancias químicas peligrosas tales como líquidas o gaseosas; los derrames de petróleo o de otros hidrocarburos, las emisiones o escapes de radiación nuclear, los desechos sólidos o líquidos de acción biótica.
3. **Sucesos antropogénicos y conflictos.** También se pueden clasificar sucesos que pueden ser provocados accidentalmente o intencionalmente por el ser humano. Accidentes en zonas de afluencia masiva de personas o situaciones de pánico son

⁽⁵⁾ Calvo García-Tornel, Francisco. 1985. "La geografía de los riesgos". España.

ejemplos de sucesos antropogénicos. Tal es el caso de las guerras, acciones terroristas, vandalismo y en general conflictos civiles violentos son también sucesos que significan un peligro para la población expuesta.

La ciudad, por la aglomeración que significa y el impacto simbólico que representa, siempre será el lugar privilegiado para diversas formas de la manifestación social de las amenazas. La historia de los últimos años está repleta de incidentes de violencia en ciudades alrededor del mundo y la vigilancia ejercida durante los últimos meses en las principales ciudades de los Estados Unidos, en particular frente al temor de más ataques terroristas contra edificios y zonas estratégicas, nos recuerda que aún estamos lejos de eliminar manifestaciones de diversos descontentos sociales del medio en que vivimos.

1.5.3. Amenazas socionaturales

Durante las últimas décadas, en el mundo han ocurrido una serie creciente de eventos físicos que afectan a las concentraciones humanas, fenómenos que aparentan ser naturales, pero que en su esencia son creados por la intervención o manipulación humana. Estos eventos se gestan en la intersección de la sociedad con los procesos de la naturaleza (ahí donde es imposible pasar la línea) y que pueden convenientemente denominarse eventos, o en su caso, amenazas socio naturales.

Dada la relevancia adquirida durante los últimos años por este tipo de amenazas, causadas por múltiples factores, que por su complejidad de definición son más difíciles de estimar, es importante referirse más ampliamente a ellos; pues existen verdaderos procesos, más que posibles sucesos que caracterizan la amenaza. Es el caso de la inestabilidad de suelos de ladera que se origina por la pérdida de la cobertura vegetal, incendios forestales, sobre pastoreo, explotación minera, etc., lo que puede generar erosión, derrumbes, deslizamientos, flujos o avalanchas. También “en áreas urbanas, la ocupación inadecuada del territorio por asentamientos marginales son la causa se procesos de exacerbación de fenómenos o sucesos peligrosos”⁽⁶⁾.

Por otra parte, globalmente se vienen presentando cambios importantes como resultado del aumento en los niveles de contaminación. Se reconocen situaciones tales como el aumento de la temperatura, el crecimiento del hueco en la capa de ozono, el incremento del efecto invernadero, la lluvia ácida, entre otros, son fenómenos que acentuarán las amenazas socio naturales, incrementarán posiblemente la severidad y recurrencia de huracanes, el fenómeno de El Niño y causaran probablemente cambios en el nivel del mar y las condiciones de severidad de las estaciones del año. Un buen ejemplo de este tipo de fenómenos socio naturales, son las interminables lluvias torrenciales que actualmente caen sobre el norte de las provincias Argentinas, que

⁽⁶⁾ Lavell, Allan. 1996. “Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano”. Peru.

aunado a la profunda recesión económica del país, representan un problema particular por las diversas interpretaciones que pueden darse en cuanto a sus orígenes, la responsabilidad por su ocurrencia y las opciones de control y mitigación que existen, dadas las condiciones económicas, políticas y sociales del país.

La integración y comprensión de las amenazas socio naturales en el marco del estudio de los riesgos, pone de presente la relación hombre–naturaleza, enfatizando la vulnerabilidad e ilustrando en qué medida la intervención humana puede reducirlos.

1.6. Definición de vulnerabilidad

El término vulnerabilidad, aunque llegó a ser tratado por Engels en 1854, cuando se refirió a la vulnerabilidad de la clase obrera, fue propuesto de manera explícita a mediados del siglo XX desde la perspectiva de los desastres, con el enfoque de la escuela ecologista, en la Universidad de Chicago, por White, Burton y Kates. Estos autores plantearon el concepto de “ajuste” o “adecuación” (que diferencian de adaptación según el tiempo) para reducir el impacto de los eventos de la naturaleza.

Generalmente utilizado como evaluación de la posibilidad de que un evento catastrófico se produzca, o como expresión de los daños potenciales que puede incluir, expresado en el número de pérdidas humanas o materiales. En este trabajo no es este el sentido en el que se pretende utilizar. A tales consideraciones, el concepto de vulnerabilidad es el grado de eficacia de un elemento expuesto determinado para adecuar su organización frente a cambios que incorporan la probabilidad de cierto daño. La vulnerabilidad aumenta en relación directa con la incapacidad de los elementos expuestos para adaptarse al cambio y determina la intensidad de los daños que puede producir.

La vulnerabilidad plantea una serie de aspectos que a largo plazo afectan la capacidad de los elementos expuestos para responder a sucesos y la hacen susceptible a sufrir futuras consecuencias. Dichos aspectos forman parte de “los postulados de Anderson y Woodrow” ⁽⁷⁾ y son de carácter:

1. **Físico-material.** Relacionados con el medio ambiente, la infraestructura, la vivienda, la tecnología, el capital, el nivel de salud y la capacidad de trabajo.
2. **Social-organizacional.** Relativo a las actividades sociales y económicas y a las estructuras políticas formales u otras mediante las cuales se toman decisiones.
3. **De motivación y actitud.** Lo que se refiere a la concepción que tienen las comunidades de ellas mismas y sus interrelaciones con el ambiente y la sociedad.

⁽⁷⁾ Anderson, M. B. Y Woodrow, P. J. 1989. “Rising from the ashes: Development strategies in times of disaster”. USA.

1.6.1. Dimensiones de la vulnerabilidad

Desde la perspectiva multidisciplinar la vulnerabilidad se manifiesta como un conjunto de factores (de muy diversas índoles) que convergen en un grupo humano particular. Puede también tener varias dimensiones dependiendo del aspecto que se esté teniendo en cuenta para su análisis. De acuerdo con Wilches-Chaux “existen diferentes aspectos que caracterizan la vulnerabilidad desde varias perspectivas”⁽⁸⁾. Dichas dimensiones de la vulnerabilidad se describen a continuación:

1. **Dimensión física.** Expresa las características de ubicación en áreas propensas y las deficiencias de resistencia de los elementos expuestos, de los que depende su capacidad de absorber la acción del suceso que representa la amenaza. La resistencia a los sismos de un edificio, la ubicación de un asentamiento humano en el área de influencia de un deslizamiento o en el cauce de una barranca, son ejemplos de la dimensión física de la vulnerabilidad.
2. **Dimensión económica.** Expresa que los sectores económicamente más deprimidos son los más vulnerables. La pobreza aumenta la vulnerabilidad. Al nivel local e individual este aspecto se expresa en desempleo, insuficiencia de ingresos, dificultad o imposibilidad de acceso a los servicios. En el ámbito nacional se traduce en una excesiva dependencia económica de factores externos incontrolables, la falta de diversificación de la base económica y las restricciones al comercio internacional.
3. **Dimensión social.** Habla de que cuanto más integrada esté una comunidad, superando los inconvenientes que suelen presentarse, le resultará más fácil absorber las consecuencias de un desastre y podrá reaccionar con mayor rapidez que una comunidad que no lo esté. Las sociedades pueden ser más o menos vulnerables en el sentido que pueden reaccionar como grupo organizado, mediante procesos de autoorganización o con intereses particulares por encima de los grupales, con relaciones más estrechas entre sus integrantes o relaciones meramente circunstanciales.
4. **Dimensión educativa.** Se expresa en una educación deficiente o que no tiene una buena cobertura en una comunidad propensa. La ausencia de conocimiento sobre las causas, los efectos y las razones por las cuales se presentan desastres, el desconocimiento de la historia y la falta de preparación y desconocimiento del comportamiento individual y colectivo en caso de desastre son aspectos que hacen que una comunidad sea más vulnerable. Igualmente, la falta de socialización de la información aumenta la vulnerabilidad.
5. **Dimensión política.** Se expresa en el nivel de autonomía que tiene una

⁽⁸⁾ Wilches-Chaux. 1989. “Desastres, ecologismo y formación profesional”. Colombia.

comunidad con respecto a sus recursos y para la toma de decisiones que le afectan. La comunidad se hace más vulnerable bajo esquemas centralistas en la toma de decisiones y en la organización gubernamental. La debilidad en los niveles de autonomía para decidir regional o localmente, impide una mayor adecuación de las acciones a los problemas sentidos en estos niveles territoriales. En la medida que la comunidad participa más en las decisiones que le atañen, es menos vulnerable.

6. **Dimensión institucional.** Esta relacionada con las dificultades que tienen las instituciones para hacer la gestión del riesgo. Situación que se refleja en la falta de preparación para responder ante un suceso o cuando aún sabiendo que existe el riesgo no llevan a cabo acciones eficientes y efectivas para reducirlo o mitigarlo. Se expresa en la falta de flexibilidad de las instituciones, en el exceso de burocracia, en el hecho de que prevalecen la decisión política y el protagonismo.
7. **Dimensión cultural.** Esta dimensión de la vulnerabilidad está referida a la forma en que los individuos se ven a sí mismos en la sociedad y como colectividad, lo que influye en ocasiones de manera negativa debido a estereotipos perniciosos que no se cuestionan y que se consolidan. Al respecto juegan un papel crucial los medios de comunicación, puesto que contribuyen a la utilización sesgada de imágenes o la transmisión de información ligera o imprecisa sobre el medio ambiente, la misma sociedad y los desastres.
8. **Dimensión ambiental.** Hay un aumento de la vulnerabilidad cuando el modelo de desarrollo no está basado en la convivencia sino en la explotación inadecuada y la destrucción de los recursos naturales. Esta circunstancia necesariamente conduce al deterioro de los ecosistemas y a aumentar la vulnerabilidad, debido a la incapacidad de autoajustarse para compensar los efectos directos o indirectos de la acción humana o de sucesos de la misma naturaleza.
9. **Dimensión ideológica.** Esta relacionada con las ideas o creencias que tienen las personas sobre el devenir y los hechos del mundo. Se expresa en actitudes pasivas, fatalistas y creencias religiosas que limitan la capacidad de actuar de los individuos en ciertas circunstancias. La percepción dogmática de las cosas puede generar confusión acerca de un propósito, falta de reacción y muchas veces pérdida de la motivación, que debilitan una acción transformadora.

El planteamiento global de la vulnerabilidad a partir de sus dimensiones individuales, resulta ser muy útil para visualizar la vulnerabilidad desde múltiples facetas y desde variadas perspectivas del conocimiento, dándole un carácter multidisciplinar. Esta circunstancia facilita el entendimiento de la vulnerabilidad como una condición dinámica; además permite su formulación como un proceso acumulativo de fragilidades o limitaciones que permanecen en el tiempo como factores que inciden en que exista o no una mayor o menor vulnerabilidad.

1.6.2. Factores causantes de la vulnerabilidad

Si bien es cierto que algunas circunstancias sociales pueden considerarse como aspectos asociados con la vulnerabilidad desde la perspectiva de los riesgos, no siempre dichos aspectos pueden considerarse como la vulnerabilidad misma. Un claro ejemplo de esto es la pobreza, la cual puede considerarse como un factor o 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 que se hace necesario estudiar los factores que hacen que los elementos expuestos a cierto tipo de amenaza sean vulnerables, desde un punto de vista más general, que sólo el carácter social de éstos. En el caso de elementos expuestos (sean estas personas, sistemas o instituciones) la vulnerabilidad esta directamente relacionada a los procesos que en ellos se desarrollan y que tienen que ver con la fragilidad, la susceptibilidad o la falta de resiliencia de dichos elementos ante amenazas de diferente índole, además de la degradación ambiental del entorno natural intervenido o en proceso de transformación.

Lo anterior es la materialización de la construcción del riesgo, mediante la gestación en unos casos de la vulnerabilidad y en otros de las amenazas o de ambas circunstancias sucediendo simultáneamente. En consecuencia, la vulnerabilidad refleja una carencia o déficit de desarrollo, ya que el riesgo se genera y se construye a partir de los siguientes factores causantes de la vulnerabilidad:

1. **La exposición.** Es la condición de susceptibilidad que tiene el elemento expuesto de ser afectado por estar en el área de influencia de los fenómenos peligrosos y por su fragilidad ante los mismos.
2. **La fragilidad.** Se refiere a la predisposición que surge como resultado del nivel de marginación o segregación del elemento expuesto y sus condiciones de desventaja y debilidad relativa ante algún fenómeno peligroso.
3. **La falta de resiliencia.** Expresa las limitaciones de acceso y movilización de recursos del elemento expuesto, su incapacidad de respuesta y sus deficiencias para absorber el impacto.

“Este tipo de planteamientos, tratan de tener una visión más completa de los factores que originan o disparan de cierta forma la vulnerabilidad”⁽⁹⁾.

⁽⁹⁾ Cardona, O. D. y Barbat, A. H. 2000. “El riesgo sísmico de estructuras”. España.

1.7. Diferencia entre riesgo y desastre

Una aclaración importante por hacer es resaltar la diferencia entre riesgo y desastre. Por riesgo, entendemos la posibilidad de daños que resultan de un evento extremo de origen natural o humano sobre una zona vulnerable a dicho evento. En cuanto al segundo, se trata de una situación o proceso que se desencadena como resultado de la manifestación de un fenómeno natural, tecnológico, provocado por el hombre o inclusive de orígenes aún más complejos que, al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en cierto elemento expuesto, causa alteraciones intensas en las condiciones normales de funcionamiento del elemento. Estas alteraciones están representadas por la pérdida de vidas y salud de una población; la destrucción o pérdida de bienes y daños severos en el medio ambiente, razón por la cual se requiere de una respuesta inmediata de todos los actores involucrados para atender a los afectados y restablecer la normalidad y el bienestar.

De acuerdo con lo anterior, “un desastre es la materialización del riesgo y significa un impacto que puede tener una dimensión variable en términos de volumen, tiempo y espacio” ⁽¹⁰⁾. Aunque todo impacto intenso podría considerarse como un desastre, el sentido común de las personas reconoce como desastres sólo aquellos que modifican significativamente el volumen o la distribución de la población humana. Por esta razón, sucesos que ocurren en áreas donde no existen asentamientos humanos, raramente son percibidos como desastres, pero si pensamos en un suceso que no afecte personas en forma directa, pero que sí cause perjuicios sobre otros elementos naturales renovables y no renovables, igualmente se le daría categoría de desastre.

(10) Blanco-Alarcón. 1989. “Gestión ambiental para el desarrollo”. Colombia.

CAPÍTULO 2. La sismicidad en La Ciudad de México

“... se sintió como por dos minutos un fuerte, continuado movimiento de tierra, comenzando y siguiendo lo más del tiempo de oriente a poniente y terminando por los vientos opuestos”

Gaceta de México. Septiembre 14 de 1802

2.1. La génesis de los sismos en La Ciudad de México

“México es uno de los países más sísmicos del mundo. Su geología refleja que gran parte de su territorio está sometido a enormes esfuerzos que causan, entre otros efectos grandes terremotos. En general en México existen dos zonas sísmicas: una que corresponde a los sismos asociados con la subducción de la Placa de Cocos (la cual es responsable de los eventos sísmicos que nos ocupan en este trabajo) y otra que corresponde a los sismos asociados con la transcurción de la Península de Baja California respecto de la Placa Norteamericana”⁽¹⁾. Para efectos de este trabajo no abordaremos lo referente a la transcurción de la península de Baja California, dado que los sismos que se generan ahí no afectan a la Ciudad de México. Por el contrario ahondaremos en los procesos de subducción de la Placa de Cocos, como generador de sismos y de la sismología local del Valle de México, para tratar de entender un poco más estos fenómenos.

En la porción central de México se generan los sismos por el proceso de subducción de la Placa de Cocos. Los límites de esta placa son la Fractura Rivera, la cresta del Pacífico Este, la Cresta de Cocos y la Trinchera de Mesoamérica. La Cresta del Pacífico Este es la zona donde el magma emerge del manto y se solidifica, formando el material de la placa

(1) Nava, Alejandro. 2000. “Terremotos”. México.

y empujándola hacia el continente. Por otro lado, la zona de la trinchera no marca el fin de la placa, sino la zona en la cual se curva, inclinando su inmersión bajo el continente que continua muy probablemente unos 350 km después de la trinchera y que probablemente alcance 150 o 200 km de profundidad. Es ahí donde la placa inicia un proceso de fricción cuando se mueve debajo de la porción continental, ya que resbala debajo de esta zona debido a la diferencia de densidad de peso entre la placa de cocos y la placa continental; el choque y la fricción forman plegamientos y fracturas en la zona de la corteza, que cuando se obstruye su movimiento, inicia en ese punto un proceso de acumulación de energía de deformación, que al romperse la energía se libera y se propaga en forma instantánea originándose un sismo, cuya magnitud dependerá de la cantidad de energía que se libere. Al ocurrir un sismo, el movimiento puede presentarse en cualquier dirección, dado que la energía liberada se propaga por toda la tierra en forma de ondas sísmicas, la amplitud del movimiento del suelo ya sea oscilatorio o trepidatorio, será de consideración en las zonas cercanas al lugar en donde se liberó la energía, no obstante las ondas se propagarán por toda la tierra, tanto en su interior como por su superficie. Las ondas sísmicas viajan a través del interior y por la superficie terrestre a razón de unos cuantos kilómetros por segundo.

Aunque en la Ciudad de México la mayoría de los sismos se generan por el proceso de subducción de la Placa de Cocos, hay temblores menos frecuentes que en el caso concreto de la ciudad, donde ocurren a lo largo del Eje Neovolcánico Mexicano y localmente en el Valle de México. A pesar de que los sismos en el Eje Neovolcánico son generalmente pequeños, ocurren ocasionalmente eventos de mayor magnitud, como el caso del sismo de Acambay, Estado de México en 1912, de magnitud aproximada de 7.0 grados en la escala de Richter. A diferencia de los sismos que ocurren lejos de la Ciudad de México y que son sentidos en ésta como medidas oscilatorias de periodo largo, los sismos locales se presentan como una fuerte sacudida vertical casi instantánea seguida por vibraciones rápidas de muy corta duración, frecuentemente acompañadas de un fuerte ruido subterráneo.

Es probable que los sismos que ocurren en el Valle de México tengan su origen en las antiguas fallas que formaron la cuenca y en la intensa actividad volcánica que existe en el valle. La mayor parte de la actividad sísmica local se concentra en los márgenes oriental, occidental y sur del Valle de México. Son frecuentes los reportes de sismos a lo largo de la Sierra de las Cruces (Cuajimalpa, Lomas de Plateros, Olivar del Conde, etc.) que producen alarma en la población local. Así mismo, hay actividad sísmica en la parte sur de la ciudad, a lo largo de la Sierra del Ajusco y en el lado de Texcoco, se ha especulado, sin mayor evidencia, que esta actividad está relacionada con los volcanes existentes en la región.

Aunque no hay mucha evidencia contundente de que estos temblores locales que ocurren en el Valle de México hayan causado daños de consecuencia en la ciudad en la época moderna, sin embargo será necesario conocer mejor cuales son las causas de esta actividad, así como estimar las consecuencias que tendría en la población un sismo local de magnitud considerable.

2.2. Historia de los sismos en La Ciudad de México

Muchos son los beneficios que hacen necesario realizar una cronología histórica de los temblores. Por un lado, la teoría de las placas tectónicas ha demostrado que los temblores no son sucesos aleatorios, sino que por el contrario se producen en determinadas regiones bastante bien localizadas. Su ubicación en tiempo y espacio, no se debe al azar, sino que parece obedecer a cierta regularidad sumamente compleja, que aún no ha sido totalmente comprendida. De aquí la necesidad de conocer con la mayor exactitud posible las zonas que pueden ser afectadas por estos fenómenos, las intensidades máximas que éstos pueden tener y los intervalos de tiempo entre un suceso y otro.

“Los primeros datos sobre temblores en La Ciudad de México aparecen en el Códice Telleriano-Remensis del año uno pedernal (1197 aproximadamente), aunque es hasta el año tres casa (1455 aproximadamente) que se tienen registros en los Anales de Tlatelolco (escritos en náhuatl con caracteres latinos de alrededor de 1530, compuestos de cinco documentos diversos) de un terremoto que agrietó la tierra y derrumbo las chinampas”⁽²⁾.

Otro aspecto importante de las cronologías históricas sobre los sismos, es la manera de cómo varía la forma de registrar algunas características de éstos; tales como la fecha, la hora, la duración y la intensidad.

Sabemos que los códices y anales escritos en náhuatl por lo general fechan los eventos tan sólo por el año, de acuerdo al sistema calendárico náhuatl y su correspondencia con el calendario cristiano. La primera vez que se señala la hora de un temblor en la Ciudad de México es en el año de 1589 y quien lo hizo fue Antonio de Ciudad Real en su “Tratado curioso y docto de la grandezas de la Nueva España”, pero es hasta mediados del siglo XVIII que esto se empieza a realizar en forma generalizada. Con el acelerado progreso de los relojes de bolsillo a partir de ese siglo también se empieza a generalizar el medir la duración de los temblores en minutos, aunque existen registros para 1653 en donde la duración de los temblores se median en “credos” (tiempo que se puede utilizar en rezar un credo con devoción). Lo cual nos hace pensar en que la voluntad de precisión iba más allá de las posibilidades instrumentales.

En cuanto a la intensidad de los sismos no es fácil deducirla de las descripciones históricas, pues a menudo aparecen calificativos como: pequeño, ligero, violento, espantoso, etc. Los cuales no tienen un sentido preciso para elaborar una escala de intensidad. La cultura náhuatl estableció un sistema de clasificación para los temblores de acuerdo a su fuerza. Ésta se basa en las subdivisiones de los pictogramas que se usan en los códices para señalar los sismos. La iglesia católica de el siglo XVIII tenía su propia escala de intensidades sísmicas para la Ciudad de México en donde a mayores intensidades, mayores eran las demostraciones públicas de fe y arrepentimiento

(2) Rojas Rabiela, Teresa. 1987. “Y volvió a temblar”. México.

mediante la organización de plegarias y procesiones. Esta escala tenía la peculiaridad de considerar a los sismos por series y no de uno en uno.

Hay que esperar hasta el año de 1800 para encontrar otra clasificación de temblores basada en su intensidad. Esta clasificación obra de Francisco Sedano en su libro "Noticias de México" muestra tres clases de sismos. Los de primera clase eran "los más memorables por su fuerza, duración y conmoción que causaron". De los de la segunda clase por "su fuerza y duración" no da mayor definición. Los de tercera clase eran para el autor "aquellos tenues, ligeros y de poca duración", de esos que es raro el año que no hay. En los trabajos de Sedano se encuentran ordenados los sismos cronológicamente de cada clase por separado⁽³⁾.

Además de todo lo anterior las cronologías también nos hablan de que tan frecuentemente nos vemos afectados por temblores que han provocado severos daños a las estructuras y enormes pérdidas en vidas y propiedades. En general para la época moderna de México, podemos hablar de los grandes sismos sucedidos antes de la creación del Servicio Sismológico Nacional (SSN) y los ocurridos después de su creación. Para 1910 el Servicio Sismológico Nacional contaba con nueve estaciones sismológicas para el registro y localización de temblores. Actualmente, la institución dependiente de la Universidad Nacional Autónoma de México cuenta con más de 50 estaciones permanentes con las que determina los parámetros más importantes de los sismos ocurridos en el país, tales como la localización epicentral, profundidad, magnitud y tiempo de origen⁽⁴⁾. Toda esta información es publicada por el SSN y proporciona información indispensable y confiable acerca de la ubicación y tamaño de los sismos, a fin de poder realizar toda una serie de estudios sobre riesgo sísmico en diferentes zonas del país.

A continuación se presenta una cronología con los sismos de mayor intensidad que han afectado a La Ciudad de México, desde la época prehispánica hasta nuestros días.

Cuadro 2.1. Sismos de mayor intensidad sentidos en La Ciudad de México

FECHA	EFFECTOS EN LA CD. DE MÉXICO	OBSERVACIONES
1455 (3 casa)	Agrietamientos en el suelo y el derrumbe de algunas chinampas	Este sismo estuvo precedido de grandes heladas
1475 (9 caña)	Montes y cerros del Valle de México sufrieron derrumbes	El epicentro del sismo al parecer fue dentro o muy cerca de la Ciudad de México
1496 (4 pedernal)	La tierra se llenó de grietas a causa de un gran temblor	Este sismo aparece representado con un glifo en el Códice Aubin

(3) Sedano Francisco. 1880. "Noticias de México". México.

(4) CENAPRED. 2001. "Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastre en México". México.

1542 (11 conejo)	Daños en algunas construcciones	La ocurrencia del sismo está fechada entre el 15 y 17 de marzo de 1542
1589 Del 11 al 26 de abril	Se cayeron algunas paredes y en Coyoacán se cayó el convento de los Dominicos que estaba en obra	Tembló tres días seguidos y a los quince días volvió a temblar
1611 agosto	Algunos daños en la iglesia de Xochimilco y se derrumbó el frontispicio de una capilla de la iglesia de San Francisco	Al parecer se agrupan una serie de temblores ocurridos en junio y agosto de ese año
1653 17 de enero	Daños en la tercera parte de la barda de la huerta de Santo Domingo y el derrumbe de la mitad de la iglesia de Azcapotzalco	Sismo ocurrido entre las nueve y la diez de la noche
1665 20 de enero	Sismo que no produjo daños, pero fue causado por la explosión del volcán Popocatepetl	Sismo ocurrido a la una de la mañana
1697 7 de febrero	Ligero temblor, precedido de un gran ruido producido por los montes	El 25 de ese mes se produjo un sismo en Acapulco que causa grandes daños y afecto también algunos edificios en la Ciudad de México
1698 3 de septiembre	Fuerte temblor que derribó dos casa, matando a dos personas	Sismo ocurrido entre las cuatro y cinco de la mañana
1711 15 de agosto	Fuerte temblor que arruinó muchos edificios y derrumbe algunas casas	Causó daños también en Puebla y Tlaxcala
1753 29 de julio	Daños sin gravedad en algunos templos y casas	Serie de dos temblores, sentidos con dos horas de diferencia entre uno y otro
1754 1 de septiembre	Daños leves en algunas iglesias	Sismo que causó graves daños en el Puerto de Acapulco
1768 4 de abril	Daños en la mayoría de los edificios de la ciudad y puentes que dan paso sobre las acequias	Sismo ocurrido a las 6:47 de la mañana en el que perecieron dos mujeres al venirse abajo el techo de una casa de adobe
1776 21 de abril	Hubo cuarteadoras en la Casa de Moneda y la Catedral	El temblor fue registrado como de ondulación y trepidación, ocurrido a las cuatro y cuarto de la tarde con una duración de 4 minutos
1787 28 de marzo	Daños en Palacio Nacional, el Cañón de la Diputación y otras varias casas	Se reporta una serie de grandes sismos, del 28 hasta el 30 de marzo de ese año
1800 8 de marzo	Se reportan daños en Palacio Nacional y en las arquerías de Chapultepec, además de iglesias y casas en la ciudad	El sismo también fue sentido en Oaxaca, Puebla y Veracruz
1813	Arcos rotos en los acueductos de Santa Fe y	En ruina casi total la ciudad

31 de mayo	Belén. Daños en puentes, cuarteles, conventos e iglesias	de Colima, graves daños en la catedral de Guadalajara
1835 6 de enero	Se desplomó el Santuario de Nuestra Señora de la Soledad de Campo Florido	Murieron tres personas y resultaron gravemente heridas otras tres
1837 22 de noviembre	Daños en las arquerías de muchos edificios	Posiblemente el sismo ocurrió frente a las costas de Michoacán
1845 7 de abril	Daños en Palacio Nacional, la Cámara de Senadores y la Universidad.	Se reportaron graves daños en Xochimilco y Tlalpan
1858 19 de junio	Graves daños en casi toda la ciudad, se abrieron grietas en las calles y se levantaron las banquetas	Causó daños en varias poblaciones de Michoacán
1864 3 de octubre	Daños en muchas cañerías de la ciudad y los arcos de Belén	Duración aproximada de un minuto
1882 19 de julio	Se dañaron las torres de la iglesia de Tlalpan y algunas cañerías de la ciudad	Es muy probable que se tratara de un sismo profundo
1903 14 de enero	Causó daños serios en la ciudad de México y en varios poblados de Oaxaca y Chiapas	Sismo en la costa de Chiapas de Magnitud 7.6
1907 14 de abril	Derribo el colegio Salesiano, rompió cañerías y produjo grietas en las calles	Sismo en la costa de Guerrero de magnitud 7.9
1908 26 y 27 de marzo	Causo graves daños en la ciudad	Serie de sismos ocurridos en la costa de Guerrero
1909 30 de julio	Derrumbe de casas y bardas en la ciudad	Sismo en la Costa Grande de Guerrero de magnitud 7.5
1911 7 de junio	Sismo que destruyó 119 casa en el Distrito Federal	Sismo en la Costa de Michoacán de magnitud 7.8
1912 19 de noviembre	Derrumbes de muchas bardas y varias casas destruidas. Daños en el Palacio de Minería y las Vizcaínas	Sismo en la falla de Acambay, Estado de México. Magnitud 6.9
1928 22 de marzo	Cuartheaduras en muchas casas y derrumbe de algunas bardas	Sismo en la costa de Oaxaca. Magnitud 7.5
1928 17 de junio	Grietas en el pavimento	Sismo en la costa de Oaxaca. Magnitud 7.6
1928 4 de agosto	Derrumbó el Palacio Municipal de Chalco, Estado de México	Sismo en la costa de Oaxaca. Magnitud 7.4
1928 9 de octubre	Varios derrumbes de casas y bardas	Sismo en la costa de Oaxaca. Magnitud 7.8
1932 3 de junio	Numerosas grietas y casas derrumbadas, cañerías reventadas	Sismo en las costas de Jalisco. El más grande registrado en México. Magnitud 8.2
1941 15 de abril	Dañó la cúpula del cine Insurgentes	Sismo en las costas de Colima. Magnitud 7.9

1957 28 de julio	Destruyó varias casas y edificios en la ciudad. Derribó el Ángel de la Independencia	Sismo frente a las costas de Acapulco. Magnitud 7.5
1979 14 de marzo	Destruyó la Universidad Iberoamericana en la colonia Campestre Churubusco	Sismo en Petatlán. Magnitud 7.4
1985 19 y 20 de septiembre	Gran destrucción en el centro de la ciudad. Destruyó casi 2000 edificios	Sismo en las costas de Michoacán. Magnitud 8.1
1989 25 de abril	No se reportaron daños materiales	Sismo en las costas de Guerrero. Magnitud 6.9
1995 14 de septiembre	Varias crisis nerviosas en la población	Sismo en las costas de Guerrero. Magnitud 7.3
1995 9 de octubre	No se reportaron daños materiales	Sismo frente a las costas de Colima. Magnitud 7.5
2003 21 de enero	Sismo sin daños materiales	Sismo frente a la costa de Colima. Magnitud 7.6

FUENTE: Elaboración propia con datos del CIESAS, CENAPRED y el SSN, 2003

Como podemos ver, la mayor parte de los sismos son sentidos con gran intensidad en la Ciudad de México se originan en la zona de subducción del pacífico mexicano. Estos sismos relativamente lejanos, son sentidos en la ciudad como un movimiento oscilatorio horizontal de periodo largo. “Si consideramos que sólo en lo que va de este siglo han ocurrido en la costa de México treinta y cuatro temblores de magnitud mayor que siete, nos da una idea de la cantidad de grandes sismos históricos que han azotado a la ciudad. Aunque en este mismo periodo de tiempo sólo los eventos de 1903, 1908, 1911, 1932, 1957 y 1985 han provocado daños de consideración en la Ciudad de México”⁽⁵⁾.

Los daños en la ciudad como consecuencia de un gran sismo incluyen con frecuencia referencia a grietas poco profundas que se abren en las calles y la destrucción de viviendas de pobre calidad. Hay algunos casos, en que se reportan daños graves en edificios coloniales y en cúpulas y torres de iglesias. Una de las observaciones de este reporte histórico es que la mayor parte de los daños en la capital son siempre observados en las inmediaciones del centro de la ciudad, en la zona que ocupaba el antiguo lago del Valle de México.

2.3. Los sismos de Septiembre de 1985

(5) Medina Martínez, Francisco. 2000. “Sismicidad y Volcanismo en México”. México.

El sismo de mayor intensidad registrado en la Ciudad de México ocurrido el 19 de septiembre de 1985 a las 7:19 horas tiempo local, fue generado por dos corrimientos principales con una diferencia de 26 segundos que se generaron en la zona de subducción de las placas de Cocos y Norteamérica. La zona de contacto que entró en movimiento calculada en 170 kilómetros de longitud por 70 kilómetros de profundidad, dio lugar a un sismo de 8.1 grados de intensidad en la escala de Richter que sacudió a la ciudad y a otras regiones del centro de México. Su epicentro se localizó en las costas del océano Pacífico, muy cerca de la desembocadura del río Balsas en los límites entre los estados de Michoacán y Guerrero, a una distancia de 373 kilómetros de la Ciudad de México, en la intersección de la Placa de Cocos y la plataforma continental mexicana. La duración de la fase sensible del evento fue de aproximadamente de 40 segundos en la zona epicentral, mientras que en la Ciudad de México la duración fue de entre 2.5 y 3 minutos, el cual tuvo efectos graves en una superficie cercana a los 800,000 kilómetros cuadrados, especialmente en el DF, Estado de México, Jalisco, Guerrero y Michoacán. A las 19:38 horas tiempo local del siguiente día tuvo lugar la réplica de 7.5 grados en la escala de Richter, cuyo epicentro se localizó al suroeste del primer sismo, este segundo sismo concluyó los efectos devastadores del primero.

“La zona de ruptura de estos eventos principales no había tenido movimientos importantes en más de un siglo y se le conocía como *la brecha de Michoacán*, o sea, una zona propensa a la generación de un sismo de gran magnitud”⁽⁶⁾.

En la Ciudad de México, la intensidad destructiva de los dos sismos fue potenciada por dos hechos naturales. En primer lugar la frecuencia de las ondas sísmicas, de dos segundos de duración, coincidió con la resonancia natural de los suelos del Valle de México, produciéndose así un efecto devastador sobre las edificaciones de ciertas características. En segundo lugar, una parte considerable de la Ciudad se encuentra asentada sobre la zona del ex-lago, de baja resistencia y alta deformabilidad, en la que la propagación de las ondas sísmicas provoca una amplificación del movimiento, dando lugar a efectos destructivos de mayor intensidad.

Tras el sismo del 85 la zona urbana más afectada, se localizó en el centro de la ciudad, sobre la zona del ex-lago; particularmente en la delegación política Cuauhtémoc, que absorbió el 80 % de los daños, en las colonias Centro, Nonoalco-Tlatelolco, Santa María La Rivera, San Rafael, Revolución, Cuauhtémoc, Juárez, Condesa, Roma, Obrera, Doctores, Tránsito, Tepito y Morelos. La delegación Venustiano Carranza, al oriente de la Cuauhtémoc, también se vio fuertemente impactada. Al norte de la ciudad, la delegación Gustavo A. Madero, en las colonias Bondoquito y Lindavista. Al sur y afectada en mucho menor grado, la delegación Benito Juárez, en las colonias Narvarte y Asturias. Y en la delegación Coyoacán, las colonias Prado Churubusco y Campestre Churubusco, sobre la zona del ex-lago de Xochimilco. Aunque el número de muertos fue bajo en relación a la magnitud de los daños materiales, pues a la hora en que se registró el primer sismo,

(6) Singh, S. K. y M. Ordaz. 1994. "Sismicidad y Movimientos Fuertes en México: Una Visión Actual". México.

mucha gente iba a penas de camino a sus labores cotidianas o aún no salía de sus hogares; existe un gran número de damnificados dejados por los sismos (Cuadro 2.2.). “Entre las muertes registradas, se tienen 2,778 trabajadores del gobierno, más de 1,200 del sector salud (cifra sólo del Hospital General y del Juárez), 1,334 trabajadores de limpieza, 130 bancarios, 800 costureras, un subtotal de 6,242, a los que hay que añadir los fallecidos en hoteles, restaurantes, industrias y escuelas. Las cifras para desaparecidos también son muy ambiguas; desde 2,000 hasta 20,000, que pudieron haber quedado atrapados entre los escombros de las edificaciones derrumbadas y dañadas; cabe decir que legalmente, a un desaparecido después de dos años se le considera fallecido”(7).

Cuadro 2.2. Damnificados según diferentes criterios

Número oficial de víctimas fatales	6,000
Desaparecidos	20,000
Rescates con vida	4,906
Heridos *	30,000 – 40,000
Damnificados	150,000
Familias que perdieron su casa totalmente	30,000
Familias que sufrieron daños en sus viviendas	60,000
Perdieron su empleo directa o indirectamente	150,000 – 220,000
Pérdidas materiales graves y daños intangibles	50,000

14% con lesiones mayores, 25% con lesiones menores, 60% con daños físicos leves

FUENTE: DDF y CEPAL, 1996

La población damnificada que sufrió algún daño en su vivienda se calcula en 495,000, de entre toda esa gente, la que sufrió más los sismos fue la que residía en viejas vecindades, la hacinada en cuartos de azotea, inquilinos de edificaciones poco seguras y los residentes de conjuntos habitacionales administrados por el gobierno. Como damnificados, hay que añadir, a los que perdieron su empleo de manera directa o indirectamente, de 150,000 a 220,000, según las distintas fuentes; y aquellos que sufrieron grandes pérdidas materiales y daños intangibles (muertes de familiares, enfermedades mentales, entre otras) que se calculan en 50,000 más.

En cuanto a la infraestructura del área central de la ciudad, los sismos destruyeron inmuebles de muy variados usos, periodos históricos, tipos arquitectónicos y alturas. La vivienda representó el más alto porcentaje de inmuebles afectados (Cuadro 2.3.) debido al gran peso relativo de este uso inmobiliario en el total de la ciudad, las precarias condiciones de la estructura física de los inmuebles, en su mayor parte dedicados a vivienda popular bajo la forma de vecindades o conjuntos de vivienda de interés social, construidos en forma precaria o con gran economía y/o muy deteriorados por el paso del

(7) Pradilla Cobos, Emilio. 1996. “Vulnerabilidad, Sismos y Sociedad en la Ciudad de México 1985 y en el Futuro”. México.

tiempo y la ausencia de mantenimiento. Otro tipo de inmuebles afectados que llamaron la atención por su alto número y porcentaje de afectaciones, fueron los inmuebles de uso educativo y hospitalario de baja altura, sobre todo los de gobierno.

Cuadro 2.3. Inmuebles afectados según su uso de suelo

Uso de suelo	Número	Porcentaje
Habitacional	3,746	65
Comercial	840	15
Educacional	704	12
Oficinas *	345	6
Hospitalario **	41	1
Recreativo	33	1
Industrial	19	-
TOTAL	5 728	100

56% eran oficinas públicas

** 22 sufrieron daños mayores

FUENTE: Revista mexicana de sociología, 1986

Los daños en obra de infraestructura que no se relacionaban con edificios fueron en general reducidos, con excepción de los que sufrió la red de distribución de agua potable en algunas zonas de la ciudad; se presentaron cerca de 5,000 rupturas en la red de distribución secundaria y algunas fallas en un acueducto del sur de la ciudad. Los sismos de Septiembre de 1985 señalan un hecho importante en la historia de la Ciudad de México por sus repercusiones no sólo en las personas afectadas directamente sino en los habitantes de la ciudad. Los daños rebasaron lo que se consideraba pudiera llegar a ocurrir. El desastre sirvió como detonador de un conjunto de cambios en los ámbitos político, social y científico. Y aunque importantes han sido las modificaciones en los diversos campos, muchos de ellos todavía distan de haber sido implantados en forma general.

2.4. Medidas tomadas a partir de 1985

Los sismos de Septiembre de 1985 dejaron una profunda huella en la sociedad capitalina y dieron lugar a cambios importantes de orden social y político. En lo que propiamente concierne al riesgo sísmico, la actitud de la sociedad pasó de una psicosis inicial ante cualquier tema relacionado con temblores, a un mayor interés en la materia y a la demanda de medidas para reducir la vulnerabilidad ante estos fenómenos.

Diversas medidas tomadas a raíz de los sismos del 85 han tenido un efecto importante para mejorar la situación. Los reglamentos de construcciones fueron modificados poco tiempo después del terremoto, con el propósito de propiciar condiciones mucho más estrictas de seguridad ante los sismos. "Se elevaron sustancialmente las fuerzas sísmicas prescritas para el diseño estructural de los edificios y se incluyeron requisitos para hacer

más regulares y eficientes los sistemas estructurales y más robustos y mejor reforzados los elementos resistentes (columnas, vigas, etc.)”⁽⁸⁾. Estas modificaciones reglamentarias se deben de aplicar tanto a las nuevas construcciones como al refuerzo de edificios débiles o dañados.

Una de las tantas lecciones aprendidas a partir de los sucesos del 85 fue la necesidad de un sistema de preparación y respuesta más eficaz ante fenómenos potencialmente desastrosos. La falta de coordinación adecuada en la atención, hizo perder tiempo en el rescate de las víctimas. El sismo dio pie a la creación del Sistema Nacional de Protección Civil, que es la estructura dependiente de la Secretaría de Gobernación con la que se coordinan las actividades de prevención, atención y recuperación ante desastres. Este sistema tiene unidades en los ámbitos federal, estatal y municipal y cuenta con la participación de instituciones públicas y privadas. La organización y eficiencia del sistema aunque han ido creciendo con el tiempo, todavía no es capaz de articular acciones de recuperación y mitigación a futuro que tomen en cuenta la existencia de una vulnerabilidad diferencial en sus distintas escalas territoriales.

Los sismos de 1985, aparte de los diversos desastres que causaron, provocaron también varias reacciones en la sociedad, en términos de análisis científicos, políticos o sociales. Los sismos y sus efectos fueron objeto de diversos análisis y contribuciones, por lo que no es casual que la fórmula de defensa civil / protección civil fuese adoptada por el gobierno mexicano para atender situaciones de amenaza.

A partir de ese momento se dio lugar a un extraordinario esfuerzo de estudio e investigación. Ya existían en el país importantes grupos de especialistas en diversos campos relacionados con el tema, pero en pocos años éstos se consolidaron y se crearon otros, llevados por el interés de entender las causas de estos fenómenos y las medidas para contrarrestar sus efectos. Incluso despertaron también el interés de los estudiosos de las ciencias sociales para entender la compleja problemática de los desastres. En un tema claramente multidisciplinario, el enfoque científico y tecnológico tuvo que combinarse con el de la geografía, la planeación urbana, la comunicación, el derecho, entre muchas otras. Diversos grupos desde entonces se han creado para estudiar los temas relacionados a la planeación regional que incluya los riesgos y la organización social de autoprotección.

(8) Meli, Roberto. 2002. "El Sismo de 1985 en México". México.

CAPÍTULO 3. Modelo espacial de riesgo

“El análisis de riesgos se refiere a la predicción de un determinado nivel de riesgo y la definición de sus atributos en coordenadas espaciales y temporales específicas”

Andrew Maskrey

3.1. Análisis espacial y riesgo

El uso del análisis espacial referido al estudio y caracterización del riesgo es un tema que en los últimos años ha ido ganando terreno en la instrumentación de modelos para análisis, solución y manejo de riesgos. “El termino Análisis Espacial fue introducido al final de la década de los cuarentas (Schaefer, 1980), a propósito de un clima de ruptura del paradigma del estudio regional ligado a los desarrollos de la geografía humana o cultural, es decir, la geografía regional clásica” ⁽¹⁾. Era la época en que los geógrafos sajones comenzaban a orientar el uso de variables cuantitativas a la instrumentación de modelos matemáticos dedicados al análisis de procesos sociales y económicos con un enfoque espacial. Han pasado las décadas y los cuestionamientos ideológicos, conceptuales y prácticos aunque no se han dejado de sentir, aludiendo a que con estas metodologías se tiende a desvirtuar la realidad, ya que esta, se traduce en equívocos numéricos en los modelos empleados, se ha logrado tener el pleno reconocimiento de que la dimensión espacial está presente en los procesos de riesgo y de que los esfuerzos por avanzar en su conocimiento serán mayores si se incorporan consideraciones de carácter territorial. En este trabajo el riesgo pretende ser planteado como un concepto de análisis espacial, el cual se refiere al ejercicio analítico de procesos sociales, naturales o a la combinación de ambos por medio de sus expresiones espaciales.

Analizar el riesgo desde esta perspectiva significa predecir sus atributos espaciales mediante el uso de metodologías complementarias que combinen el estudio de datos físicos y el mapeo de las amenazas, además del análisis de aspectos sociales, económicos, políticos, entre otros, de la vulnerabilidad. El análisis de riesgo desde el punto de vista del análisis espacial viene recomendándose desde hace ya muchos años como una herramienta importante para la gestión del territorio. “En 1980, la ex UNDRO ya había recomendado que los mapas de riesgo no deben limitarse a proporcionar información

(1) Macias, Jesús Manuel. 1999. “Desastres y protección civil”. México.

sobre amenazas, sino también sobre las vidas y propiedades expuestas (UNDRO, 1980). Pero fue hasta 1994 durante la Declaración y Plan de Acción de Yokohama (IDNDR, 1994) que se estableció como principio básico que el análisis espacial de riesgo es la clave para lograr el éxito en la reducción de desastres” (2). Aunque con el paso de los años el análisis de riesgos ha reflejado los enfoques y avances establecidos por la investigación y las prioridades de las instituciones responsables de la gestión de riesgos.

3.2. Análisis de riesgo

Podemos definir el análisis de riesgo como un cuerpo del conocimiento, una metodología que evalúa la ocurrencia de un efecto dañino. La definición de un efecto dañino resulta ser un juicio de valor. Podría ser definido como muerte o como enfermedad, como una falla en una planta nuclear o la pérdida de dinero mal invertido, en general como un desastre. En algunos casos recientes algunos términos vagamente definidos como el de “calidad de vida” se han evaluado usando el análisis de riesgo.

Aunque hay muchos tipos de análisis de riesgo, algunos elementos necesarios para calificar como tal el fenómeno son comunes en casi todos los estudios realizados:

- Identificación de la amenaza
- Conocimiento de la capacidad de respuesta
- Análisis de la exposición
- Caracterización del riesgo

La consideración de estos y otros componentes del análisis de riesgo, es un proceso complejo, el cual para ser conducido correctamente requiere de un entrenamiento extenso e intenso. Debido a su naturaleza y complejidad interdisciplinaria, el análisis de riesgo requiere de una cantidad de tiempo apropiada para evaluar todos los datos pertinentes, incluso cuando uno se ocupa de problemas de poca complejidad.

“El desarrollo conceptual del análisis de riesgo comenzó a gestarse en Norteamérica y en otros países desarrollados de Europa, en dos direcciones: con el desarrollo de plantas nucleares y sus posibles problemas (lo cual condujo al desarrollo del análisis de riesgo probabilístico clásico) y con el establecimiento de agencias para el cuidado de la salud, la seguridad y la protección al medio ambiente”(3).

Actualmente la tendencia del análisis de riesgo es otra y en general se observan las siguientes características:

(2) Maskrey, Andrew. 1998. “La Aplicación de los SIG al análisis de riesgo”. Perú.
(3) Molak, Vlasta. 1997. “Fundamentals of risk analysis and risk management”. USA.

- Un cambio en la naturaleza del riesgo de enfermedades infecciosas a enfermedades degenerativas.
- Mayor ocurrencia de desastres naturales a nivel mundial ocasionados por el calentamiento global.
- Incremento en la capacidad de los científicos para medir los riesgos.
- Un número creciente de los procedimientos formales de análisis de riesgo capaces de predecir riesgos a priori.
- Incremento en el rol de los gobiernos en la asesoría y manejo de riesgos.
- Incremento de la participación de grupos de la sociedad, en cuestiones de manejo de riesgos.
- Incremento en la conciencia ciudadana y en la demanda de protección.

El análisis de riesgo puede ser organizado formalmente en los siguientes tipos:

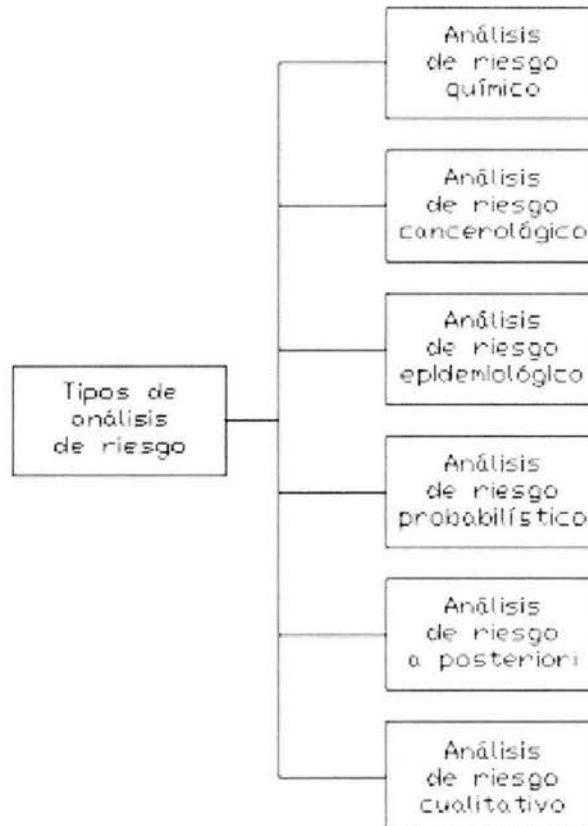


Figura 1.1. Representación esquemática de los tipos de análisis de riesgo

En cada caso particular para los tipos de análisis de riesgo, las suposiciones y las incertidumbres tienen que ser explicadas claramente. Todos los modelos usados en la ejecución del análisis de riesgo tienen que indicar las suposiciones e incertidumbres en sus conclusiones.

Para efectos de este trabajo ahondaremos únicamente en el tipo de Análisis de Riesgo A posteriori (ARA), el cual es aplicado para predecir pérdidas futuras por fenómenos naturales, sociales o tecnológicos.

El ARA ha sido desarrollado para facilitar la cuantificación del riesgo asociado a la predicción de pérdidas futuras mediante el implemento de escenarios. Es particularmente apropiado para el análisis de eventos extremos, los cuales pueden ser naturales, sociales o tecnológicos. Algunas características del ARA son:

1. El ARA es generalmente designado como modelo de predicción a futuro a partir de la evaluación y el análisis de eventos extremos sucedidos en el pasado.
2. El ARA proporciona sistemas de respuesta integrados, mediante una visión holística.
3. Idealmente, el ARA debe identificar los tipos y los niveles del daño de posibles pérdidas futuras, mediante el análisis de eventos extremos pasados.
4. Un ARA no sólo proporciona información cualitativa del proceso, sino también mediciones cuantitativas acerca del riesgo.
5. El ARA también puede incluir información cuantitativa de la incertidumbre en los resultados. Particularmente cuando los datos son escasos.
6. Finalmente, un ARA debe proporcionar no solamente información del nivel actual del riesgo, sino también información de las posibles acciones potenciales de la gerencia del riesgo aplicables a eventos futuros.

Para resumir, un ARA determina cómo un proceso responde a una variedad de situaciones mediante la predicción de posibles pérdidas futuras. Dichas predicciones son usualmente muy exactas, en el ARA las predicciones pueden tener un rango muy variado en el resultado, aunque bajo ciertas circunstancias se pueden hacer predicciones robustas acerca del riesgo. Lo mejor que podemos esperar en la aplicación de este tipo de análisis de riesgo a los problemas complejos a los que hacemos frente es comprobar los patrones que podrían ser útiles para la gerencia de riesgo.

Los números asociados al análisis de riesgo son a menudo crudos y engañosos, si la incertidumbre asociada a ellos no se explica claramente, lo cual explica que podamos evaluar más fácilmente los tipos de riesgo que se suceden en una planta de desechos tóxicos, que predecir los riesgos ocasionados por el calentamiento global. En general en

análisis de riesgo nos puede ayudar a prevenir, predecir y predicar acerca del riesgo, que entonces podría ayudar a crear sociedades sustentables más habitables y más equitativas.

3.3. Sistemas de Información Geográfica para el Análisis de riesgo

De acuerdo con el manual de la NCGIA (*Nacional Center for Geographic Information and Analysis*) de los Estados Unidos, un Sistema de Información Geográfica (SIG) puede ser definido en general como “Un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados para resolver problemas complejos de planificación”⁽⁴⁾.

Una definición menos técnica de un SIG puede ser la de un sistema de control de la información, capaz de recolectar, almacenar y recuperar información con base en su localización espacial. El cual permite explorar relaciones entre conjuntos de datos relacionados espacialmente, analizarlos y ayudar a la toma de decisiones. Facilitando la selección y transmisión de datos a modelos analíticos de aplicaciones específicas capaces de evaluar el impacto de alternativas y exhibir en ambientes seleccionados información gráfica y numérica tanto antes, como después del análisis.

Un aspecto importante en los SIG y común en todas las definiciones, es que las decisiones se toman con base en el Análisis Espacial (AE) efectuado a un conjunto de datos referidos a un sistema geográfico común. Dicho sistema de referencia puede ser un sistema coordinado plano arbitrario o UTM, latitudes y longitudes u otro sistema coordinado local conveniente. “En cualquier SIG, la precisión del análisis espacial y por consiguiente, la validez de las decisiones tomadas como resultado de esos análisis, son directamente dependientes de la calidad de los datos espaciales usados”⁽⁵⁾. Por tal situación, es importante desde un principio ser conscientes de la labor que la Topografía, la Geodesia y la Percepción Remota juegan en el desarrollo de conjuntos de datos posicionados con precisión.

El término SIG es relativamente nuevo, apareció publicado a mediados de la década de los 60's. Pero si bien el término es nuevo, muchos de sus conceptos se conocen desde hace muchos años. Uno de ellos *la superposición de mapas*, que es una de las herramientas más conocidas y utilizadas en el AE, fue usada por el cartógrafo francés Louis-Alexandre Berthier hace ya más de 200 años. El preparó y superpuso una serie de mapas para analizar el movimiento de tropas durante la guerra de independencia norteamericana. El ejemplo anterior ilustra uno de los aspectos fundamentales que aún constituyen la base de los SIG, la toma de decisiones con base en el análisis simultáneo

(4) Bosque Sendra, Joaquín. 1992. “Sistemas de Información Geográfica”. España.

(5) Wolf, Paul y Brinker, Russell. 1998. “Topografía”. Colombia.

de datos de diferentes tipos, todos localizados espacialmente en un sistema de referencia geográfico común.

Lo anterior deja claro el propósito práctico de los SIG, ya que éste se puede considerar esencialmente como la conceptualización para el uso de la tecnología aplicada a la resolución de problemas espaciales con la mayor precisión posible. Lo cual origina que el uso de los SIG imponga una nueva organización del trabajo. Dependiendo de la complejidad de los fines para los que se utiliza el sistema se puede anticipar un proceso simplificado de su utilización, que incluye las siguientes fases:

- Conceptualización
- Elección de la cartografía básica y temática
- Captura de información gráfica y numérica

Todas estas fases exigen un determinado grado de dominio conceptual y técnico de personal con habilidades y conocimientos en muchas disciplinas diferentes, siendo los más importantes los especialistas en topografía, principalmente en lo que se refiere a algunos aspectos de especial importancia en la topografía como son los levantamientos topográficos, el mapeo, los levantamientos de control, los sistemas de levantamientos inerciales y por satélite, los sistemas coordenados de referencia, los levantamientos de linderos o catastrales, la fotogrametría y la percepción remota, entre otras tantas. Además de los topógrafos, juegan un papel importante en el desarrollo de los SIG, personal en los campos de la computación, la geografía, la ciencia del suelo, silvicultura, arquitectura del paisaje y muchos otros más. La puesta en marcha de un SIG requiere como hemos dicho del trabajo en equipo pero un paso es el determinante y se refiere al marco conceptual que regirá la información que habrá de alimentar el sistema.

La incorporación de los SIG en el contexto de un tema tan complejo como el análisis de riesgo sísmico en zonas urbanas desencadena una serie de problemas conceptuales. Cuando se intenta comenzar a seleccionar variables, elegir métodos de trabajo y resolver problemas, se da uno cuenta de la falta de un marco conceptual consensuado que permita contar con criterios claros y válidos para realizar esa selección.

Hay que tener muy claro que los SIG no pueden resolver este problema conceptual. “En realidad, sólo puede implementarse un SIG cuando se pueden clarificar adecuadamente los conceptos, las definiciones, los elementos que los integran, la calidad y la cualidad de las interrelaciones que manejan estos procesos.”⁽⁶⁾

Es por este motivo, que cuando se introducen los SIG al tratamiento del riesgo, se produce una demanda muy fuerte sobre las disciplinas que tratan el tema para definir los conceptos, los criterios, los elementos y relaciones que intervienen en el tratamiento del problema.

(6) Gray de Cerdán, Nelly. 1998. “SIG: Prevención y manejo de la vulnerabilidad urbana en zonas de alto riesgo sísmico”. Argentina.

3.4. Diseño e implementación del modelo espacial de riesgo

El desarrollo conceptual en torno a un problema dado, en este caso el de riesgo sísmico, está dado por un conjunto de disciplinas científicas que se ocupan de investigar sobre este fenómeno. Es este conjunto de disciplinas el que debe definir el marco conceptual para elaborar el modelo espacial que los Sistemas de Información Geográfica necesitan. Dos son pues los aspectos fundamentales que me interesa destacar en este punto; el primero que se refiere al trabajo conceptual y el segundo que agrupa los procedimientos para conocer, seleccionar e incorporar la información.

Los SIG se han aplicado prácticamente a todo campo de actividades, desde la ingeniería hasta la agricultura y desde la ciencia médica de la epidemiología hasta el control de la vida silvestre. Sin embargo, plantear al riesgo como un problema de Análisis Espacial en un ambiente de SIG, implica que el riesgo tiene que representarse como un modelo espacial. En el modelo espacial en un SIG, los fenómenos del mundo real se representan como entidades espaciales (puntos, líneas, polígonos, superficies o redes). Cada entidad espacial tiene que ser georreferenciada, es decir contar con un sistema coordinado de referencia, para así poder mostrar donde se ubica el fenómeno. Los modelos espaciales también tienen que poder representar los atributos del fenómeno, indicando qué objeto se encuentra en que lugar determinado. Finalmente en los modelos espaciales hay que expresar la topología de las entidades espaciales y las relaciones entre sus atributos.

Generalmente, el proceso de desarrollo de una aplicación de un SIG se inicia con el diseño del modelo espacial, el cual se sustenta, a su vez, sobre un modelo conceptual del fenómeno por representarse. Dicho modelo debe llevarse a cabo de manera simultánea y con referencia al desarrollo de teorías y marcos conceptuales sobre el riesgo. Cualquier modelo espacial se nutre implícita o explícitamente de una u otra teoría acerca del riesgo. Para poder analizar los escenarios de riesgo, es preciso entonces, el diseño de modelos espaciales que se alimenten de un enfoque holista del riesgo y que sea capaces de analizar no sólo los aspectos físicos, sino también los aspectos sociales, económicos, culturales y políticos del mismo.

Para poder representar un escenario de riesgo en un modelo espacial, hay que enfrentar el problema de la escala. Debido a la compleja geometría fractal del riesgo, lo que significa que en un escenario de riesgo determinado, intervienen procesos sociales y naturales que operan a escalas diferentes con poca correlación espacial. Lo medular de una estrategia para el diseño del modelo espacial de riesgo, consistirá en reconocer explícitamente que el riesgo es una variable relativa, cuya valoración depende del sujeto de un escenario de riesgo dado, a diferentes escalas. Esto podría permitir resolver, en parte por lo menos, los problemas de complejidad, incertidumbre, escala, resolución y cuantificación, siempre y cuando el acercamiento a las variables que conforman el riesgo sean explícitamente subjetivas y se abandone toda pretensión de presentar al riesgo como una variable absoluta, objetiva y neutral. La principal cuestión a resolver en el diseño de un modelo espacial de riesgo, será como acercarse a las variables que de

verdad influyen en los escenarios de riesgo, de tal manera que sea posible extraer de ellas sus valoraciones y representaciones necesarias para construir el modelo.

El diseño de los SIG para el análisis de riesgo enfrenta problemas críticos de disponibilidad, cobertura y calidad de los datos. Encontrar pues fuentes de datos con una calidad y cobertura adecuadas, tanto espacial como temporal, para el análisis de riesgos es un obstáculo en el diseño e implementación del modelo espacial de riesgo. La calidad de los datos también está relacionada con problemas de incompatibilidad entre series de datos de períodos diferentes. En algunos casos, los tipos de datos recolectados y los sistemas utilizados para clasificarlos a menudo cambian de censo a censo, haciendo difícil producir series temporales de un atributo determinado. Adicionalmente, hay una falta de confianza en la calidad de los datos oficiales, aún cuando estos datos son actualizados. La calidad de los datos también se ve afectada por las variaciones en la terminología que se utiliza para describir amenazas, pérdidas, poblaciones y desastres. En resumen, hay numerosos problemas para conseguir datos con una cobertura espacial y calidad adecuada para alimentar un modelo espacial de riesgo. La ausencia de datos actualizados y con una cobertura espacial adecuada, el alto costo de datos remotos y digitales, la incompatibilidad entre diferentes series y fuentes de datos, la falta de precisión y existencia en la cartografía, y la ausencia de métodos homogéneos para la producción de datos sobre los desastres y pérdidas ocasionadas son sólo algunos de los problemas que tienen que enfrentarse comúnmente en el diseño de un SIG para el análisis de riesgo.

De acuerdo con Maskrey una estrategia convencional de implementación de un SIG para el análisis de riesgo incorpora varias fases: una fase de diseño, una fase de implementación y una fase de operaciones.

“La fase de diseño empieza con una etapa de análisis de las metas, objetivos, planes y actividades, recursos humanos, físicos y de información, oportunidades y limitaciones, un análisis de las necesidades de los usuarios, un análisis de los recursos de los usuarios, antes de pasar a la integración de los requerimientos y recursos de los usuarios y la evaluación de requerimientos funcionales. La etapa de diseño sigue con los requerimientos funcionales que surgen de la etapa de análisis y lleva al diseño conceptual y físico del SIG, y un plan de implementación. Por lo regular, el SIG se implementa después como un proyecto piloto, llevando a la revisión del diseño y los planes de implementación. La fase de implementación incluye la creación de bases de datos, software, hardware, capacitación e infraestructura, mientras que la fase de operaciones incluye actualización, expansión y monitoreo del rendimiento del sistema”⁽⁷⁾.

Los Sistemas de Información Geográfica tienen como objetivo mejorar la calidad y poder de análisis de las evaluaciones de riesgos, guiar las actividades de desarrollo y ayudar a los planificadores en la elección de medidas de mitigación y en la implementación de

(7) Idem. (2).

acciones de preparativos y respuestas de emergencia. Para cumplir con dicho objetivo los SIG deben de cumplir con diferentes funciones, de acuerdo con Bosque Sendra las funciones de un SIG se pueden resumir en los siguientes subsistemas o componentes lógicos:

1. **Funciones para la entrada de información.** Son los procedimientos que permiten convertir la información geográfica del formato analógico del mundo real, al formato digital de la computadora. Esta conversión se debe de realizar manteniendo todas las características iniciales de los datos espaciales. Por ello, en este subsistema se incluyen no sólo los mecanismos de entrada propiamente dichos, sino también los procedimientos que permiten eliminar errores o redundancias en la información incorporada al SIG. Previamente a la entrada de datos en un SIG, la información que se va a utilizar se ha debido reunir y preparar para que sea tratada y convertida al formato digital.
2. **Funciones para la salida gráfica y cartográfica de la información.** Se refiere a las actividades que sirven para mostrar al o a los usuarios, los propios datos incorporados en la base de datos del SIG y los resultados de las operaciones analíticas realizados sobre ellos. Aquí se obtienen mapas, gráficos, tablas numéricas y otro tipo de resultados en diferentes soportes.
3. **Funciones de gestión de la información espacial.** Con estas funciones se extraen de la base de datos las porciones que interesan en cada momento y es posible reorganizar todos los elementos integrados en ella de diversas maneras.
4. **Funciones analíticas.** Son el elemento más característico de un SIG, ya que son los que facilitan el procesamiento de los datos integrados en él de modo que sea posible obtener una mayor información y con ella mayor conocimiento del que inicialmente se disponía.

Mediante la combinación apropiada del trabajo conceptual, de los procedimientos de selección e incorporación y de las funciones de entrada, salida y gestión espacial, se pueden construir los denominados modelos espaciales, los cuales permiten resolver gran número de las cuestiones problemáticas de carácter espacial.

CAPÍTULO 4. Desarrollo conceptual del SIG para el análisis de riesgo sísmico en zonas urbanas del DF

“Después de un sismo hay oportunidad de avanzar en el conocimiento, tanto de los procesos del sismo como de sus efectos colaterales”

Anónimo

4.1. Ubicación y descripción de la zona de estudio

“El Distrito Federal fue creado por decreto del Congreso Constituyente el 28 de noviembre de 1824, para fijar la residencia de los poderes federales en la Ciudad de México, determinando que quedaría comprendido en un círculo cuyo centro sería la Plaza mayor, con un radio de dos leguas. Posteriormente en diciembre de 1898, el Congreso de la Unión estableció sus límites actuales”⁽¹⁾.

Geográficamente, el Distrito Federal se localiza en el suroeste de la Cuenca de México, entre las coordenadas de latitud norte 19°03'00" y 19°35'24" y las de longitud oeste 98°56'24" y 99°21'36", una gran parte de su territorio queda comprendida en sus partes bajas y de escaso relieve, generalmente en áreas que antiguamente ocuparon los lagos, como es el caso de las delegaciones Gustavo A. Madero, Azcapotzalco, Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc, Venustiano Carranza, Benito Juárez, Iztacalco, Iztapalapa, Tláhuac y una superficie considerable de Coyoacán y Xochimilco. El resto de las delegaciones comprenden dos zonas geográficas bien identificadas: la que corresponde al piedemonte, es decir, la transición de la zona plana a la sierra y la sierra propiamente dicha. El Distrito Federal tiene una extensión de 60,203 hectáreas de tejido urbano y una zona

(1) Garza, Gustavo. 2000. "La Ciudad de México en el fin del segundo milenio". México.

rural aún mayor, que abarca 88,442 hectáreas, ubicadas casi en su totalidad en la parte sur.

Sin embargo, el Distrito Federal o Ciudad de México no constituye una forma urbana delimitada sino que es sólo una parte de la ciudad real, es decir de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, esta última contenida en la Cuenca de México.

La zona de estudio para este trabajo forma parte del ex lago en el Distrito Federal, la zona de estudio está delimitada por una de las principales vialidades de la ciudad conocida como el Anillo Periférico. Esta importante vialidad es un límite físico que delimita la zona del ex lago con la zona del piedemonte, el Periférico con una extensión al interior del DF de 46.4 kilómetros, tiene una cota promedio de 2,240 metros, aunque sube a una cota máxima de 2,400 metros a la altura del Hospital Ángeles. Al interior de la zona se localizan las principales vías de comunicación del Distrito Federal, la zona de estudio es atravesada de sur a norte por la avenida Insurgentes, además de contener a casi todos los ejes viales de la ciudad.

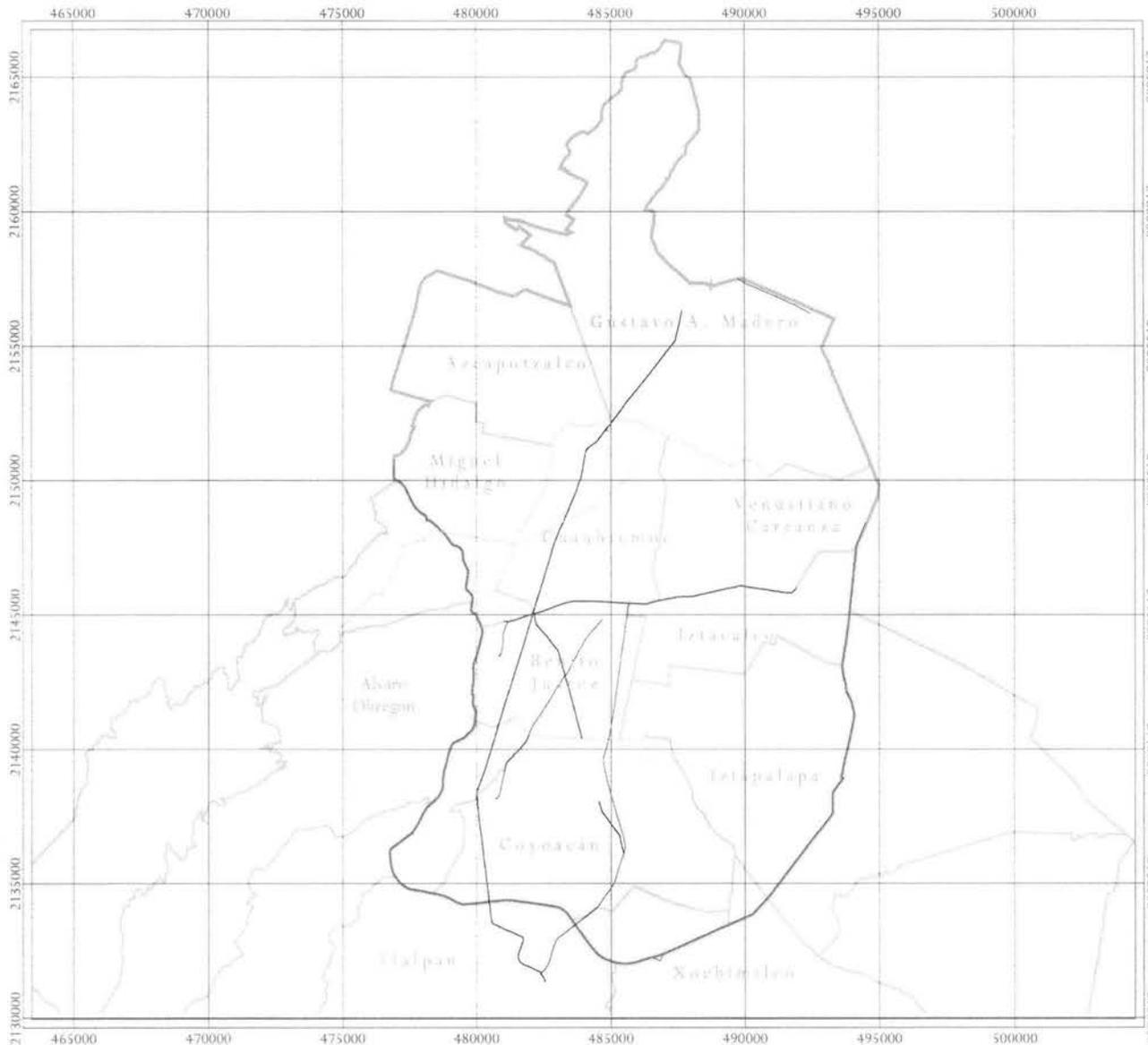
De conformación básicamente plana, con una altura promedio de 2,240 metros sobre el nivel del mar, la zona de estudio incluye algunas pendientes de la Sierra de Guadalupe en la delegación Gustavo A. Madero y el Cerro de la Estrella en la delegación Iztapalapa. Con una población de mas de 5 millones de personas en una extensión geográfica de 378 kilómetros cuadrados aproximadamente, la zona de estudio, incluye así a siete delegaciones completas, Gustavo A. Madero, Azcapotzalco, Cuauhtémoc, Venustiano Carranza, Benito Juárez, Iztacalco y Coyoacán; Mientras que parte por la mitad a la delegación Miguel Hidalgo, quedando dentro del área de estudio la zona oriental, incluye entre otras a las colonias Jardines del Pedregal, San Ángel, Chimalistac de la delegación Álvaro Obregón, Incluye además, algunas de las colonias más populares de la parte oriental de la delegación Tlalpan, y la mitad occidental de la delegación Iztapalapa.

Geología

“Los acontecimientos geológicos relacionados con la formación de la Cuenca de México apenas provienen de la era cenozoica, es decir, hace aproximadamente 60 millones de años. A partir de ese tiempo emergió gran parte de la masa continental de México. Subsecuentemente se inició un periodo casi ininterrumpido de vulcanismo continental que se extendió a lo largo de los últimos 45 millones de años. La actividad geológica se desarrolló en dos fases y produjo, finalmente, lo que hoy conocemos como Cuenca de México.

Sepultado debajo de una potente capa de vulcanitas cenozoicas con espesor medio de 1,500 a 3,000 metros yace enterrado el fondo de la Cuenca de México. Este basamento mesozoico consiste principalmente de calizas marinas del Cretácico, plegadas con ejes norte-sur y cabalgadas al poniente durante el Paleoceno a consecuencia de una subducción en el Océano Pacífico.

ZONA DE ESTUDIO PARA EL ANALISIS DE RIESGO SISMICO



Avenidas Principales

- Periférico
- Insurgentes
- Circuito Interior
- Viaducto
- Paseo de la Reforma
- Calz. de Tlalpan
- Eje Central
- Av. Universidad
- División del Norte

Delegaciones



Mapa compilado por:
Juan Manuel Núñez Hernández

Con información de:
ISIGI
CENTRO GEO

Escala: 1:750 000
Proyección: UTM Zona 14
Datum: WGS84

Marzo de 2004



CENTRO GEO

Durante el vulcanismo y tectonismo del Oligoceno, un potente paquete de vulcanitas de más de 2,000 metros de espesor fue depositado en el área de la Cuenca de México, especialmente en su porción centro-sur. Sobrepuestas a las vulcanitas del Oligoceno yacen otras del Mioceno superior, Plioceno, Pleistoceno y Reciente. Todas representan el producto de una subducción de la Placa de Cocos, ocurrida durante los últimos 15 millones de años debajo de la costa meridional de México. Dichas vulcanitas, con espesores de unos 1,000 a 1,500 metros dan origen al Eje Volcánico Transmexicano. Esta nueva fase de vulcanismo modeló la Cuenca de México. Primero al norte creó la elevada sierra miocénica de Pachuca y tiempo después, en el centro, surgieron las sierras menores del Plioceno, la de Guadalupe y la de Patlachique. Para el Plioceno medio se formaron lagos en cuencas cerradas; estos, aunque someros, fueron acumulando eventualmente espesores considerables de arcillas de hasta 300 metros, formando depósitos lacustres y aluviales. Dichos depósitos, forman la base prácticamente impermeable del acuífero superior de la cuenca. Hacia el Plio-Pleistoceno fueron creciendo las elevadas sierras mayores que limitan la cuenca por el poniente y oriente: la sierra de las Cruces y la sierra Nevada. Ambas dirigidas al noreste, lo que las hace esencialmente paralelas a los antiguos fracturamientos oligocénicos. Estas elevaciones se construyeron por sucesivas erupciones de grandes escudo-volcanes andesítico-dacítico, provistos a menudo de calderas mayores. Es probable que las fosas sobre las cuales ambas sierras se formaron sean el producto de movimientos tectónicos lateral-derechos de cizalleo cortical, mientras que los fracturamientos dirigidos al noreste sean producto de cizalleos lateral-izquierdos.

Un rasgo característico de las sierras mayores lo constituyen los extensos abanicos, llamados lomas y definidos como Formación Tarango. Son principalmente acumulaciones de flujos piroclásticos y erupciones pumíticas de formidables accesos volcánicos, originados en cámaras magmáticas someras, afectadas por las aguas freáticas.

El rápido crecimiento de la Sierra del Chichinautzin, producto de numerosas erupciones de conos volcánicos de tezontle, durante el Pleistoceno superior causó finalmente el cierre de la Cuenca de México transformando al antiguo espacio desde la sierra de Pachuca hasta el sur en una gran cuenca cerrada. La enorme acumulación de lavas, cenizas y conos de tezontle, con una altura máxima de 3 500 metros, se asemeja a una gran cortina que en su costado norte dio lugar a un vaso que se fue azolvando. Este azolve es el que hoy podemos definir como depósitos aluviales del Cuaternario de la Cuenca de México. El azolve total de la cuenca consta aproximadamente de unos 30 kilómetros cúbicos de gravas, arenas, limos, arcillas y cenizas, con espesor máximo de unos 350 metros debajo del centro de la ciudad. El relleno cuaternario fue sepultando lentamente una red de valles que antes conducían al sur, formando primero lagos, que se colmaban de arcillas y más arriba depósitos de arenas y gravas.

En la parte final del relleno, los lagos fueron extendiéndose hasta cubrir mayores superficies de la planicie aluvial. Al final del pleistoceno, se estima que debe de haber existido un sólo lago central mayor, el cual a veces podía alcanzar con sus aguas máximas

la cota de 2,248 metros. En los últimos milenios, es decir, el periodo Reciente, la superficie del gran lago se redujo, desintegrándose en cinco remanentes lacustres someros, de los cuales sólo dos sobreviven en los inicios del siglo XXI: el de Zumpango y el artificial llamado Nabor Carrillo en el exlago de Texcoco⁽²⁾.

Estructura urbana y población

“Una descripción a manera de bosquejo de la gran México-Tenochtitlan, funda en 1324 en un pequeño islote, nos presenta la ciudad en un esquema central cuyo núcleo era el Templo Mayor. De él partían, con simetría radial y hacia los cuatro puntos cardinales, las principales calzadas. El acceso a la ciudad se hacía principalmente por agua, pero había varias calzadas que la comunicaban con tierra firme que, además de utilizarse para el tránsito, cumplían tres importantes funciones: servían de diques para regular el nivel de las aguas, de acueductos y para la defensa. Además, había otras vías secundarias, de tierra, de agua (acequias) y muchas veces mixtas, en las que corría un canal al lado del camino.

La ciudad tenía una superficie aproximada de 15 km² (unas 1,500 hectáreas aproximadamente), con una longitud de 3.7 km en su eje mayor de norte a sur (de las actuales calles de Manuel González y Eje 2 Norte en Tlatelolco, a Chimalpopoca en la colonia de los Doctores) y de 2.9 km en el eje menor, de oeste a este (de la calle de Zarco a las avenidas del trabajo y Eduardo Molina). Dentro de esta superficie había una población de cerca de 60,000 habitantes, con una densidad de 4,000 personas por kilómetro cuadrado.

La densidad de las edificaciones era menor en el centro de la ciudad, ya que la nobleza ocupaba grandes predios con áreas enjardinadas. En el anillo que rodeaba inmediatamente a este centro habitaba el grueso de la población urbana, estando especialmente poblada la zona de los barrios ubicados al sur del mercado de Tlatelolco y al norte del centro ceremonial de Tenochtitlan. A su llegada Hernán Cortés calculó aproximadamente en 60,000 el número de casas, considerando posiblemente la abundante población esparcida en las pequeñas comunidades chinamperas que había en el lago a corta distancia de la isla principal, como por ejemplo Popotla, Mixiuhca o Iztacalco⁽³⁾.

“En el siglo XVII, la Ciudad de México pierde el esquema radial de la isla de Tenochtitlan, convirtiéndose en una península sobre el lago con calles reticulares y manzanas de forma rectangular que sólo ocasionalmente se rompen por el curso irregular de alguna acequia. Las casas se agrupan en bloques compactos, en contrapunto con los espacios abiertos de algunas plazas.

(2) Mooser Hawtree, Federico. 2000. “La Ciudad de México en el fin del segundo milenio. Estructura geológica”. México.

(3) Lombardo de Ruiz, Sonia. 2000. “La Ciudad de México en el fin del segundo milenio. Evolución de México-Tenochtitlan”. México.

El núcleo central sigue siendo la Plaza Mayor, donde predomina la Catedral como el edificio más alto de la ciudad; el extenso Palacio de los Virreyes ocupa todo el lado oriente; en la parte sur, al borde de la acequia, estaban unos portales comerciales y las casas de cabildo; en el extremo poniente, más comercios y al centro una fuente que daba servicio a los puestos del mercado existente.

El tipo de vivienda colectiva, conocida como vivienda, tuvo sus inicios durante el siglo XVII. Era un conjunto de viviendas en torno a uno o varios patios, generalmente de dos pisos, que eran ocupadas por familias de diversos niveles sociales. De una población urbana de 100,000 habitantes, se estima que había más de 50,000 españoles, 40,000 mestizos y apenas 8,000 indígenas⁽⁴⁾.

“Durante el porfiriato la expansión urbana fue consecuencia del desarrollo económico experimentado por el país. La Ciudad de México se convirtió en el núcleo donde se entrecruzaban las vías del ferrocarril. Era también el centro principal de consumo, por lo que en su periferia se establecieron numerosas fábricas.

Para la primera década del siglo XX los nuevos límites de la capital eran: hacia el norte, Peralvillo y el río Consulado; al sur, el río de la Piedad; al oriente, Balbuena, y al poniente la calzada de la Verónica. La regularidad de la antigua traza reticular se rompe al formarse fraccionamientos, cuyo diseño es paralelo al Paseo de la Reforma. El crecimiento se dirigió principalmente hacia las zonas poniente y norte, con características muy diversas. Localidades como Tacuba, Tacubaya, Azcapotzalco y Guadalupe quedaron unidas al área urbana de la capital, formándose fraccionamientos en las antiguas haciendas, ranchos o potreros. Para este periodo la población del Distrito Federal creció de 541,516 habitantes en 1900 a 720,753 habitantes en 1910 (ver Cuadro 4.1.)⁽⁵⁾.

“Fue durante el periodo de 1940-1970 cuando tuvo lugar la aceleración del proceso de concentración demográfica y el crecimiento más espectacular de la Ciudad de México, producido por la expansión industrial y económica del país. Se inicia con un impulso sin precedente en la dinámica poblacional con las tasas más altas registradas (de 5.53% anual entre 1940 y 1950) y continúa con tasas superiores a 3.5% hasta 1970. La dinámica demográfica activada durante este lapso hizo que la población del Distrito Federal alcanzara en 1970 los 6.8 millones de habitantes y que a lo largo de la década de los setenta se incrementara en un promedio de 148,603 habitantes por año.

(4) Lombardo de Ruiz, Sonia. 2000. “La Ciudad de México en el fin del segundo milenio. Institucionalización de la vida colonial, 1600-1750”. México.

(5) Morales, María Dolores. 2000. “La Ciudad de México en el fin del segundo milenio. Expansión urbanística entre 1855 y 1910”. México.

Cuadro 4.1. Población Total por unidades Territoriales, 1900-1940

Unidad Territorial	1900	1910	1921	1930	1940
Población de A	13,607,272	15,160,369	14,334,780	16,552,722	19,653,552
Población de B	541,516	720,753	906,063	1,229,576	1,757,530
Porcentaje B/A	3.98	4.75	6.32	7.43	8.94
Tasa de crecimiento de A	-	1.09	-0.50	1.72	1.77
Tasa de crecimiento de B	-	2.9	2.08	3.68	3.71

A: República Mexicana

B: Distrito Federal

FUENTE: INEGI, 2000

El grado máximo de concentración poblacional se alcanzó hacia 1970, cuando 14.3% de los mexicanos se encontraban viviendo en el Distrito Federal. El momento de inflexión en la tendencia concentradora lo marca la disminución de esta proporción, que lentamente se ha reducido a 12.5% en 1980, 10.3% en 1990 y a 8.8% de la población nacional en el 2000⁽⁶⁾.

Fue en los años ochenta cuando por primera vez la tasa de crecimiento de la Ciudad de México, se ubica por debajo de la del país, anunciando con esto el final del ciclo de concentración poblacional en la capital y el inicio de una fase de estabilización en su dinámica demográfica (ver Cuadro 4.2.).

“Actualmente y de acuerdo con el Programa General de Desarrollo del DF (1997) en el Distrito Federal el suelo urbano se distribuye de la siguiente manera: 51.8% es para uso de vivienda; 21.0% corresponde a uso mixto (comercio y vivienda); 10.0% a recreación y espacios abiertos; 8.8% a equipamiento; 4.8% a industria y comercio, y el 3.4% a vialidades primarias. Lo anterior es resultado de dos tendencias principalmente: durante la última década la vivienda pasó de ocupar 27,197 hectáreas a 36,840 y la industria y comercio de 2,936 a 3,433 hectáreas⁽⁷⁾.”

(6) Negrete Salas, María Eugenia. 2000. “La Ciudad de México en el fin del segundo milenio. Dinámica demográfica”. México.

(7) Grajales, Gabriela. 2000. “La Ciudad de México en el fin del segundo milenio. Uso del suelo y conformación territorial”. México.

Cuadro 4.2. Población Total por unidades Territoriales, 1950-2000

Unidad Territorial	1950	1960	1970	1980	1990	2000
Población de A	25,789,626	34,923,129	48,225,238	66,846,833	81,249,645	97,361,711
Población de B	3,050,442	4,870,876	6,874,165	8,360,192	8,351,045	8,591,309
Porcentaje B/A	11.83	13.95	14.25	12.51	10.28	8.82
Tasa de crecimiento de A	2.69	3.07	3.40	3.20	2.02	1.55
Tasa de crecimiento de B	5.53	4.78	3.64	1.91	-0.01	0.28

A: República Mexicana

B: Distrito Federal

FUENTE: INEGI, 2000

La mayor dotación de servicios en la ciudad se ubica actualmente al poniente y al sur poniente, lo que origina que en cantidad y calidad los mayores desarrollos residenciales se ubican en esa zona. Por consiguiente hacia el oriente y sur oriente proliferan los usos habitacionales de los grupos de menores ingresos. Para el DF las mejores opciones de crecimiento son sobre su zona urbanizada actual, por saturación de baldíos y la redensificación de áreas ocupadas vía la demolición de antiguas casonas y la construcción de apartamentos de interés social.

4.2. Desarrollo conceptual de la aplicación

El objetivo del presente trabajo es plantear y ejecutar un análisis de riesgo sísmico a posteriori en zonas urbanas del Distrito Federal, mediante la implementación la metodología de los Sistema de Información Geográfica. El trabajo espera contribuir con el estudio de la problemática de riesgo sísmico en el DF, e integrarse posteriormente a la producción de información básica en el manejo y gestión de riesgos.

El modelo del análisis de riesgo plantea la necesidad de llevar a cabo un planteamiento de carácter espacial, tanto de los factores que configuran a la amenaza sísmica, como de los relacionados con los patrones de vulnerabilidad de la zona de estudio, con el fin de poder identificar los diferentes niveles de riesgo, integrando los diferentes niveles de información cartográfica de la amenaza y la vulnerabilidad.

El análisis de riesgo sísmico a posteriori, que realizaremos en este trabajo, se refiere al ejercicio analítico de predicción a futuro a partir de la evaluación y el análisis de eventos

extremos sucedidos en el pasado. A través de las componentes espaciales de la amenaza y la vulnerabilidad y mediante la implementación de un escenario de riesgo, podremos predecir cuales serian los daños humanos y materiales de un probable sismo de magnitud similar a los ocurridos en septiembre de 1985 en la Ciudad de México.

El análisis de riesgo a posteriori, abordado con un carácter espacial, permite atender tanto el espacio de los procesos sociales como el de los físicos, identificando los tipos y los niveles del daño de posibles pérdidas futuras, mediante el análisis de un evento extremo conocido que se haya sucedido en el pasado. Una manera eficiente de obtener un resultado exitoso en el análisis de riesgo es utilizar un instrumento esencialmente analítico como los son los Sistemas de Información Geográfica, los cuales nos permiten realizar sobre de ellos tanto el trabajo conceptual como los procedimientos para conocer, seleccionar e incorporar la información suficiente para la implementación de un escenario de riesgo.

Así pues en este trabajo se pretende la conjunción de dos temas; el análisis espacial y el riesgo, que son dos temas que vistos en relación abarcan un importante contenido estratégico. Agregado a lo anterior, la consideración de la metodología de los SIG, como un instrumento para la conceptualización de estos temas, se vuelve una herramienta necesaria para referir la problemática de los riesgos. El análisis de riesgo sísmico a posteriori en zonas urbanas del Distrito Federal se considera como un esfuerzo inicial donde el análisis de las amenazas, la vulnerabilidad y el riesgo se auxiliarán de la metodología de los SIG tanto para su conceptualización como para la implementación de un modelo en el que se muestre un escenario con la zonificación de riesgo sísmico para el Distrito Federal.

El análisis de la amenaza se realizará a partir de un mapa de peligro sísmico, generado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM y publicado en la página de internet del Sistema Geológico Metropolitano del Instituto de Geología de la UNAM, en dicho mapa se muestran zonificaciones de peligro sísmico para edificaciones de uno a tres niveles, sin duda los que mayormente constituyen el paisaje urbano dentro de la zona de estudio.

El análisis de la vulnerabilidad se llevará a cabo mediante la evaluación de las diferentes dimensiones de la vulnerabilidad mediante el análisis de aquellas condiciones de susceptibilidad y recuperación, según las diferentes características de los diferentes grupos sociales. La evaluación de las diferentes dimensiones de la vulnerabilidad, se realizará mediante la ayuda de diferentes capas de información cartográfica digital, como el catastro, AGEBS, imágenes de satélite, etc. Lo anterior se realizará tratando de hacer explícito la existencia de vulnerabilidades locales muy específicas para los diferentes grupos sociales.

Desde esta perspectiva, tanto el análisis de las amenazas y de la vulnerabilidad nos permitirán, mediante la conceptualización de un SIG basado en el análisis a posteriori de un evento sísmico extremo, encontrar los indicadores precisos mediante los cuales se podrá elaborar un escenario de posibles riesgos para un sismo de magnitud similar a los

ocurridos durante septiembre de 1985 en la Ciudad de México. El modelo de riesgo que se desea implementar en este trabajo considera que el riesgo es el producto de la amenaza y la vulnerabilidad, es decir, el valor de riesgo de una zona, estará determinado por el producto de los valores de amenaza y vulnerabilidad, que tengan asignada determinada sección del área de estudio. El valor de la amenaza está determinado por los valores de peligro sísmico, mientras que el valor de la vulnerabilidad, estará determinado por la sumatoria de las diferentes dimensiones de la vulnerabilidad evaluadas, en donde las diferentes dimensiones de acuerdo con sus características propias, tendrán diferentes pesos, en el valor total de la vulnerabilidad. Lo anterior nos permitirá elaborar un escenario de riesgo, en el que se muestre una verdadera zonificación de zonas de riesgo sísmico, producto del análisis a detalle de las componentes del riesgo.

4.3. Sistema geográfico de referencia

Para tener una adecuada precisión del análisis espacial de riesgo sísmico durante la realización de este trabajo y que por consiguiente, la validez de las decisiones tomadas como resultado de esos análisis sea la correcta, es necesario recordar que la selección de un adecuado sistema geográfico de referencia permitirá tener mayor calidad en los datos espaciales usados. Por tanto, es importante desde un principio definir que todas las decisiones que se tomen con base en el análisis espacial efectuado en los conjuntos de información cartográfica, utilizados durante la elaboración de este trabajo, estén referidos a un sistema cartográfico común.

“La forma real de la Tierra es compleja y todavía no existe ninguna expresión matemática que la defina con la debida precisión. Sin embargo, su conformación periferal denominada geoide tiene una superficie rigurosamente perpendicular a la dirección de la plomada y de más cercana similitud a la configuración de nuestro planeta. Con el objeto de acercarse más a esta última figura y su comparación con la Tierra, se dispone de elipsoides; éstos son elipses, con radios ecuatoriales mayores al de los polares, que al rotarlos o girarlos sobre su eje polar producen esta figura elipsoidal”⁽⁸⁾.

En México durante muchos años, el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) adoptó como Sistema Geodésico de Referencia el Datum Norteamericano de 1927 o NAD27, referido al elipsoide de Clarke de 1886, definido en las Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos publicadas el 1 de abril de 1985 en el Diario Oficial de la Federación. Los principales parámetros del Datum NAD27 son los siguientes:

(8) Caire Lomelí, Jorge. 2002. "Cartografía básica". México.

Cuadro 4.3. Datum NAD27

Parámetros del Datum NAD27. Elipsoide de Clarke de 1886	
Parámetro	Valor (metros)
a (Radio Ecuatorial)	6 378 206.4
b (Radio Polar)	6 356 583.8
1/f (Recíproco del Achatamiento)	294.978698

FUENTE: INEGI, 1985

Sin embargo, actualmente el desarrollo de la cartografía formal y de los grandes proyectos de ingeniería, requieren un marco de referencia que permita definir inequívocamente y con precisión los diversos rasgos, detalles y obras de interés, que de acuerdo con el desarrollo tecnológico de nuestra época, los nuevos instrumentos, tecnologías de medición y análisis computacional, ha obligado a evolucionar la concepción de la Geodesia y de los resultados que de ella se esperan. Ya que esta ciencia ha superado en mucho su base geométrica inicial y se desenvuelve hoy en día en un contexto de entornos físico-dinámicos fundamentales y ha pasado de la bidimensionalidad a la tridimensionalidad.

Por tanto, las técnicas de medición contemporáneas se inscriben ahora en un entorno dinámico-espacial que permite resultados muy precisos en tiempos relativamente cortos en comparación con los métodos tradicionales, en particular el Sistema de Posicionamiento Global (GPS: Global Positioning System), que en la década de los noventa ha venido a revolucionar la tecnología de medición geodésica, sustituyendo ventajosamente a los métodos de posicionamiento astronómico, triangulación, poligonación y doppler, aplicados hasta fechas recientes para conformar la Red Geodésica Nacional.

Los modernos equipos de medición disponibles en la actualidad, tales como distanciómetros electromagnéticos y de posicionamiento vía satélite, han superado en por lo menos un orden de magnitud la precisión del Datum NAD27, por tal motivo el INEGI tomo la decisión en 1998 de publicar un acuerdo que reforma y adiciona las Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos, publicadas el 1 de abril de 1985. En el que se introduce un nuevo Sistema Geodésico de Referencia, el cual es un sistema de coordenadas geocéntrico tridimensional, que se toma como base para cubrir todas las necesidades geodésicas y cartográficas a nivel nacional.

El marco de referencia seleccionado es el Marco de Referencia Terrestre Internacional de 1992 o ITRF92 del Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS: International Earth Rotation Service), referido a la época 1988. La superficie geométrica seleccionada es el elipsoide del Sistema de Referencia Geodésico de 1980 (GRS80: Geodetic Reference System). Los principales parámetros del Datum ITRF92 son los siguientes:

Cuadro 4.4. Datum ITRF92

Parámetros del Datum ITRF92. Elipsoide del GRS de 1980	
Parámetro	Valor (metros)
a (Radio Ecuatorial)	6 378 137.0
b (Radio Polar)	6 356 752.3
1/f (Recíproco del Achatamiento)	298.257222

FUENTE: INEGI, 1998

La implementación de este Datum geocéntrico permite la integración de toda la información geodésica, de levantamientos de ingeniería, de cartografía y de los sistemas de información de tierras de México en un marco moderno y consistente con las precisiones actualmente alcanzables con el Sistema de Posicionamiento Global (GPS: Global Positioning System). La ejecución del sistema de referencia espacial se efectuó en cooperación con el National Geodetic Survey (NGS) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) por medio de una serie de proyectos GPS coordinados. Como resultado, México estableció 14 bases GPS permanentes (estaciones de orden A), de las cuales se propagó la red GPS de orden B, de menor exactitud. Así, el INEGI garantiza que, durante muchos años, se cubrirán los requerimientos de las operaciones geodésicas y cartográficas modernas en México.

No obstante, en el país aún no es posible acceder totalmente a las herramientas técnicas que nos permitan transformar la información digital al Datum ITRF92. El INEGI, por ejemplo ha desarrollado un programa, el TRANINV, para transformar valores de coordenadas geodésicas curvilíneas referidas al sistema NAD27 al nuevo Sistema Geodésico de Referencia ITRF92 o viceversa. Sin embargo, dicho programa no tiene la capacidad para transformar información de tipo raster, con lo que resulta imposible hacer la transformación de las imágenes de satélite. Aunque actualmente algunos de los paquetes de software, para el manejo y la manipulación de información cartográfica en formato digital, comercializados en México, en sus últimas ediciones, ya incluyen la transformación al Datum ITRF92, los paquetes en sus versiones más utilizadas, como el caso del ARCVIEW de ESRI versión 2.3, aún no cuentan con esta herramienta de transformación. Además de lo anterior, en el país aún no se cuenta con una gran cantidad de información cartográfica en formato digital disponible, ni en el antiguo Datum NAD27, ni mucho menos en el actual ITRF92, esto debido a que existe una gran cantidad de trabajo atrasado de producción, digitalización y actualización de la información cartográfica del país.

Como lo hemos visto con el caso mexicano, debido principalmente a razones históricas, cada país tiene su propio sistema geodésico de referencia, con el que es posible elaborar la red geodésica de cada país. No obstante, existe un sistema de referencia global, el WGS84, el cual está definido por un sistema de parámetros primarios y secundarios:

- **Parámetros Primarios.** Definen la forma de un elipsoide de la Tierra, entre otros parámetros, los radios ecuatorial y polar, la velocidad angular, y la masa de la tierra, todos estos parámetros incluidos en la referencia del elipsoide.
- **Parámetros Secundarios.** Definen un modelo detallado de la gravedad de la tierra.

Estos parámetros adicionales son necesarios porque el Datum WGS84 se utiliza no solamente para definir coordenadas a la hora de realizar mediciones sobre la superficie terrestre, sino, por ejemplo, también para determinar las órbitas de los satélites de la navegación del Sistema de Posicionamiento Global (GPS: Global Positioning System).

El Datum del Sistema Geodésico del Mundo de 1984 Global o WGS84 Global, referido a la época de 1984, está definido por la superficie geométrica seleccionada con el mismo nombre, el elipsoide del Sistema Geodésico del Mundo 1984 (WGS84: World Geodetic System). Los principales parámetros del Datum WGS84 Global son los siguientes:

Cuadro 4.5. Datum WGS84

Parámetros del Datum WGS84 Global. Elipsoide del WGS de 1984	
Parámetro	Valor (metros)
a (Radio Ecuatorial)	6 378 137.0
b (Radio Polar)	6 356 752.3
1/f (Recíproco del Achatamiento)	298.257223

FUENTE: U. S. Defense Mapping Agency, 1987

El marco de referencia WGS84 es consistente con el Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF). Las diferencias entre el WGS84 y el ITRF están en la gama del centímetro por todo el mundo. Dada pues la situación de contar con toda la información disponible en un mismo sistema geográfico de referencia, se ha tomado la decisión de tomar el Datum WGS84 como el sistema de referencia ha utilizar durante la elaboración del presente trabajo. Otro punto a considerar es que la mayoría de las imágenes disponibles para el país, están referidas al Datum Global WGS84, por lo que realizar una transformación a otro Datum Local representa una degradación en la calidad de la información digital de la imagen. Por otra parte los paquetes de software comercial para la manipulación de la información cartográfica digital, sí manejan las transformaciones, tanto en formato raster como en formato vector, al Datum WGS84, con lo que se garantiza que toda la información esté referida a un mismo sistema geográfico de referencia.

Por lo que respecta al Sistema de Proyección Cartográfica, será utilizada la Proyección Cartográfica Universal Transversa de Mercator UTM. Esta proyección es la que se utiliza en México a través de las diferentes dependencias generadoras de cartografía.

“En la proyección UTM se utiliza el cilindro para proyectar en condición de secante, como superficie auxiliar extensible, con secciones rectas elípticas que guardan proporcionalidad con los parámetros del elipsoide adoptado. En esta proyección, la Tierra se ha dividido en 60 zonas meridianas de 6° de longitud, para cada una de estas zonas se establece un meridiano central, así por ejemplo, la zona del meridiano de Greenwich de 0° hasta 6° de longitud lo controla el Meridiano Central de 3°. La numeración de las zonas comienza con el número 1 para la zona comprendida entre los meridianos 180° W a 174° W y continúa hacia el Este en numeración consecutiva hasta llegar al número 60 que corresponde a la zona situada entre los meridianos 174° E a 180° E. los límites en latitud de la proyección van de 80° N a 80° S. La proporcionalidad que guardan el elipsoide y el cilindro está dada para que el meridiano central tenga un factor de escala de 0.9996 y a 180,000 metros en la dirección Este y Oeste se encuentran los elipses de contacto donde el factor de escala es 1.0000. La proyección UTM es una proyección conforme, por lo que los ángulos medidos en ella o los cálculos en función de las coordenadas de la cuadrícula, se aproximan a sus valores verdaderos” (9).

Para el caso del DF la zona meridional corresponde al número 14, con el meridiano central en los 99° de longitud. La falsa ordenada es de cero metros en el ecuador hacia el hemisferio norte, la falsa abscisa es de 500,000 metros para el meridiano central coincidiendo con el norte geográfico, y un factor de escala de 0.9996 en el meridiano central.

4.4. Metodología de trabajo

El modelo que se viene planteando busca integrar el concepto de riesgo como el producto del componente de la amenaza y el componente de la vulnerabilidad. Inicialmente se incorporará al modelo el planteamiento del modelo conceptual del riesgo y se analizarán por separado la amenaza y la vulnerabilidad, con el objeto de que al final se podrá integrar un escenario de riesgo sísmico, mediante el análisis a posteriori de las variables seleccionadas con anterioridad.

Debido a que la información que se va a incorporar al modelo, tiene diversas y diferentes características, ya que se trata tanto de información estadística como de información digital, tanto en formato raster como en formato vector y las escalas de cada uno de las capas de información cartográfica, es también variada; aunque alguna parte de la información presenta una escala más grande, se pretende que la escala de trabajo sea de 1:50 000, lo anterior debido a que la información utilizada para la caracterización de la amenaza sísmica presenta dicha escala. En tanto que la escala de impresión para toda la información generada como resultado del análisis de riesgo sísmico será de 1 : 250 000 en todos los casos, debido al formato tamaño carta seleccionado para la impresión del presente trabajo.

(9) Idem (8)

Tanto la evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el análisis a posteriori de riesgo sísmico, se realizarán con la ayuda de diversos paquetes de software comercial, entre los que se encuentran **ARCVIEW** de **ESRI** versión 3.1, **ARCINFO** de **ESRI** versión 8.0, **PCI** de **GEOMATICA** versión 8.1, **ERDAS** versión 8.4, **IDRISI** en sus versiones 2.0 y 3.2, **AUTOCADMAP 2000** de **AUTODESK**, entre otros.

Con lo anterior se pretende crear un puente, con el que sea posible transformar la información, tanto de un formato raster a formato vector, como tener a posibilidad de manipular la información de una extensión a otra con el fin de encontrar y utilizar los mejores procesos que todo el software disponible pueda ofrecer. Esto sin duda permitirá obtener un producto de características híbridas con una mayor capacidad para realizar todas las operaciones de análisis espacial planteadas en el modelo cartográfico que se pretende implementar para el análisis de riesgo sísmico a posteriori en zonas urbanas del Distrito Federal.

CAPITULO 5. Implementación del SIG para el análisis de riesgo sísmico en zonas urbanas del DF

“Los modelos son para usarse, no para creerse”

Tiell

5.1. Modelo de riesgo sísmico

El éxito o el fracaso que se tenga con el manejo de riesgos, está muy relacionado con el concepto que de él se tenga, de cómo se produce, de qué factores lo generan e influyen en su ocurrencia. En otras palabras, se trata de plantear explícitamente el modelo conceptual de riesgo sísmico con el cual se pretende trabajar. El presente trabajo de Análisis de Riesgo Sísmico en Zonas Urbanas del DF, enmarcado dentro de la metodología de los Sistemas de Información Geográfica, se presenta como un ejercicio de Análisis Espacial con el que se pretende realizar un escenario de riesgos, mediante la simulación de un análisis de riesgo sísmico a posteriori.

Como ya hemos dicho con anterioridad, con la metodología de los Sistemas de Información Geográfica, es posible elaborar una respuesta informativa y analítica que apoye a las tareas de Análisis Espacial, mediante la elaboración de un modelo de la realidad en donde se representan objetos, atributos, relaciones o procesos del espacio geográfico, el cual está formado por una dimensión temporal y otra espacial.

Por otro lado, mediante la simulación de un análisis de riesgo sísmico a posteriori, se pretende reproducir la estructura espacial del fenómeno simulado, sin que

necesariamente los datos obtenidos sean los ocurridos en el pasado, ya que se realiza una simulación de tal forma que se obtengan copias, que tengan el mismo comportamiento estructural del fenómeno sísmico, pero que al construir dichas copias del sismo ocurrido en la Ciudad de México en el año de 1985, se puedan traer a la actualidad los posibles riesgos que podría causar un fenómeno ocurrido en el pasado, sobre las estructuras y la población que actualmente habitan en la ciudad.

Con los Sistemas de Información Geográfica como metodología y la simulación del análisis de riesgo sísmico a posteriori, se puede elaborar un modelo de riesgo sísmico que haga referencia al carácter espacial de sus dos componentes. Dicho modelo será una manera eficiente de hacer inferencia sobre el riesgo que un fenómeno sísmico de magnitud similar a los ocurridos durante septiembre de 1985, puedan ocasionar sobre el Distrito Federal.

El problema del riesgo sísmico en relación con el Análisis Espacial podría suponer la puesta en juego de una variable más para aplicar dicho análisis, esto no es necesario, ya que aquí el riesgo es planteado como un concepto del análisis espacial, en tanto que se sucede en el espacio geográfico. En este trabajo el modelo de riesgo sísmico que vamos a usar se puede expresar así:

$$\text{Riesgo sísmico} = \text{Amenaza Sísmica} * \sum (\text{Dimensiones de la Vulnerabilidad})$$

Por **Riesgo Sísmico**, vamos a entender la posible ocurrencia de daños, de diferente magnitud, que resulten de un fenómeno sísmico sobre un espacio geográfico vulnerable a dicho fenómeno.

Como **Amenaza Sísmica**, entendemos el peligro latente que representa la posible manifestación, dentro de un periodo de tiempo, de un fenómeno sísmico peligroso, capaz de producir efectos adversos en las personas, las construcciones, los bienes y servicios de una población.

Por **Vulnerabilidad**, vamos a denotar la susceptibilidad de un espacio geográfico a ser afectado por un fenómeno sísmico, expresada en su incapacidad para adaptarse a cambios que incorporan la probabilidad de cierto daño. En este trabajo la vulnerabilidad es evaluada como la sumatoria de sus diferentes dimensiones; entre las más importantes mencionamos las dimensiones física, económica, social, política y cultural entre otras.

El riesgo sísmico en este trabajo se refiere a un concepto que totaliza la posibilidad de ocurrencia del fenómeno sísmico y en esos términos las categorías de amenaza y vulnerabilidad están comprendidas por dicha totalidad. La ecuación aquí mostrada presenta un valor de manipulación en términos matemáticos. Su expresión cualitativa se puede expresar mediante la relación multiplicadora. La definición de cada una de las variables de las categorías eventualmente puede concretar además de los aspectos de extensión cuantitativa, el aspecto de intención cualitativo.

Uno podría asumir que a diferencia de otros procesos, los fenómenos sísmicos tienen un ritmo de espacialidad más estable y de más larga duración. Caracterizar en estos términos al riesgo sísmico y utilizar una herramienta esencialmente analítica como los Sistemas de Información Geográfica, tiene implicaciones diversas para la consideración del riesgo.

5.2. Análisis de la amenaza

Debido a que no es posible producir con toda la certeza la manifestación de futuros terremotos, no puede modelarse el fenómeno sísmico en una forma simple y determinista. Sin embargo, con base en el análisis estadístico de terremotos ocurridos en el pasado y su aceleración estimada para diferentes sitios de terremotos en el pasado y su aceleración estimada para diferentes sitios, se puede obtener la probabilidad de ocurrencia de ciertas aceleraciones en el futuro. “El peligro sísmico, referido a un lugar determinado de la Tierra, es la probabilidad de que, en algún lugar de su entorno y dentro de un intervalo de tiempo determinado, ocurra un sismo que produzca un efecto determinado en ese lugar (generalmente, una aceleración dada). Usualmente no se toman en cuenta para el cálculo del peligro sísmico, los posibles efectos de amplificación local, directividad, etc., que puedan modificar los efectos esperados de un terreno estándar”⁽¹⁾.

5.2.1. Amenaza sísmica

“La amenaza sísmica se cuantifica en términos de los periodos de retorno (o su inverso, la tasa de excedencia) de alguna medida del movimiento del terreno como puede ser la máxima aceleración del terreno (A_{max}) o en general, las intensidades sísmicas relevantes en el comportamiento de las estructuras (S_a). La tasa de excedencia de esta medida de movimiento se define como el número medio de veces, por unidad de tiempo, en que el valor de esa intensidad sísmica es excedida.

El peligro sísmico podría determinarse directamente, si en un tiempo suficientemente largo, se contara el número de veces en que se ha excedido algún valor dado de intensidad en un sitio de interés. Esta determinación directa, sin embargo, rara vez es posible debido a que no se dispone de catálogos completos de las aceleraciones que se han sido producidas en un sitio, por causa de sismos pasados.

Por lo anterior, resulta necesario calcular el peligro sísmico de manera indirecta, mediante la evaluación de la tasa de actividad sísmica en las fuentes generadoras de temblores, e integrando posteriormente los efectos que producen en un sitio dado, los sismos que se generan en la totalidad de dichas fuentes. Se considera que las

(1) Garza, Gustavo. 2000. “La Ciudad de México en el fin del segundo milenio”. México.

intensidades sísmicas relevantes en el comportamiento estructural son las ordenadas del espectro de respuesta (S_a), cantidades que son aproximadamente proporcionales a las fuerzas laterales de inercia que se generan en las estructuras durante sismos y que dependen de la propiedad dinámica estructural conocida como el periodo natural de vibración (T). Así, el peligro sísmico se expresa en términos de la tasa de excedencia de algún valor dado de dicha intensidad sísmica.

La actividad de una fuente sísmica se especifica en términos de la tasa de excedencia de las magnitudes, $\lambda(M)$ que ahí se generan. La tasa de excedencia de magnitudes mide que tan frecuentemente se generan en una fuente temblores con magnitud superior a una dada. Una expresión para $\lambda(M)$ se presenta en el trabajo de Ordaz y Reyes (1999), compuesta en términos de la magnitud mínima relevante (M_o), la media anual del número de sismos de magnitud mayor a (M_o) y la magnitud máxima posible en la fuente (M_u).

Una vez determinada la tasa de actividad de cada una de las fuentes sísmicas, es necesario evaluar los efectos que, en términos de intensidad sísmica, produce cada una de ellas en un sitio de interés. Para ello se requiere saber que intensidad se presentaría en el sitio en cuestión, hasta ahora supuesto en terreno firme, si en una fuente ocurriera un temblor con una magnitud dada. A las expresiones que relacionan magnitud, posición relativa fuente-sitio e intensidad se les conoce como leyes de atenuación. Usualmente la posición relativa fuente-sitio se especifica mediante la distancia focal, es decir, la distancia entre el foco sísmico y el sitio⁽²⁾.

5.2.2. Efectos de sitio en el DF

“El efecto del tipo de suelo sobre la amplitud y la naturaleza de las ondas sísmicas ha sido reconocido desde mucho tiempo antes, y se le considera un punto crucial en la estimación de la amenaza sísmica. Lo anterior es particularmente importante en el DF, en donde las amplificaciones por la geología local son notables.

El movimiento del terreno se estima en términos de las ordenadas del espectro de respuesta de pseudo aceleraciones. En el modelo un sismo se define por su magnitud y distancia focal al DF. Dadas una magnitud y una distancia, es posible estimar el espectro de respuesta de aceleraciones (ER) por medio de regresiones semiempíricas. Se supone que el movimiento en el sitio de referencia es una medida de la excitación sísmica en los sitios medidos.

La Ciudad de México cuenta con alrededor de cien sitios dotados de instrumentos de registro de movimiento fuerte o acelerómetros, agrupados en la Red Acelerométrica de la Ciudad de México (RACM). Para caracterizar la respuesta en sitios instrumentados como en el caso de la Ciudad de México, se utilizan cocientes de espectros de respuesta

(2) Nava, Alejandro. 2000. "Terremotos". México.

promedio (CER), los cuales se interpretan como funciones de transferencia entre cada sitio instrumentado y el sitio de referencia. Dichos cocientes espectrales se pueden calcular analizando registros obtenidos por la RACM durante sismos previos. Aunque los CER no tienen un significado físico, se han utilizado con éxito para reproducir los espectros de respuesta de sitios en zonas de suelo blando de la Ciudad de México, a partir de espectros de respuesta en sitios de terreno firme.

Los sismos utilizados para los cocientes abarcan muchas magnitudes y distancias focales, lo que permite tomar en cuenta directamente los efectos en la amplificación del movimiento debido a estos factores. Los cocientes de espectros de respuesta promedio, sólo pueden estimarse para los sitios instrumentados en que se hayan obtenido registros sísmicos, sin embargo, se necesita un CER en cada sitio para el que se requieran estimar los valores de intensidad sísmica o (S_a); estos puntos en general, no coinciden con los puntos instrumentados. Para obtener los cocientes en cualquier sitio de la ciudad se debe utilizar un procedimiento de interpolación que debe de seguir las siguientes consideraciones: primero, las abscisas de Funciones de Transferencia Empírica (FTE) en puntos instrumentados deben normalizarse con respecto al periodo dominante del sitio. La información acerca de los periodos dominantes es obtenida usando técnicas de microtemblores, sondeos geotécnicos y registros de movimientos fuertes. Posteriormente las FTE normalizadas se deben utilizar en una interpolación bidimensional para obtener las FTE normalizadas en sitios arbitrarios. Finalmente las FTE interpoladas deben renormalizarse con respecto al periodo dominante apropiado, para lo cual existen diferentes métodos para realizar dicha interpolación”⁽³⁾.

5.2.3. Elaboración del mapa de amenaza sísmica para el DF

“El peligro sísmico puede calcularse una vez conocidas la sismicidad de las fuentes y los patrones de atenuación de las ondas generadas en cada una de ellas, además de la suma de los efectos de la geología local. Se calcula la amenaza sísmica considerando la suma de los efectos de la totalidad de las fuentes sísmicas y la distancia entre cada fuente y el sitio donde se encuentra la zona expuesta. Se procede al cálculo del peligro $v(S_a)$ en términos de las magnitudes máximas y mínimas (M_o y M_u) consideradas en el análisis, las tasas de actividad sísmica $\lambda(M)$, y la probabilidad de que la intensidad en cuestión exceda un cierto valor, dada la magnitud del sismo y la distancia entre la fuente y el sitio.

A diferencia de utilizar los valores calculados mediante las técnicas de estimación de tasas de excedencias de intensidades sísmicas, presentadas en los trabajos de Ordaz y Reyes (1999), los mapas que se presentan en este trabajo, fueron generados por el Servicio Geológico Metropolitano (SGM) con cede en el Instituto de Geología de la UNAM, usando como datos de entrada los registros obtenidos por la RACM durante los sismos de Michoacán del 19 de Septiembre de 1985 y san Marcos del 25 de Abril de 1989.

(3) Meli, Roberto. 2002. “El sismo de 1985 en México”. México.

Para el caso de Michoacán ($M=8.1$), estos mapas indican una estimación de los valores máximos considerables para un sismo de subducción en la costa del pacífico, mientras que para el caso de San Marcos ($M=6.9$), indican los mínimos considerables en el trabajo realizado por el SGM. Es importante decir, que para la generación de estos mapas, no se tomó en consideración una estadística de sismos ya ocurridos, sino las cotas inferior y superior de sismos a considerar por parte de las autoridades de Protección Civil, lo que le da al ejercicio un carácter de simulación a partir de un fenómeno ocurrido en el pasado”(4).

El mapa de amenaza sísmica que aquí se presenta, se encuentra clasificado en términos del periodo estructural, y del número equivalente de niveles (altura de los edificios), para cada rango en cuestión. Así mismo, el peligro se evalúa cuantitativamente en términos de los valores de (S_a) absolutos, así como cualitativamente en términos del peligro relativo para el periodo natural de vibración correspondiente.

5.3. Análisis de la vulnerabilidad

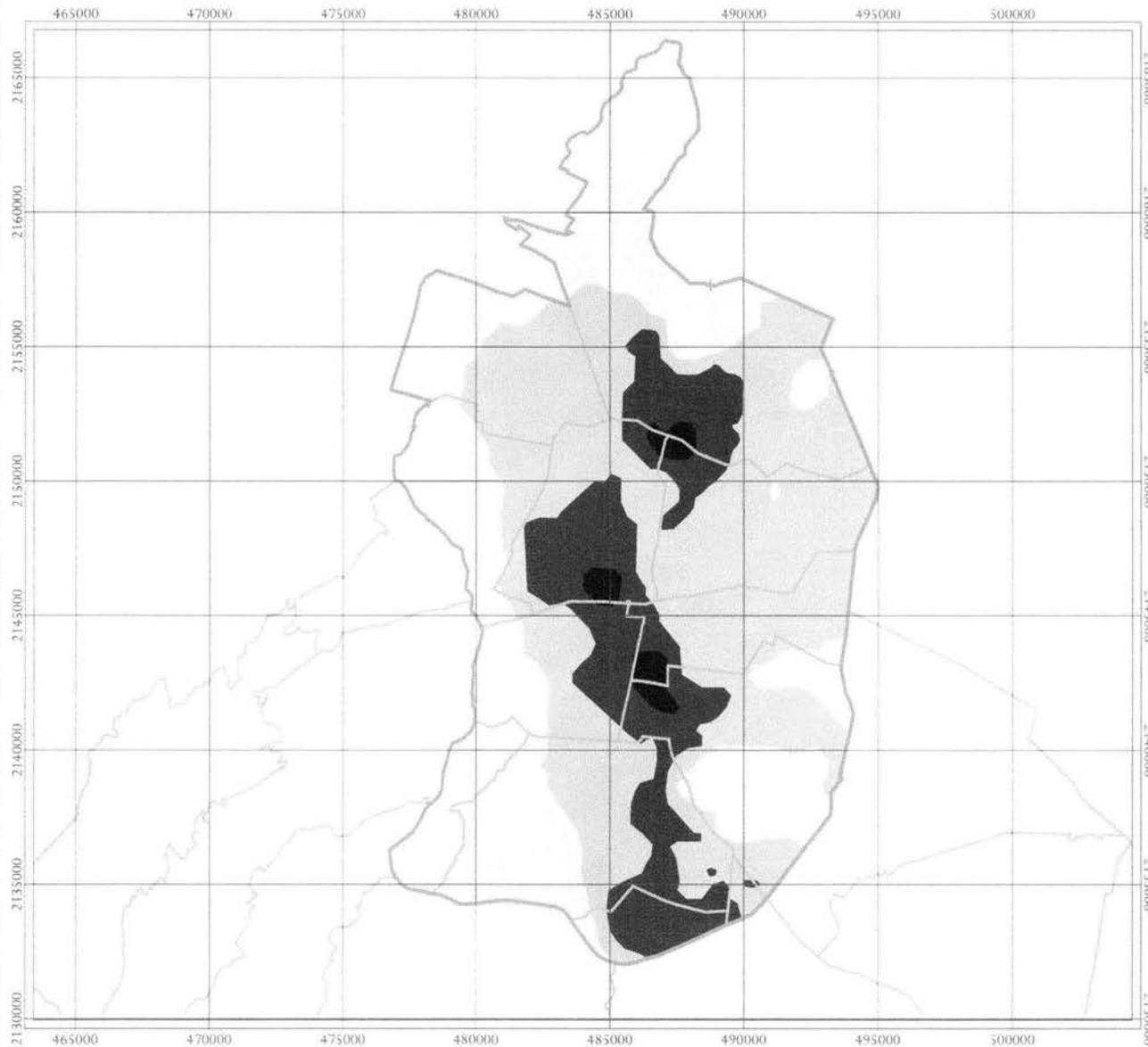
Uno de los mayores problemas dentro del análisis de riesgo, es la generación de un modelo conceptual para el análisis de la vulnerabilidad que sea factible de implementar en la realidad. Para este trabajo existe la intención de abordar el análisis de la vulnerabilidad con un enfoque más bien deductivo, el cual consiste en elegir de la mejor manera posible, las dimensiones de la vulnerabilidad. Con este enfoque, se pretende identificar una serie de variables e indicadores que puedan modelar el patrón espacial de la vulnerabilidad.

El modelo implementado en este trabajo, pretende reconocer de manera explícita la existencia de vulnerabilidades locales muy específicas, que afectan a la zona de estudio. Esta característica ofrece algunas ventajas entre las que se encuentran las de que el modelo implementado no necesariamente es generalizable, lo que permite que sea mucho menos complejo y más factible de realizarse en base a la poca información disponible. Por otra parte la mayor desventaja, por supuesto, es que el modelo implementado estará limitado a un determinado patrón de vulnerabilidad en un contexto muy específico.

Con base en la experiencia de trabajos anteriores sobre la sismicidad en la Ciudad de México, se han identificado algunos parámetros de patrón espacial de vulnerabilidad para la zona de estudio. A continuación procedo a identificar algunos indicadores que expresan cuantitativamente las variables relacionadas con el patrón espacial de la vulnerabilidad.

(4) Servicio Geológico Metropolitano. 2002. "Sismicidad y peligro sísmico en la Ciudad de México". México.

AMENAZA SISMICA PARA EDIFICACIONES DE 1 A 3 NIVELES



Valores de Amenaza

S_a (cm/seg^2)	Clasificación	Peso
170-201	Muy alta	4
120-170	Alta	3
70-120	Intermedia	2
0-70	Baja	1

NOTA: Amenaza sísmica para un periodo natural de vibración de 0.8 segundos

 Delegaciones



Mapa elaborado por:
Servicio Geológico Mexicano

Con colaboración de:
Instituto de Ingeniería, UNAM
Fundación Javier Barros-Sierra
CENADRE

Escala: 1:100 000
Proyección: UTM Zona 14
Datum: WGS84

Marzo de 2004



CENTROGEO

Los patrones espaciales de vulnerabilidad sísmica identificados para este trabajo son:

- Zonas que no cuenten con servicios médicos a la hora de un desastre, lo que origina un gran problema en las instituciones de salud tanto del gobierno como de los particulares (vulnerabilidad asistencial)
- Familias con bajos niveles económicos, que habitan viviendas con infraestructura inadecuada, lo cual incide en su capacidad de mitigación y recuperación a los desastres sísmicos (vulnerabilidad económica).
- Edificaciones ubicadas en zonas propensas a la amenaza sísmica, dependiendo del valor del periodo natural de vibración (vulnerabilidad física).
- Áreas con una alta densidad de población y de construcción, lo que origina deficiencias en los niveles organizativos a la hora de un desastre (vulnerabilidad social).

El paso siguiente, dentro de este análisis de vulnerabilidad, consiste en encontrar una serie de indicadores cuantitativos susceptibles de ser especializados de manera que representen a los patrones previamente definidos. De una primera revisión de la información disponible sobre estos posibles indicadores, el principal problema consistió espacializar la información disponible, de tal manera que representara de forma cuantitativa la información en los indicadores. Otra limitación, es el nivel de resolución que tienen algunos de los indicadores involucrados en el análisis. Debido a que en este trabajo la vulnerabilidad está conceptualizada como una suma, se optó por utilizar la misma unidad geográfica para las cuatro dimensiones de vulnerabilidad, sacrificando en algunos casos la resolución de la información disponible.

5.3.1. Dimensiones de la vulnerabilidad

Las fuentes de información utilizadas para este trabajo son principalmente, los indicadores por **AGEB** del **DF** generados por el **INEGI**, la altura de las edificaciones obtenida del catastro de la Ciudad de México y la información generada a partir de técnicas de percepción remota de una imagen de **RADARSAT** de la Ciudad de México. A partir de la información anterior, se procedió a identificar algunos indicadores que permitieran expresar de manera espacial los valores cuantitativos de las dimensiones de la vulnerabilidad involucrados en la problemática.

Al analizar la información disponible sobre estos indicadores, se buscó homogenizar la información en el sentido de que fuera posible expresar los datos con las mismas unidades geográficas, por lo que se decidió utilizar a los **AGEBs** como la unidad de representación espacial.

Cuadro 5.1. Indicadores para la vulnerabilidad

Dimensión de la vulnerabilidad	Indicador	Fuente de la información
Asistencial	Población sin derechohabiencia a servicios de salud	AGEB's
Asistencial	Hospitales públicos y privados del DF	Catastro
Económica	Población ocupada que recibe menos de un salario mínimo al día	AGEB's
Física	Niveles de construcción de las edificaciones	Catastro
Social	Densidad de población	AGEB's
Social	Densidad de construcción	Radarsat

FUENTE: Elaboración propia, 2004

Dimensión asistencial de la vulnerabilidad

En este trabajo la dimensión asistencial de la vulnerabilidad, es entendida como la falta de servicios médicos de emergencia, en caso de ocurrir un sismo.

Para poder especializar dicho concepto, fue necesario el uso tanto de la información obtenida por el catastro del DF, como de los indicadores por AGEB del INEGI. Para este caso en particular, se obtuvo de la base de datos del catastro, mediante una serie de preguntas SQL, la localización geográfica de todos los hospitales públicos y privados dentro de la zona de estudio. Con lo que fue posible determinar que AGEBs no cuentan con servicio de hospital, ya sea público o privado, dentro de sus límites. Además de lo anterior, se marcaron también como vulnerables aquellas AGEBs cuyo 50% o más de su población, no es derechohabiente a los servicios médicos que ofrece el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). Quedando como zonas vulnerables a la dimensión asistencial, aquellas AGEBs que no cuentan con hospitales dentro de sus límites y que además el 50% o más de sus habitantes no son derechohabientes del IMSS.

Dimensión económica de la vulnerabilidad

Para el caso de la dimensión económica, se buscó un indicador que representara de manera espacial la población con los menores niveles de ingreso económico. Se optó por mapear el indicador de población ocupada que recibe menos de un salario mínimo al día, marcando como vulnerables aquellas AGEBs que estuvieran por encima de la media de la zona de estudio. Para este caso la media dentro de la zona de estudio es de 117 personas por AGEB las que viven con menos de un salario mínimo al día, por lo que el

40% de las AGEBs dentro de la zona de estudio son marcadas como vulnerables a la dimensión económica.

Dimensión física de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad física está referida a la localización de las edificaciones vulnerables a un cierto tipo de amenaza; esta dimensión cuantifica las deficiencias de las estructuras de las edificaciones para absorber los efectos de la amenaza sísmica. En este trabajo está evaluada en términos del periodo natural de vibración con valor de 0.0 seg., el cual está relacionado de manera directa con la altura de las edificaciones de entre 1 y 3 niveles de construcción.

Dicha información fue generada a partir de la base de datos del catastro del DF. Debido a que la unidad geográfica de estudio son las AGEBs, se procedió a agrupar la información de los niveles de construcción, primeramente obteniendo el promedio de construcción para cada manzana, y posteriormente marcando como zonas vulnerables aquellas AGEBs cuyo 60% o más de manzanas tuviera un promedio de entre 1 y 3 niveles de construcción. Lo anterior representa una síntesis de la información obtenida a partir del catastro, representada por AGEB como un porcentaje de construcciones vulnerables a la dimensión física.

Dimensión social de la vulnerabilidad

Definida a partir de la combinación de dos variables de densidad. Por un lado la densidad de población calculada a partir del indicador de población por AGEB y el tamaño de la misma, por el otro lado la densidad de construcción obtenida mediante técnicas de percepción remota a una imagen de radar.

Para el cálculo de la densidad de población, se utilizó el indicador de número de habitantes por AGEB, dividido entre el área en kilómetros cuadrados de cada AGEB. Para la zona de estudio la media de densidad de población es de 17,981 habitantes por kilómetro cuadrado, por lo que se marcaron como vulnerables aquellas AGEBs que estuvieran por encima de la media para la zona de estudio.

La obtención de la densidad de construcción, por otro lado resultó ser un proceso mucho más elaborado, dados los métodos utilizados para su cálculo. “La percepción remota engloba no solo los procesos que permiten obtener una imagen, sino también su posterior tratamiento, en el contexto de una determinada aplicación”⁽⁵⁾. En este sentido, para este trabajo, se trabajó con una imagen de radar generada por el tipo de sensor SAR (Synthetic Aperture Radar), este tipo de sensores son sistemas coherentes que generan imágenes de alta resolución. “Para interpretar una imagen de radar es importante

(5) Chuvieco, Emilio. 2000. “Fundamentos de teledetección espacial”. España.

conocer tanto la geometría, como la radiometría de las imágenes. La primera tiene que ver con las posibles distorsiones ocasionadas por las variaciones de la elevación en la superficie proyectada sobre la imagen o por el cambio sufrido por la plataforma que transporta el sensor, entre otras la velocidad, la dirección y la altitud. En cuanto a la radiometría, lo relevante para este trabajo, tiene que ver con recordar que las imágenes SAR son monocromáticas (blanco y negro) y el brillo de sus píxeles está directamente relacionado con la reflectividad del radar sobre la escena. Los rangos de valores radiométricos están en dos extremos, los completamente oscuros y los totalmente brillantes. Lo que significa que un objeto que refleja mucho, tendrá un valor digital relativamente alto y será representado como un píxel blanco"⁽⁶⁾.

Para el caso de la densidad de construcción, se planteó una hipótesis, que sugiere que las zonas de la imagen con valores digitales altos (píxeles blancos), corresponden a zonas densamente construidas, ya que la alta reflectancia de los objetos, corresponde a la cercanía entre una y otra construcción. Para poder discriminar dicha información, fue necesario procesar la imagen de radar con el módulo Radar Interpreter del software Erdas Imagine versión 8.4. Cabe señalar que para este trabajo se utilizó una imagen de RADARSAT (Figura 5.1.), la cual fue corregida geométricamente y suprimida de los efectos de ruido conocidos como speckle (punteado) y efecto del patrón de antena. Para la corrección geométrica se utilizó un Modelo Digital de Terreno de la Ciudad de México producido por el INEGI a escala 1:50 000, además de los parámetros propios del sensor. Para la corrección del ruido conocido como speckle (punteado) se utilizó el módulo Radar Speckle Suppression y para suprimir el efecto del patrón de antena, se realizó un ajuste de brillo dentro del módulo Brightness Adjustment. Resultando una imagen georeferenciada y corregida por ruido (Figura 5.2.).



Figura 5.1. Imagen original



Figura 5.2. Imagen corregida

Con el proceso anterior, se clasificó la imagen usando el método de clasificación no supervisada, realizando una serie de pruebas hasta encontrar que la enviada a 18 rangos permitió separar de manera satisfactoria las zonas previamente observadas en color

(6) López Caloca, Alejandra. 2003. "Fusión de imágenes satelitales de la Ciudad de México mediante métodos multiresolución". México.

blanco debido a su alta reflectancia, quedando en una sola clase las zonas de alta densidad de construcción, la información obtenida fue confirmada en campo, mediante visitas a la zona de estudio. Se genera otro canal de información para agrupar las áreas diferentes a la clase buscada, obteniendo una imagen con dos colores, uno para cada clase (Figura 5.3.). La información raster fue convertida a información vectorial con la ayuda del modulo Arc Toolbox del software ArcInfo versión 8.2, logrando con ello tener en el mismo formato la información tanto de la densidad de población, como la densidad de construcción.

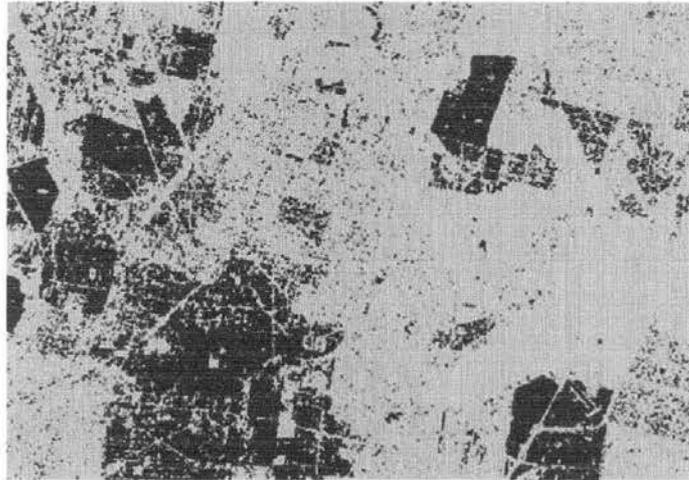


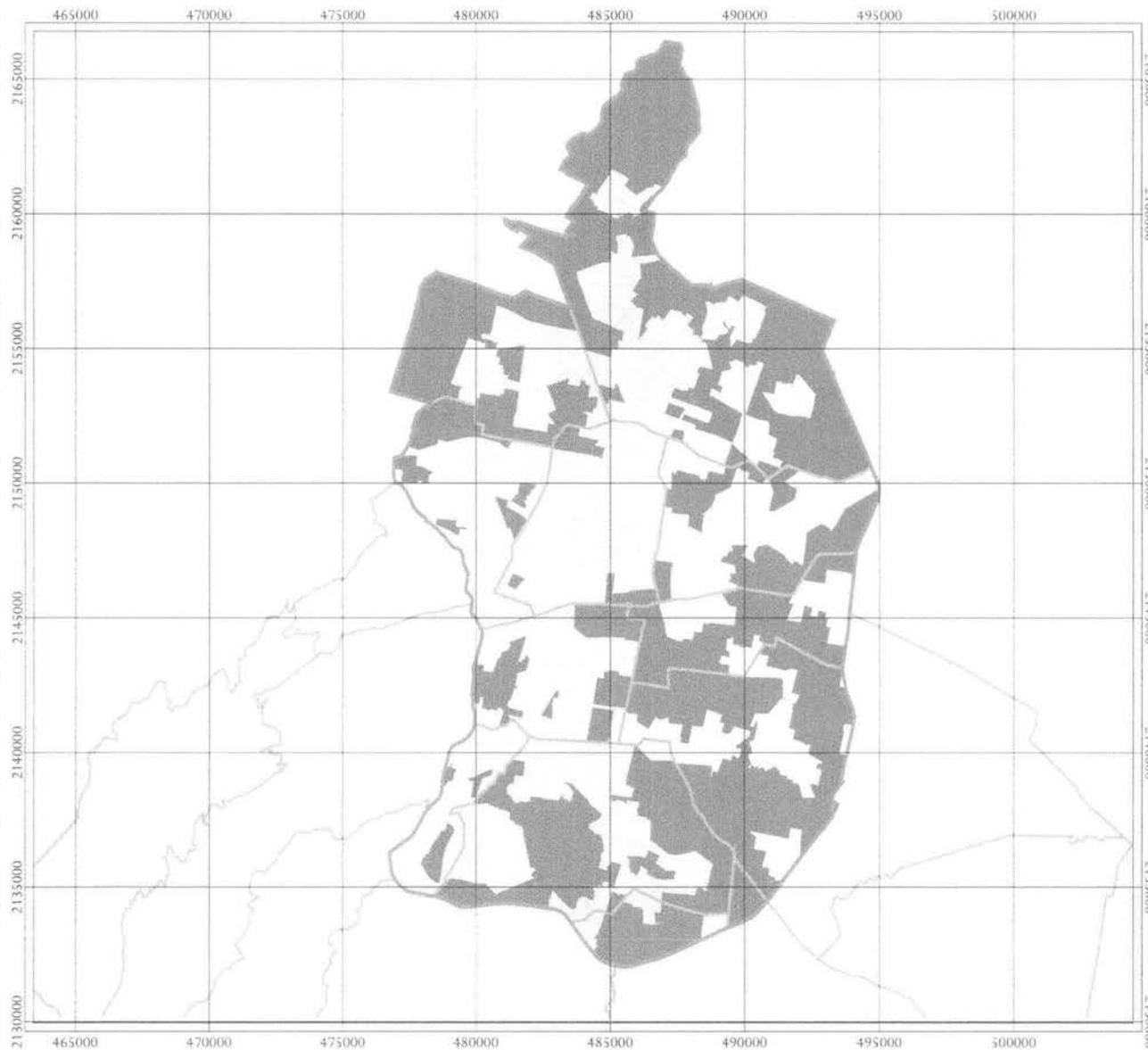
Figura 5.3. Clasificación no supervisada

Por ultimo se marcaron como zonas vulnerables aquellas AGEBs con alta densidad de población que tuvieran el 50% o más de superficie intersectada con las zonas separadas previamente como de alta densidad de construcción (Figura 5.4.). Construyendo con esto las zonas vulnerables a la dimensión social.



Figura 5.4. Zonas de alta densidad de construcción

DIMENSION ASISTENCIAL DE LA VULNERABILIDAD SISMICA



Dimensión Asistencial

No vulnerable (0.0)

 Vulnerable (0.5)

NOTA: Población por AGEB sin servicios médicos

 Delegaciones



Mapa compilado por:
Juan Manuel Suarez Hernandez

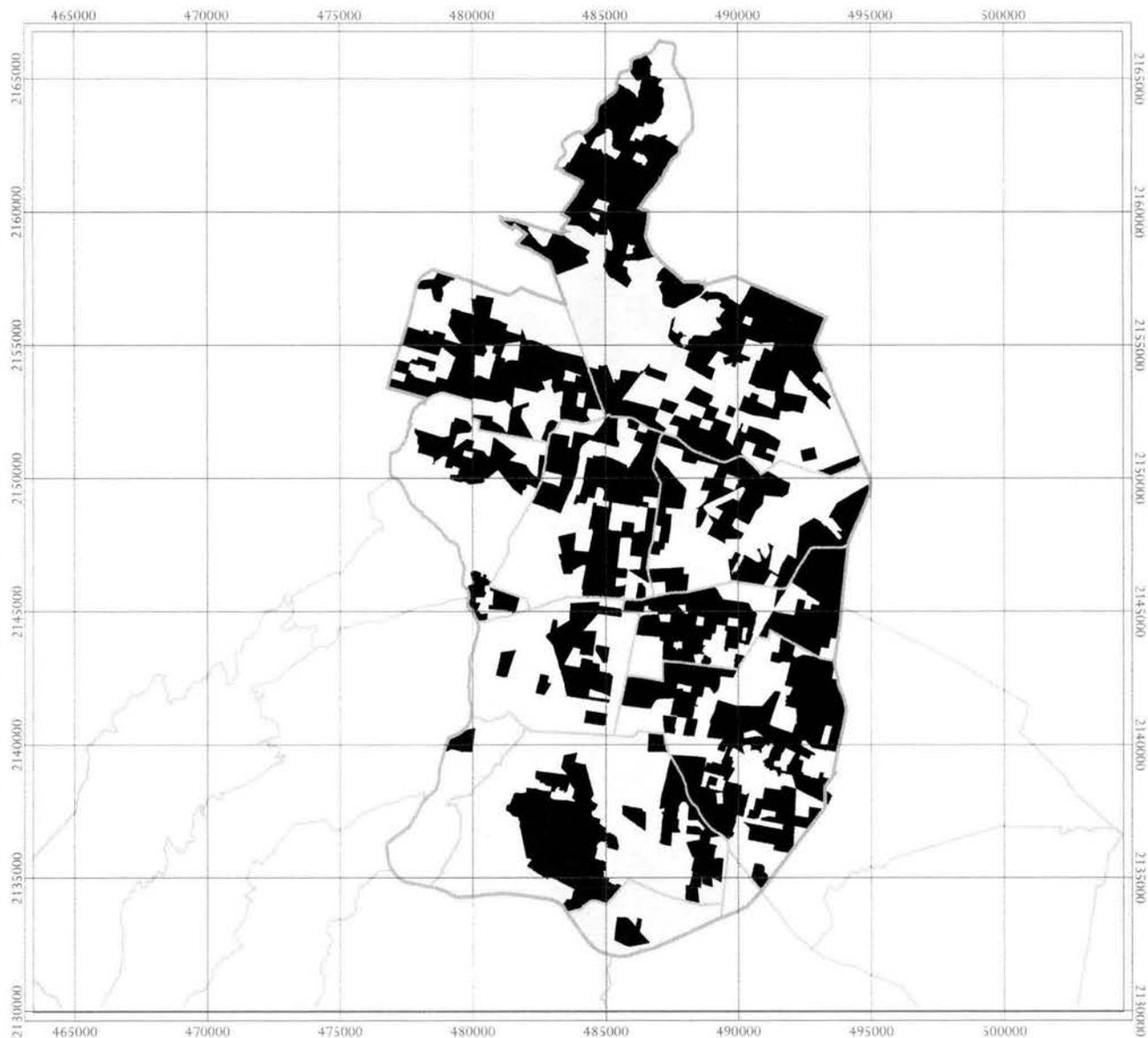
Con información de:
INEGI
Centro GEO

Escala: 1:50 000
Proyección: UTM Zonada 14
Datum: WGS84

Marzo de 2004



DIMENSION ECONOMICA DE LA VULNERABILIDAD SISMICA



Dimensión Económica

○ No vulnerable (0.0)

■ Vulnerable (0.5)

NOTA: Población por AGEB con menos de un salario mínimo al día

□ Delegaciones



Mapa compilado por:
Juan Manuel Navea Hernández

Con información de:
INEGI
Centro GEO

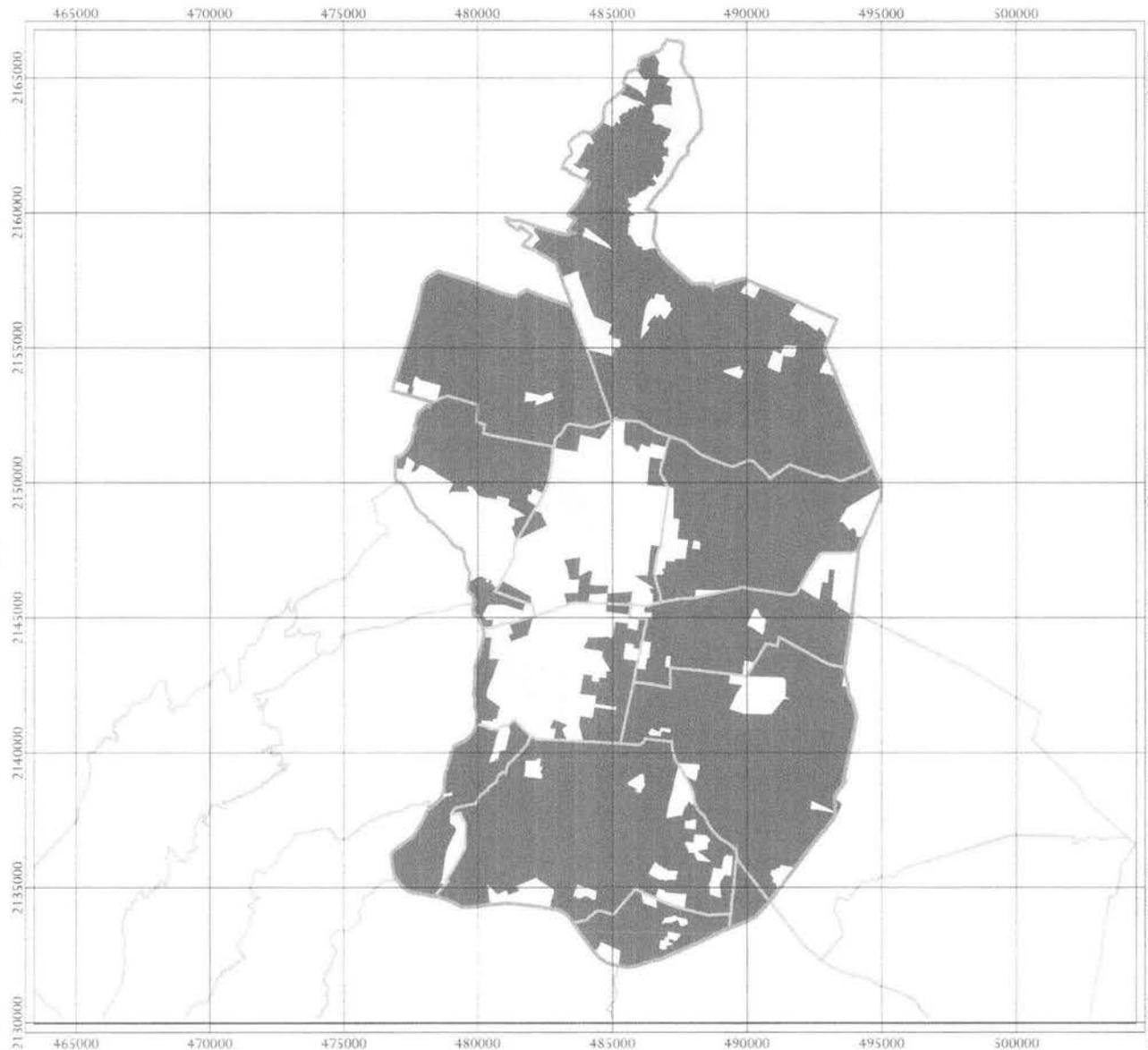
Escala: 1:250 000
Proyección: UTM Zona 14
Datum: WGS84

Marzo de 2004



CENTRO GEO

DIMENSION FISICA DE LA VULNERABILIDAD SISMICA



Dimensión Física

 No vulnerable (0.0)

 Vulnerable (2.0)

NOTA: Promedio de edificaciones de 1 a 3 niveles por AGFB.

 Delegaciones



Mapa compilado por:
Juan Manuel Navez Hernandez

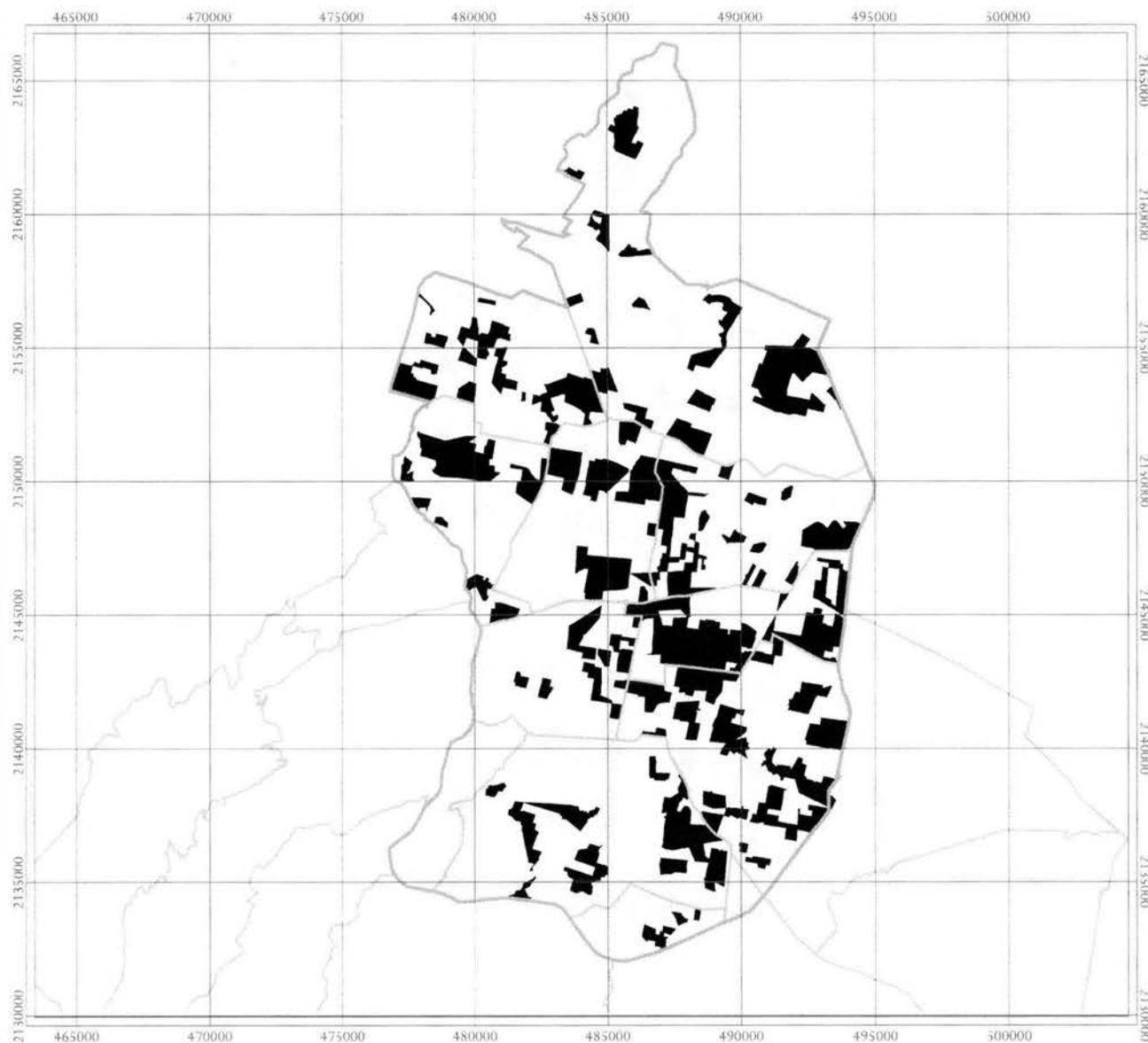
Con colaboración de:
INEGI
Centro GEO

Escala: 1:50 000
Proyección: UTM Zona 18
Datum: WGS84

Marzo de 2004



DIMENSION SOCIAL DE LA VULNERABILIDAD SISMICA



Dimensión Social

No vulnerable (0.0)

 Vulnerable (1.0)

NOTA. AGEBS con densidad de población y construcción alta

 Delegaciones



Mapa compilado por:
Juan Manuel Núñez Hernández

Con información de:
INEGI
Centro GEO

Escala: 1:250 000
Proyección: UTM Zona 14
Datum: WGS84

Marzo de 2004



CENTRO GEO

5.3.2. Modelo para la elaboración del mapa de vulnerabilidad sísmica del DF

El modelo planteado para la elaboración de un mapa de vulnerabilidad sísmica por AGEB, pretende calificar mediante pesos, a las diferentes dimensiones de la vulnerabilidad incorporadas en el análisis. A continuación presento las cuatro dimensiones de vulnerabilidad tomadas en cuenta para este trabajo y su respectiva asignación de pesos de acuerdo a su importancia:

Cuadro 5.2. Asignación de pesos a la vulnerabilidad

Dimensiones de la vulnerabilidad	Valor del peso	
	Vulnerable	No vulnerable
Asistencial	0.5	0.0
Económica	0.5	0.0
Física	2.0	0.0
Social	1.0	0.0

FUENTE: Elaboración propia, 2004

Debido a que no se encontró ninguna normatividad con respecto a los pesos o valores críticos de vulnerabilidad que deben de ser considerados en el análisis de las dimensiones de la vulnerabilidad, se tomó la decisión de agrupar las cuatro dimensiones de la vulnerabilidad con estos pesos, en función de los niveles de vulnerabilidad que se deseaba definir, los cuales a su vez estarán distribuidos en cuatro categorías:

Cuadro 5.3. Niveles de vulnerabilidad

Grado de vulnerabilidad	Rango en la suma de las dimensiones	Peso
Baja	0 a 1.0	1
Intermedia	1.5 a 2.0	2
Alta	2.5 a 3.0	3
Muy alta	3.5 a 4.0	4

FUENTE: Elaboración propia, 2004

El proceso de elaboración planteado para determinar dicho grado de vulnerabilidad a nivel de AGEB, está en función de la suma de las dimensiones seleccionadas. De esta manera se integró el peso de cada una de las dimensiones de la vulnerabilidad a nivel de AGEB. De las cuatro dimensiones identificadas, se consideró que la dimensión física tiene mayor peso que el resto, puesto que integra el indicador más importante, en este caso el nivel de construcción de las edificaciones, el cuál está relacionado de manera directa con el mapa de amenaza utilizado para este trabajo. La dimensión social, tiene un peso de uno en la medida en que incorpora un par de indicadores que en su conjunto nos muestran la densidad tanto de población como de construcción por AGEB. Las

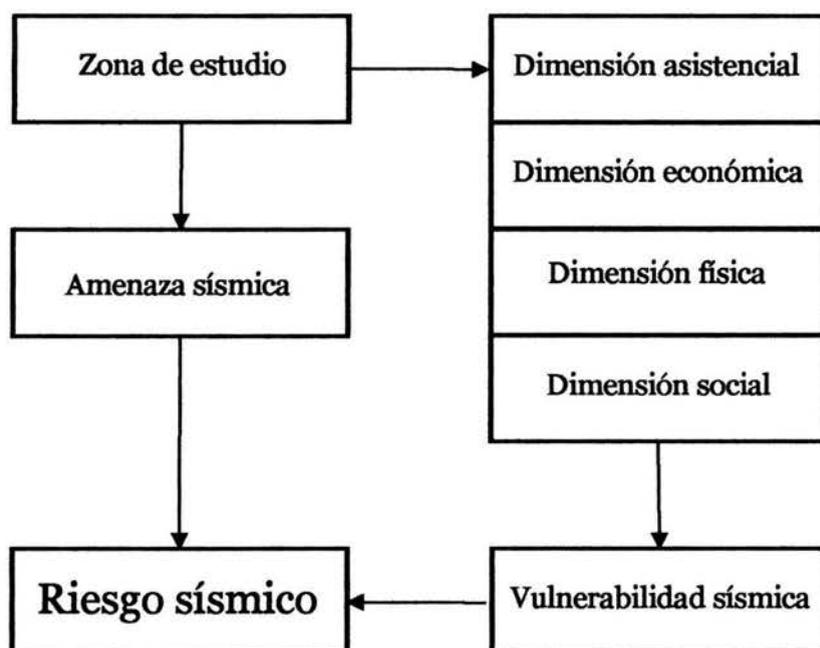
dimensiones asistencial y económica, muestran un menor peso, ya que para su especialización, solo se consideraron indicadores estadísticos.

El mapa de vulnerabilidad sísmica para edificaciones de uno a tres niveles, presentado en este trabajo, representa por AGEB, los grados de vulnerabilidad sísmica de la zona de estudio, para edificaciones entre uno y tres niveles de construcción. Lo anterior fue calculado de acuerdo a la suma de las diferentes dimensiones de la vulnerabilidad incorporadas en este trabajo, de acuerdo con la técnica de sobreposición de mapas.

5.4. Integración de los datos

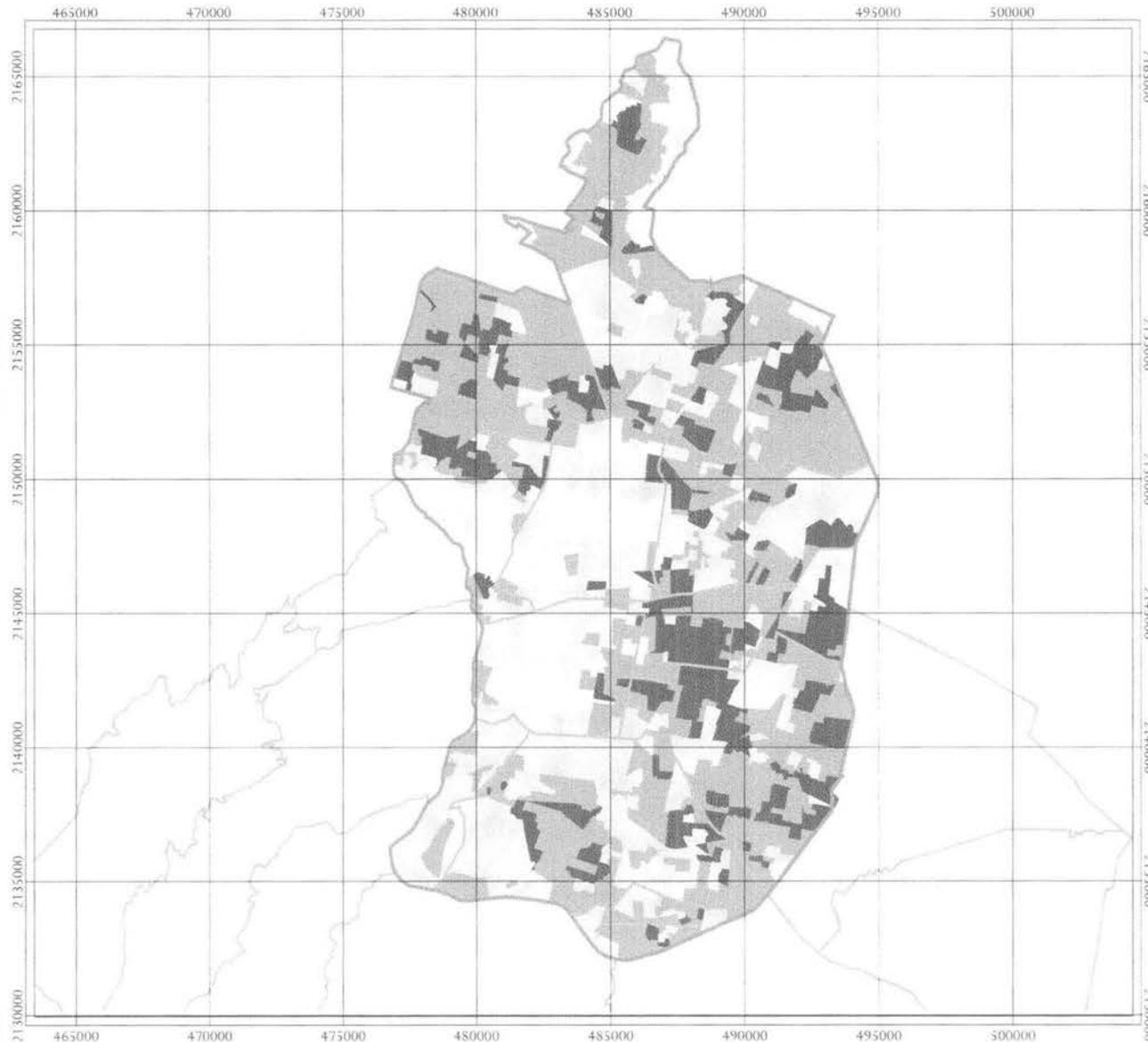
Una vez elaborado el mapa de vulnerabilidad sísmica, a partir de las cuatro dimensiones de la vulnerabilidad incorporadas en el análisis, se procedió a la reclasificación de la información de vulnerabilidad a nivel de AGEB, generando una base de datos numérica en donde se muestran los grados de vulnerabilidad de cada una de las AGEBs, de igual manera se procedió con la base de datos de la información de la amenaza sísmica. Debido a que toda la información espacial fue elaborada y editada en el software ArcView versión 3.1, fue una tarea relativamente sencilla la incorporación de la información. Siguiendo el modelo empleado para la elaboración del mapa de vulnerabilidad sísmica, se integró dentro de ArcView la información temática referida tanto a la amenaza como la referida a la vulnerabilidad, ambas acotadas dentro de la zona de estudio

Figura 5.5. Elaboración del mapa de riesgo sísmico



FUENTE: Elaboración propia, 2004

VULNERABILIDAD SISMICA PARA EDIFICACIONES DE 1 A 3 NIVELES

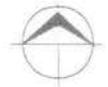


Valores de Vulnerabilidad

Rangos	Clasificación	Peso
De 3.5 a 4.0	Muy alta	4
De 2.5 a 3.0	Alta	3
De 1.5 a 2.0	Intermedia	2
De 0.0 a 1.0	Baja	1

NOTA: Los valores de vulnerabilidad sísmica, están dados por la suma de sus dimensiones.

 Delegaciones



ESTA TESTIGUO SALE
DE LA BIRRIJOTICA

Mapa compilado por:
Juan Manuel Nolas Hernández

Con información de:
INEGI
Centro GEO

Escala: 1:500 000
Proyección: UTM Zona 14
Datum: WGS84

Marzo de 2004



El diagrama anterior (Figura 5.5.), muestra la lógica de la incorporación de los datos para la elaboración de un mapa de riesgo sísmico. La integración de los datos consiste en preparar la información para un análisis conjunto de la información generada tanto por el análisis de la amenaza sísmica, como por el análisis de las dimensiones de la vulnerabilidad, con la idea de generar un mapa de riesgo sísmico basado en la metodología de los Sistemas de Información Geográfica.

5.5. Operaciones espaciales

La generación de un mapa temático de riesgo sísmico, esta referido en este trabajo a la técnica de análisis espacial llamada sobreposición de mapas, la cual resulta ser la mejor opción para construir un mapa de zonas de riesgo sísmico, a partir de la incorporación de información de carácter espacial, tanto de la amenaza sísmica, como de la vulnerabilidad. Para generar los rangos de riesgo sísmico, se elaboró una matriz con los cuatro rangos de amenaza como columnas y los cuatro rangos de vulnerabilidad como renglones, generándose así una matriz de orden cuatro por cuatro, cuyos elementos son el producto de los valores de amenaza y vulnerabilidad.

En la matriz de riesgo sísmico (Figura 5.6.), los valores marcados en amarillo (1, 2 y 3) representan zonas con un riesgo sísmico bajo, los valores de color verde (4, 6 y 8) son las zonas marcadas como de riesgo sísmico medio y los valores de color rojo (9, 12 y 16) representan las zonas de riesgo sísmico alto.

Figura 5.6. Matriz de riesgo sísmico

		Amenaza sísmica			
		1	2	3	4
Vulnerabilidad sísmica	1	1	2	3	4
	2	2	4	6	8
	3	3	6	9	12
	4	4	8	12	16

FUENTE: Elaboración propia, 2004

Por último se agruparon los rangos de valores de acuerdo a su grado de riesgo, otorgándole un peso de valor tres a las zonas de riesgo alto, dos a las de riesgo medio y uno a las zonas de riesgo sísmico bajo.

RIESGO SISMICO PARA EDIFICACIONES DE 1 A 3 NIVELES

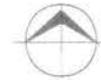


Valores de Riesgo Sísmico

Rangos	Clasificación	Peso
De 9 a 12	Alto	3
De 4 a 8	Medio	2
De 1 a 3	Bajo	1

NOTA: Los valores de riesgo son el producto de los valores de amenaza y vulnerabilidad

 Delegaciones



Mapa compilado por:
Juan Manuel Nuñez Hernández

Con información del:
INTIGI
CENTRO GEO

Escala: 1:750 000
Proyección: UTM Zona 14
Datum: WGS84

Marzo de 2004



CENTRO GEO

5.6. Obtención de resultados

El mapa de riesgo sísmico para edificaciones de 1 a 3 niveles, muestra la clasificación por zonas en tres grados de riesgo, considerando que ocurra un sismo de características similares al sufrido por la Ciudad de México en septiembre de 1985.

El mapa presenta un 25% del área con un grado de *riesgo sísmico alto*, dividido en tres zonas: La primera se localiza en la unión de las delegaciones Gustavo A Madero, Cuauhtémoc y Venustiano Carranza. La segunda zona se localiza entre los límites de la delegación Benito Juárez, Iztacalco, Iztapalapa y la parte oriente de la delegación Coyoacán. La última se localiza al norte de la delegación Tlalpan. En esta clasificación de riesgo sísmico alto habitan aproximadamente 700,000 habitantes, lo que representa casi el 14% de la población total de la zona de estudio.

Las zonas de *riesgo sísmico medio*, ocupan un 40% de la zona de estudio, y se localizan principalmente al poniente de la zona de estudio, cubriendo casi totalmente a las delegaciones Venustiano Carranza e Iztacalco, el poniente de la delegación Azcapotzalco, el norte de la delegación Miguel Hidalgo, el sur de la delegación Gustavo A. Madero, el poniente de Coyoacán y algunas zonas de la delegación Iztapalapa. En esta zona de riesgo medio, habitan más del 50% de la población de la zona de estudio, lo que representa alrededor de 2,700,000 personas.

Las zonas de *riesgo sísmico bajo* cubren el restante 40%, localizándose principalmente al norte de la delegación Gustavo A Madero, al oriente de la zona de estudio en las delegaciones Azcapotzalco, Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc, Benito Juárez, Álvaro Obregón, Coyoacán y algunas zonas de la delegación Iztapalapa. En esta zona habitan más de 1,500,000 de habitantes, lo que representa el 32% de la población total de la zona de estudio.

El mapa de riesgo sísmico para edificaciones de 1 a 3 niveles, muestra que las zonas de mayor riesgo sísmico en la zona de estudio, se concentran en zonas que en los sismos de septiembre de 1985, no estaban tan densamente pobladas como lo están hoy en día, este es el caso de la zona norte de la delegación Tlalpan y la zona que se localiza entre los límites de la delegación Benito Juárez, Iztacalco, Iztapalapa.

CAPITULO 6. Conclusiones

“El mapa nunca es el territorio y habrá que ir corrigiendo el recorrido cada vez que nuestra propia experiencia encuentre un error del cartógrafo”

Jorge Bucay.

6.1. Conclusiones

El presente trabajo, representa un intento por aprovechar, en primera instancia, la información generada a partir de los sismos de septiembre de 1985 sufridos en la Ciudad de México. Es cierto que a partir de estos lamentables acontecimientos, la información de carácter científico acerca de los fenómenos sísmicos en la ciudad, empezaron a surgir de forma constante hasta el día de hoy; pero en realidad son pocos los trabajos que tratan de tender un puente entre los aspectos físicos y los procesos sociales. El presente trabajo pretende acercar el mundo del análisis espacial y los Sistemas de Información Geográfica, a la solución de problemas espaciales caracterizados por aspectos sociales.

El primer punto a destacar en la realización de este trabajo, tiene que ver con la manera en como se conceptualiza el riesgo. Para tal motivo se partió de una profunda revisión conceptual con el fin encontrar los conceptos mas adecuados para modelar los fenómenos físicos y sociales presentes dentro de la problemática sísmica de La Ciudad de México. Resultó ser de vital importancia, el aporte metodológico de este trabajo en cuestión de conceptualizar al riesgo como el producto de la amenaza y la vulnerabilidad, y definir a esta ultima como la suma de sus diferentes dimensiones. Lo anterior nos permitió, además de tener un manejo adecuado de los conceptos desde el punto de vista matemático, una adecuada metodología para la incorporación de todos los elementos presentes en el modelado del riesgo sísmico.

El tipo de análisis que se decidió usar para este trabajo, es el análisis de riesgo sísmico a posteriori, con el cual es posible crear escenarios que permitan traer a la actualidad los posibles daños que podría causar un fenómeno ocurrido en el pasado, en la actualidad. Lo anterior es realizado gracias a la certeza que se tiene en el conocimiento de lo parámetros que originan y modelan a los fenómenos sísmicos ocurridos en el pasado, aunado a esto, un adecuado nivel de información sobre la dinámica actual de la zona de

estudio complementan este tipo de análisis. El análisis de riesgo sísmico a posteriori basado en la metodología de los Sistemas de Información Geográfica permitió analizar las diferentes capas de información de manera sistemática, basados en la técnica de sobreposición de mapas. Una característica propia de este trabajo, es que al analizar la vulnerabilidad sísmica mediante las dimensiones de la vulnerabilidad, el mapa final de vulnerabilidad sísmica generado, tiene las mismas unidades geográficas, lo cual facilita tanto el análisis de la vulnerabilidad, como el análisis final del riesgo. El mapa final de la vulnerabilidad sísmica, representa en efecto, la suma de las diferentes dimensiones de carácter socio-económico incorporadas en el trabajo representadas por AGEB.

Un beneficio importante, a la hora de implementar el análisis de riesgo sísmico a posteriori basado en la metodología de los Sistemas de Información Geográfica, es que permite que la información generada sea construida de manera individual, para después ser analizada de manera conjunta, lo que permite diferenciar niveles de información; además de que al momento de buscar la implementación de la información en una aplicación SIG resultará ser mucho más sencilla la implementación, debido a que la metodología para su elaboración está basada en el uso de los Sistemas de Información Geográfica.

En cuanto al mapa final de riesgo sísmico para edificaciones de uno a tres niveles de construcción, localizadas en zonas urbanas del Distrito Federal, las zonas clasificadas en riesgo sísmico alto, representan grandes concentraciones de construcciones y de población con niveles económicos bajos y sin la atención médica expedita en caso de un fenómeno sísmico extremo; que además están localizadas en zonas de peligro sísmico alto. Lo anterior no representa zonas que no debieran ser habitadas, pues para ello habría que realizar trabajos más específicos sobre el fenómeno sísmico e incorporar elementos estructurales de las construcciones en la evaluación de las dimensiones de la vulnerabilidad.

6.2. Apuntes finales

A manera de comentarios dirigidos hacia la realización de futuros trabajos, quiero dejar testimonio de algunas cuestiones a mejorar con el paso del tiempo.

Un asunto importante tiene que ver con la resolución de la información, ya que para el caso del catastro el nivel de resolución era mucho mayor, pero sin embargo, al tratar de generar información con un mismo nivel de resolución, se tiene que sacrificar información valiosa, en el afán de homogenizar la información. Lo anterior fue necesario debido a que siempre se buscó representar la información a un mismo nivel de resolución.

Aunque el análisis de riesgo sísmico a posteriori permite realizar trabajos a un nivel de detalle más grande, es importante que en la medida de lo posible, al aumentar la

resolución en el análisis, se vayan incorporando variables más elaboradas y más complejas con el fin de poder hacer más real el modelado del fenómeno sísmico. Para este trabajo el análisis de riesgo sísmico a posteriori se queda corto, en lo que tiene que ver con la información disponible para el análisis, resulta difícil sino es que imposible tratar de realizar un análisis de riesgo sísmico a nivel de edificios debido a la falta de información de carácter social y económico a ese nivel de resolución.

Otro problema presente con este trabajo, tiene que ver con el desfase temporal de las diferentes fuentes de información. Para este trabajo en particular, el catastro usado data de finales de 1988, la imagen de radar utilizada para la obtención de la densidad de construcción, esta fechada en noviembre de 1998 y la información estadística por AGEB es del año 2000. Lo que nos habla de que hay un intervalo de tiempo de más de diez años en el análisis de la información.

Cabe resaltar también, que el análisis de las dimensiones de la vulnerabilidad puede enriquecerse en la medida en que se incorporen otras dimensiones de la vulnerabilidad, sobre todo frente a un tipo específico de amenaza. De igual manera, sería aconsejable afinar algunos de los indicadores, con el fin de asignarles mayor peso a la hora de incorporarlos al análisis.

El presente trabajo representa un inicio para la conceptualización y el modelado de los del riesgo, con una visión diferente, que nos permita entender de mejor manera los procesos físicos y sociales involucrados en el proceso del riesgo.

Bibliografía citada

- Aderson, M. B. Y Woodrow, P. J. 1989. Rising from the ashes: Development strategies in times of disaster. Estados Unidos. *Artículo consultado en Internet.*
- Aneas de Castro, Susana. 2000. Riesgos y peligros: Una visión desde la Geografía. Argentina. *Artículo consultado en Internet.*
- Blanco-Alarcón. 1989. Gestión ambiental para el desarrollo. Colombia. *Artículo consultado en Internet.*
- Bosque Sendra, Joaquín. 1992. Sistemas de Información Geográfica. Rialp. España. P. 21-23, 86-137.
- Caire Lomelí, Jorge. 2002. Cartografía básica. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Filosofía y Letras. México. P. 17-24, 157-197.
- Calvo García-Tornel, Francisco. 1985. La geografía de los riesgos. España. *Artículo consultado en Internet.*
- Cardona Arboleda, Omar Darío. 1985. Hazard, Vulnerability and Risk Assessment, unedited working paper. Yugoslavia. *Artículo consultado en Internet.*
- Cardona Arboleda, Omar Darío. 1986 Estudios de vulnerabilidad y evaluación del riesgo sísmico: planificación física y urbana en áreas propensas. Colombia. *Artículo consultado en Internet.*
- Cardona Arboleda, Omar Darío. 2001. Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos. Universidad Politécnica de Cataluña. Facultad de Ingeniería. España. P. 5-19, 99-133.
- Cardona Arboleda, Omar Darío. 2001. La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Colombia. *Artículo consultado en Internet.*
- Cardona, O. D. y Barbat, A. H. 2000. El riesgo sísmico de estructuras. España. *Artículo consultado en Internet.*
- CENAPRED. 2001. Diagnostico de peligros e identificación de riegos de desastre en México. Centro Nacional para la Prevención de Desastres. México. P. 3-27, 33-49, 210-219.

- Chuvieco, Emilio. 2000. Fundamentos de teledetección espacial. Rialp. España. P. 23-27, 134-140.
- Fernandes Simões, Luís Manuel. 2000. A Importância da Integração dos Riscos Geológicos, no Planeamento, no Ordenamento do Território e na Protecção do Meio Ambiente: Conceitos e Algumas Ideias. Brasil. *Artículo consultado en Internet.*
- Garza, Gustavo. 2000. La Ciudad de México en el final del segundo milenio. Colegio de México. México. P. 39-46, 93-123, 511-520, 707-722.
- Lavell, Allan. 1996. Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. La RED. Perú. P. 35-68.
- López Caloca, Alejandra. 2003. Fusión de imágenes satelitales de La Ciudad de México mediante métodos multirresolución. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. México. P. 23-40.
- Lugo Hubp, José e Inbar, Mosher. 2002. Desastres naturales en América Latina. Fondo de Cultura Económica. México. P.12-16, 125-145.
- Macias, Jesús Manuel. 1999. Desastres y Protección Civil. CIESAS. México. P. 77-81.
- Maskrey, Andrew. 1998. Navegando entre brumas. La RED. Perú. P. 9-26, 35-62, 83-118.
- Medina Martínez, Francisco. 2000. Sismicidad y Vulcanismo en México. Fondo de Cultura Económica. México. P. 10-11, 28-47.
- Molak, Vlasta. 1997. Fundamentals of risk analysis and risk management. Lewis publishers. Estados Unidos. P. 1-10.
- Nava, Alejandro. 2000. Terremotos. Fondo de Cultura Económica. México. P. 18-29, 114-118.
- Pradilla Cobos, Emilio. 1996. Vulnerabilidad, Sismos y Sociedad en la Ciudad de México 1985 y en el Futuro. Colegio de México. México. P. 27-45.
- Rojas Rabiela, Teresa. 1987. Y volvió a temblar. CIESAS. México. P. 29-47, 53-138.
- Sedano Francisco. 1880. Noticias de México. Porrúa. México. P. 16-21.
- Servicio Geológico Metropolitano. 2002. Sismicidad y peligro sísmico en la Ciudad de México. México. *Artículo consultado en Internet.*

- Singh, S. K. y M. Ordaz. 1994. **Sismicidad y Movimientos Fuertes en México: Una Visión Actual.** México. *Artículo consultado en Internet.*
- Wilches-Chaux. 1989. **Desastres, ecologismo y formación profesional.** Colombia. *Artículo consultado en Internet.*
- Wolf, Paul y Brinker Russell. 1997. **Topografía.** Alfaomega. Colombia. P. 714-727.

Bibliografía consultada

- Eastman, J. Ronald. 1998. **Idrisi, Manual do usuário.** Centro de recursos Idrisi. Brasil.
- ERDAS. 2001. **ERDAS tour guide.** ERDAS Inc. Colombia.
- GDF. 2003. **Reglamento de construcciones para el Distrito Federal.** SISTA. México.
- González de Vallejo, Luis I. 2002. **Ingeniería Geológica.** Prentice Hall. España.
- Jonsthor, R. 1997. **Geography and Geographers.** Arnold. Reino Unido.
- Lugo Hubp, José. 1989. **Diccionario geomorfológico.** Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. México.
- OEA. 1993. **Manual sobre el manejo de peligros naturales en la planificación para el desarrollo regional integrado.** Organización de Estados Americanos. Perú.
- Sánchez Cervón, Julio. 1996. **Ciencias de la Tierra.** Trillas. México.