



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

TESIS

**USO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA
INTEGRACIÓN Y PUBLICACIÓN DE ATLAS DE RIESGO**

Que para obtener el título de:
LICENCIADA EN GEOGRAFÍA

Presenta
ADRIANA LONNGI DELGADO

ASESORA INTERNA:
LIC. ANA ELSA DOMÍNGUEZ CEBALLOS

ASESOR EXTERNO:
ING. OSCAR ZEPEDA RAMOS

México D.F.

Marzo, 2009

Agradecimientos y Dedicatorias

A mis padres:

Por ser siempre un apoyo para mí, en todo lo que hago, desde que tengo memoria; a mi madre, por ser una fuerza más grande que la de gravedad, capaz de mover montañas y convertir los ríos de lágrimas en océanos de alegrías; por ser mi heroína y un apoyo incondicional en mi vida. A mi padre, por ser un mapa que me muestra el camino a seguir cuando me siento perdida.

A mi hermana Jessica:

Por ser mi amiga siempre, demostrando que las distancias espacial y temporal se hacen polvo cuando tienes a alguien tan especial en tu corazón. Siempre has sido una estrella tan brillante y perfecta en el firmamento, que me has obligado a dar mi mejor esfuerzo para aprender a brillar por mí misma, siempre tratando de deslumbrar casi tanto como tú, como una gran supernova en el cielo.

A mis abuelos Jorge, María Eugenia y Gloria:

Por enseñarme a viajar en el tiempo gracias a sus recuerdos y mostrarme cómo era este lugar que llamamos México antes de que naciera; por ayudarme a crecer con su cariño, sus enseñanzas y su sabiduría, que espero siga creciendo hasta el final y que sea transmitida a los que nos seguirán.

A mi familia:

Por apoyarme y darme ánimos a continuar todo el tiempo; por brindarme tardes enteras de conversaciones, con sus aventuras y desventuras, siempre enseñando alguna buena lección sobre esta aventura que es la vida.

A mi asesor externo, Oscar Zepeda:

Por adentrarse en el bosque de los libros para recolectar unos cuantos, sin los cuales no habría sido posible la realización de esta tesis; y por arriesgar su vida en la peligrosa selva de las correcciones, saliendo ileso de ella. Por prestarme ayuda física y mental en este proceso, y comprender todas las dificultades en el camino.

A mi asesora, Ana Elsa Domínguez:

Por esperar en la isla de la paciencia mientras yo realizaba esta tesis, y por volverse rápida como un cometa para revisarla, con toda la disposición del mundo en ello, así como por estar al pendiente de cada paso que he dado hasta llegar a mi meta.

A mis sinodales:

Por aceptar leer mi trabajo y por asumir la responsabilidad con gusto y júbilo, y aún así apenarse por hacer las correcciones correspondientes, aún cuando tienen toda la razón para hacerlas.

A mis profesores:

Por ser enciclopedias, libros y atlas vivientes, llenos de conocimiento listo para compartir en cualquier momento, en cualquier lugar. Por enseñarme elementos de la Geografía que antes no sabía ni que existían, y por hacerme ver que este mundo es más interesante de lo que la mayoría de la gente puede imaginar, y que es así por esa misma gente.

A mis amigos:

Por tocar mi vida temporal o permanentemente, con pequeñas o grandes aventuras e historias que contar cuando la vida nos pese hasta en los huesos. Por brindarme malos consejos y buenas experiencias, interminables horas de pláticas y risas, y un compendio infalible de excusas para aplazar y copiar en los exámenes. Por darme parte de su vida y su tiempo sin pedir nada a cambio, sólo que no los olvide nunca en el mar del abandono.

Al CENAPRED:

A todos los compañeros que conocí ahí desde la realización de mi servicio social, y que me prestaron su ayuda y recursos, así como me incluyeron en sus eventos y en sus vidas, aunque sólo fuera por un momento.

CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN, OBJETIVO Y ALCANCE	1
1.1 Introducción	1
1.1.1 Historia de la Protección Civil	1
1.1.2 El análisis de riesgo en México	3
1.1.3 Diagnóstico de riesgo	4
1.1.4 Mapas de riesgo	7
1.1.5 Niveles de Percepción del Riesgo	9
1.1.6 Instancias relacionadas con el diagnóstico de peligro	9
1.1.6.1 Secretaría de Desarrollo Social	9
1.1.6.1.1 Programa Hábitat	11
1.1.7 Plan Nacional de Desarrollo (2007-2012)	12
1.2 Objetivo	15
1.3 Alcance	16
CAPÍTULO II. LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	17
2.1 ¿Qué es un Sistema de Información Geográfica?	17
2.2 Historia de los Sistemas de Información Geográfica	19
2.2.1 Etapas históricas de los Sistemas de Información Geográfica	22
2.2.1.1 Primera etapa	22
2.2.1.1.1 Canadá	23
2.2.1.1.2 Estados Unidos	23
2.2.1.1.3 Gran Bretaña	23
2.2.1.2 Segunda etapa	23
2.2.1.3 Tercera etapa o Fase comercial	24
2.2.1.4 Cuarta etapa	24
2.2.1.5 Quinta etapa	24
2.2.1.6 Los Sistemas de Información Geográfica en México y América Latina	25
2.3 Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica	29
2.3.1 Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica en el análisis de Riesgos	30
2.3.1.1 Mitigación	32
2.3.1.2 Prevención y Respuesta	33
2.3.1.3 Recuperación	34
2.4 Tecnologías afines a los Sistemas de Información Geográfica	35
2.5 Criterios para elegir un Sistema de Información Geográfica	39
2.6 Cobertura Geográfica	40
CAPÍTULO III. MARCO GEOGRÁFICO DE LOS ATLAS DE RIESGO	41
3.1 Funciones de los Atlas de Riesgo	41
3.2 Marco Geoestadístico	42
3.2.1 Obtención de datos geoestadísticos	42
3.2.2 Aspectos históricos	43
3.2.3 Aspectos geoestadísticos básicos	43
3.2.4 Formas de representación de la Tierra	44
3.2.5 Sistemas de Coordenadas	45
3.2.5.1 Sistema de Coordenadas Geográficas	45
3.2.6 Proyecciones cartográficas utilizadas en México	47
3.2.7 Sistema de referencia oficial para México	48
3.2.8 Escala	50
3.2.9 Simbología	52
3.2.10 Cartografía	53
3.2.11 Representación del terreno	56
3.3 Marco de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo	58

3.3.1 Peligros Geológicos	58
3.3.2 Peligros Hidrometeorológicos	60
3.3.3 Peligros Químicos	64
3.3.4 Identificación de los sistemas expuestos y su vulnerabilidad	68
CAPÍTULO IV. MODELO DE INTEGRACIÓN Y DE DATOS PARA UN ATLAS DE RIESGO	70
4.1 Modelos de Datos	70
4.1.1 Principios de diseño de los Sistemas de Información Geográfica	70
4.1.2 Bases de Datos	72
4.2 Modelos jerárquicos de clasificación de la información	75
4.2.1 Subtipos, Relaciones y Topologías	77
4.2.2 Redes lineales, Clasificaciones y Dominios	80
4.3 Uso del Geoposicionador para su integración en un SIG	82
4.3.1 Mapa base: Topografía y Planimetría	83
4.3.2 Mapas temáticos de Geología y Geomorfología	87
4.3.3 Litología	87
4.3.4 Vetas	88
4.3.5 Disección vertical del terreno	88
4.3.6 Pendiente del terreno	89
4.3.7 Mapas temáticos de Hidrometeorología	90
4.4 Elementos de Percepción Remota para la obtención de datos	90
4.4.1 Métodos básicos de fotogrametría y fotointerpretación	90
4.4.2 Imágenes fotogramétricas y satelitales de apoyo	93
4.4.3 Ortofoto Digital	94
4.4.4 Carta topográfica digitalizada	94
4.4.5 Modelo digital de elevación	94
4.4.6 Modelo digital del terreno	94
4.4.7 Imagen de satélite Landsat	95
4.4.8 Imagen de satélite Ikonos	96
4.4.9 Imagen de satélite Spot	96
4.4.10 Imagen de satélite Quick Bird	96
CAPÍTULO V. EJEMPLO DE INTEGRACIÓN, CIUDAD DE ACAPULCO	98
5.1 Introducción	98
5.2 Estructura Cartográfica	100
5.3 Riesgos Geológicos y Geomorfológicos	103
5.3.1 Peligro Sísmico	104
5.3.1.1 Microzonificación de peligros por sismos	105
5.3.2 Peligros por flujos de lodo	107
5.3.2.1 Microzonificación de riesgos por flujos de lodo	109
5.3.3 Peligros por Deslizamientos	110
5.3.4 Peligros por Tsunamis	111
5.3.4.1 Registros históricos de peligros por Tsunamis	115
5.3.4.2 Microzonificación de riesgos por Tsunami	117
5.4 Riesgos Hidrometeorológicos	118
5.4.1 Riesgos por Inundación	118
5.4.1.1 Microzonificación de riesgo por Inundación	120
5.4.2 Peligros por Huracanes	121
5.4.2.1 Microzonificación de riesgo por Huracanes	123
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	125
BIBLIOGRAFÍA	127

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS Y ALCANCE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN, OBJETIVO Y ALCANCES

1.1 Introducción

Los estudios actuales de riesgo han sido desarrollados principalmente en las dos últimas décadas, sin embargo, su auge verdadero se ha dado en estos últimos años gracias a los sistemas informáticos diversos que se han desarrollado, en específico los programas conocidos como Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Estos sistemas han permitido una mejor comprensión de los riesgos a los que el hombre está expuesto y relacionado, y a su vez han permitido que se desarrollen programas de prevención para aquellas zonas que sufren el embate de los fenómenos naturales, con la finalidad de que las pérdidas (de vidas, económicas y sociales) se reduzcan hasta el mínimo y la experiencia pueda ser incluida en los estudios previos para mejorarlos y mantenerlos al día.

Aunque estos programas informáticos tienen las herramientas necesarias para realizar análisis, procesamiento y visualización de la información geoespacial, no sirven por sí mismos si no están respaldados por una organización adecuada, personal capacitado y especializado, y el equipamiento necesario. Más importante aún, tienen que cumplir con un objetivo específico y deben tener recursos físicos, económicos y humanos suficientes para su operación y mantenimiento.

Un SIG es un modelo computarizado del mundo real, incorporado en un sistema de referencia geográfico, diseñado para satisfacer necesidades de información específicas, que responde de una manera analítica y espacial, a un conjunto de preguntas. Esto implica una capacidad de registro selectiva ante los fenómenos del entorno y la elección de una estructura conceptual para los entes considerados, sus propiedades, y los sucesos en los que se ven implicados.

Este tipo de tecnología, combinada con visiones nuevas y esquemas de coordinación, permite monitorear y detectar los fenómenos perturbadores y prevenir sus efectos con anticipación, además de facilitar la toma de decisiones y la implementación de medidas para disminuir sus efectos. Este cambio hacia un enfoque para la prevención de desastres se ha sustentado en el conocimiento sobre el origen, manifestación e impacto de los diversos fenómenos sobre los sistemas construidos por el hombre (sistemas expuestos).

Esta investigación tiene como finalidad principal el mostrar y explicar el proceso que se sigue para obtener como producto final un atlas, mediante la utilización de un SIG, tomando en cuenta los antecedentes de los SIGs y de los estudios de riesgos, tanto a nivel mundial como a nivel nacional, para tener una visión global sobre el estado del arte existente, ya que cabe remarcar que este desarrollo se ha dado paralelamente, al ser los SIGs la principal herramienta para la creación de nuevos estudios sobre riesgos.

1.1.1 Historia de la Protección Civil

La protección civil es el conjunto de tareas que tienden a reducir el impacto de desastres, siendo el Sistema Nacional de Protección Civil la organización encargada de llevar a cabo estas tareas; en sus inicios, este tipo de organizaciones se enfocó a atender las emergencias, es decir, a tomar partida una vez que el desastre se ha dado, como por ejemplo, el rescate de víctimas. Sin embargo, han reconocido que la atención debe estar centrada en la fase de prevención, para identificar los riesgos y reducirlos antes de la ocurrencia de éstos.

La Protección Civil nace el 12 de agosto de 1949 en el Protocolo 2 adicional al Tratado de Ginebra “*Protección a las víctimas de los conflictos armados internacionales*”, siendo una de las disposiciones otorgadas para facilitar el trabajo de la Cruz Roja, el cual indica:

Se entiende por Protección Civil el cumplimiento de algunas o de todas las tareas humanitarias que se mencionan a continuación, destinadas a proteger a la población contra los peligros de las hostilidades y de las catástrofes y a ayudarla a recuperarse de sus efectos inmediatos, así como a facilitar las condiciones necesarias para su supervivencia. Estas tareas son las siguientes:

- 1) Servicio de alarma.
- 2) Evacuación.
- 3) Habilitación y organización de refugios.
- 4) Aplicación de medidas de oscurecimiento.
- 5) Salvamento.
- 6) Servicios sanitarios, incluidos los de primeros auxilios y asistencia religiosa.
- 7) Lucha contra incendios.
- 8) Detección y señalamiento de zonas peligrosas.
- 9) Descontaminación y medidas similares de protección.
- 10) Provisión de alojamiento y abastecimientos de urgencia.
- 11) Ayuda en caso de emergencia para el restablecimiento y el mantenimiento del orden en zonas damnificadas.
- 12) Medidas de urgencia para el restablecimiento de los servicios públicos indispensables.
- 13) Servicios funerarios de emergencia.
- 14) Asistencia para la preservación de los bienes esenciales para la supervivencia.
- 15) Actividades complementarias necesarias para el desempeño de cualquiera de las tareas mencionadas, incluyendo entre otras cosas la planificación y la organización.

Se entiende por organismos de protección civil los establecimientos y otras unidades creados o autorizados por la autoridad competente de una parte en conflicto para realizar cualquiera de las tareas mencionadas, y destinados y dedicados exclusivamente al desempeño de esas tareas.

Se entiende por personal de organismos de protección civil las personas asignadas exclusivamente al desempeño de las tareas mencionadas, incluido el personal asignado especialmente a la administración de esos organismos por la autoridad competente. Y se entiende por material de organismos de protección civil el equipo, los suministros y los medios de transporte utilizados por esos organismos en el desempeño de las tareas anteriormente mencionadas. Su postulado básico es: “***La salvaguarda de la vida de las personas, sus bienes y el entorno***”

El día ocho del mes de junio de 1977, se adoptó, en Ginebra, el Protocolo Adicional a los Convenios de Ginebra del 12 de agosto de 1949 relativo a la Protección de las Víctimas de los Conflictos Armados Internacionales (Protocolo I).

El citado Protocolo fue aprobado por la Cámara de Senadores del H. Congreso de la Unión, el día 21 de diciembre de 1982, según Decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 24 de enero de 1983, y promulgado el día 22 de diciembre de 1983.

1.1.2 El análisis de riesgo en México

El tema de riesgo ha sido tratado y desarrollado por disciplinas diversas, algunas veces de formas similares, y algunas otras de formas divergentes. Un punto de partida común es que los riesgos están ligados a actividades humanas, esto es, el riesgo existe si se cuenta con la presencia de un agente perturbador (fenómeno natural o provocado por el hombre) que tiene la probabilidad de ocasionar daños a un sistema afectable (asentamientos humanos, infraestructura, entre otros), constituyendo un desastre.

Cualitativamente, el riesgo es la probabilidad de ocurrencia de daños, pérdidas o efectos indeseables sobre sistemas de personas, comunidades o bienes, como consecuencia del impacto de eventos o fenómenos perturbadores. La probabilidad de que estos eventos ocurran en cierto lugar se conoce como amenaza, es decir, la condición latente de posibilidad de generación de eventos perturbadores.

El peligro es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino de cierta intensidad, durante un cierto periodo de tiempo y en un sitio dado; la vulnerabilidad es la susceptibilidad o propensión de los sistemas expuestos a ser afectados o dañados por el efecto de un fenómeno perturbador, es decir, el grado de pérdidas esperadas, por lo cual puede clasificarse en vulnerabilidad física (probabilidad de daño de un sistema expuesto, cuantificada en términos físicos) o vulnerabilidad social (aspectos económicos, educativos, culturales, así como el grado de preparación de las personas). Por último está la exposición o grado de exposición que se refiere a la cantidad de personas, bienes y sistemas que se encuentran en el sitio y que son factibles de ser dañados.

$$\text{Riesgo} = f(\text{Peligro}, \text{Vulnerabilidad y Exposición})$$

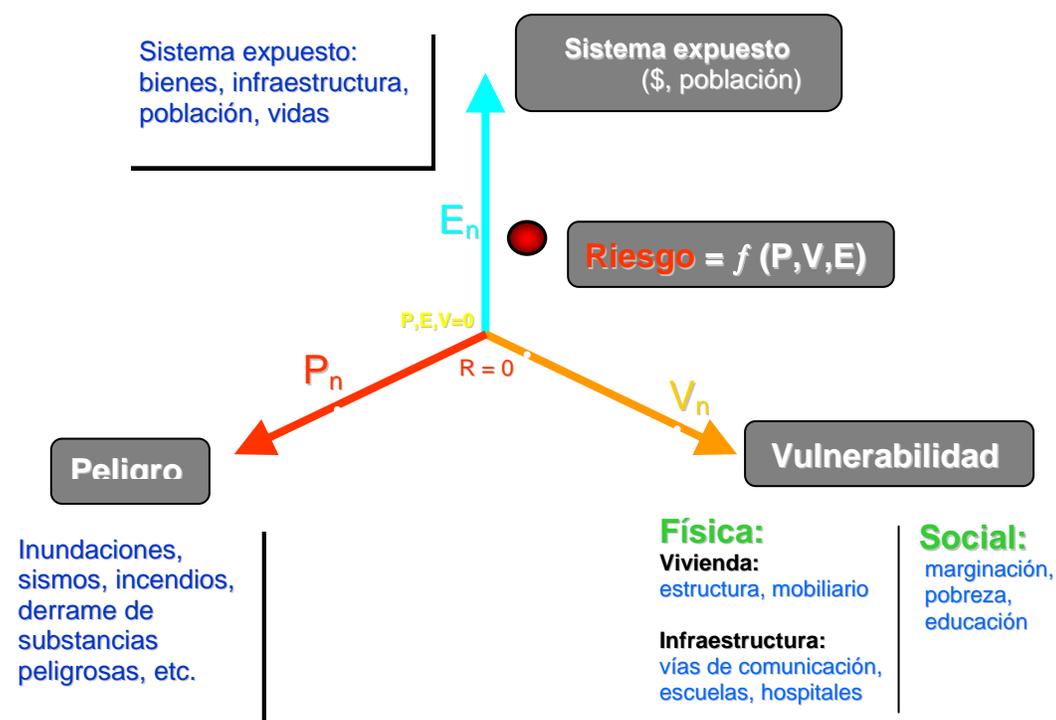


Figura 1.1 Elementos que forman parte del riesgo. (INEGI – CENAPRED, 2007)

México es un territorio donde suceden fenómenos que pueden ocasionar desastres, tales como sismos y volcanes, dado que el país forma parte del Cinturón del Fuego del Pacífico; además, al ubicarse en la región intertropical, está sujeto al embate de los huracanes, tanto en el océano Pacífico como en el Atlántico, provocando marejadas, vientos y lluvias a su paso. Como consecuencia de estas lluvias y de las lluvias de temporada, se presentan inundaciones y procesos de derrumbes o de ladera en diversos lugares; opuestas a esta situación, están las sequías, que afectan sobre todo la parte norte del país, a las actividades agropecuarias y ganaderas; aunados a las sequías, están los incendios forestales, ya que se presentan en la época de secas cada año en las zonas boscosas.

Todos estos tipos de desastres tienen el mismo origen en un fenómeno natural, por lo que se les llama comúnmente desastres naturales, aunque realmente son desastres por la intervención que tiene el hombre en el medio ambiente. Hay otro tipo de desastres, que son los desastres antrópicos o tecnológicos, originados por el hombre, al desarrollar sus actividades, sobre todo las industriales.

A lo largo del tiempo, el hombre ha intentado protegerse de los efectos de los fenómenos naturales, desarrollando medidas para el control de éstos, logrando defenderse mejor de estas manifestaciones, aunque a veces las medidas de protección son rebasadas por las fuerzas de la naturaleza. Para enfrentar de una forma mejor estas fuerzas, es necesario adoptar un enfoque global, es decir, que no sólo se base en los aspectos científicos y tecnológicos relacionados con el conocimiento del fenómeno y las medidas para reducir sus efectos, sino que también prevea esquemas operativos para apoyar a la población con medidas organizativas, para que esté preparada y responda mejor a los fenómenos que represente un peligro.

1.1.3 Diagnóstico de riesgo

Para poner en práctica las acciones de protección civil, se necesita un diagnóstico de riesgos, es decir, el conocimiento de las características de los eventos que pueden convertirse en un desastre y la determinación de la forma en que éstos inciden en los asentamientos humanos, en la infraestructura y en el entorno; la base para estos estudios es el conocimiento científico de estos fenómenos, esto es, el estudio de los mecanismos de generación de los mismos.

Este diagnóstico es un proceso que incluye la determinación de los escenarios y la probabilidad de su ocurrencia, donde los escenarios cuentan con la presencia de los efectos que pueden tener los fenómenos en los asentamientos y en la infraestructura vulnerables a los mismos. El resultado de este proceso es la determinación del peligro o amenaza que existe en algún sitio, tomando en cuenta que para la estimación del riesgo se deben conocer las consecuencias que el fenómeno pueda tener en ese sitio.

Los estudios de peligro, por lo tanto, se basan en información física que cambia poco con el tiempo, mientras los estudios de riesgo son más complejos porque presentan la interacción entre los fenómenos naturales y el entorno, y entre éstos fenómenos y los sistemas físicos y sociales producidos por el hombre. Además, los estudios de peligro pueden abarcar grandes regiones del país, mientras los estudios de riesgo tienen que ser más locales por depender de las condiciones específicas de cada sitio. Al estudiar estos sistemas físicos y sociales, las representaciones resultantes de los estudios de riesgo se vuelven obsoletas rápidamente, pues estos sistemas cambian de características todo el tiempo (como la cantidad de población del lugar y su proceso de industrialización).

La representación más común de los resultados de estos estudios son los mapas a escalas diferentes; una colección de mapas de este tipo constituye un atlas, además, los sistemas informáticos actuales permiten que los mapas sean más completos y que la información se dinamice, ya que se pueden elaborar los mapas de acuerdo a los escenarios que se necesiten, además de que su actualización es constante.



Figura 1.2 Ejemplo de un mapa del Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED, 2007)

Bajo estos conceptos, el CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres) ha venido desarrollando el Atlas Nacional de Riesgos, dirigido a diversas dependencias y niveles de gobierno: protección civil, instituciones académicas y de investigación, departamentos de planeación territorial y a la población en general. El objetivo del Atlas Nacional de Riesgos es fortalecer al Sistema Nacional de Protección Civil, mediante acciones diversas:

- Políticas y estrategias de prevención.
- Planes de desarrollo urbano para una mejor toma de decisiones.
- Evaluación de pérdidas humanas y materiales después de ocurrido un fenómeno natural o antropogénico.
- Estimación de los recursos destinados a una zona afectada.
- Contribución a la cultura de la autoprotección.
- Calidad en la contratación de seguros.

Para estar vigente y ser una representación adecuada de la realidad, el Atlas Nacional de Riesgos está diseñado para ser un Sistema Integral de información del Riesgo de Desastres, esto es, que sea un conjunto ordenado de procesos y tecnologías que permitan evaluar el riesgo mediante el análisis temporal y espacial de las amenazas, la vulnerabilidad y el grado de exposición; también deberá ser interactivo, es decir, que se pueda visualizar la información de manera inmediata, y que se pueda desarrollar y actualizar ésta. Algunos de los productos del ANR son:

- Mapas de peligro con las zonas donde afectan los fenómenos.
- Mapas de vulnerabilidad que muestran las zonas donde el daño es mayor.
- Mapas con el tamaño de los sistemas afectables.
- Mapas de riesgo que muestran las zonas donde un fenómeno provoca daños máximos, medios o mínimos.

- Mapas de afectación cuando ocurre un fenómeno.
- Estadísticas de la ocurrencia y efecto de fenómenos perturbadores.
- Costo esperado ante la ocurrencia de un fenómeno.
- Uso de sistemas de datos georreferenciados basados en SIG para la generación automatizada de mapas.

En la actualidad, México es un país en desarrollo en muchos ámbitos, que cuenta con programas diversos de protección civil y prevención de desastres, que han luchado por convertir el esquema actual reactivo, en uno preventivo, que permita una mitigación mejor en contra de los desastres que año con año afectan a la población del país.

Para poner en práctica este tipo de políticas y acciones, es necesario contar con un diagnóstico de riesgos, esto es, conocer las características de los eventos con consecuencias desastrosas y determinar la forma en que estos eventos inciden en los asentamientos humanos, en la infraestructura y en el entorno. La manera más efectiva para integrar esta información y que esté disponible para los usuarios, es a través de un Atlas. La cartografía digital y los sistemas informáticos son una herramienta de gran utilidad para la representación de peligros y riesgos a escalas diferentes, así como la generación de escenarios distintos a través de modelos y simulaciones.

Una estrategia efectiva de prevención cuenta con un ciclo de prevención con etapas diversas para reducir el impacto destructivo que provocan los fenómenos tanto naturales como provocados por el hombre. Las etapas son las siguientes:

- **Identificación de Riesgos:** Conocer los peligros a los que se está expuesto, además de conocer dónde, cuándo y cómo afectan los fenómenos perturbadores. También establecer los niveles de riesgo actuales.
- **Mitigación y Prevención:** Diseñar acciones y programas para reducir el impacto de los desastres antes de que ocurran. Esta etapa incluye medidas para la reducción de la vulnerabilidad: planeación del uso del suelo, códigos de construcción, educación y capacitación de la población, manuales de procedimientos, sistemas de monitoreo y alerta temprana, preparación para atender las emergencias, etc.
- **Atención de Emergencias:** Acciones que deben tomarse antes, durante y después de un desastre, para minimizar la pérdida de vidas, bienes y producción, así como para la preservación del medio ambiente y de los servicios públicos, para un apoyo más eficiente a los damnificados.
- **Recuperación y Reconstrucción:** Acciones para que el sistema afectado vuelva a la normalidad, mediante la reconstrucción y/o mejoramiento de la infraestructura y de los servicios.
- **Evaluación del Impacto e Incorporación de la Experiencia:** Valoración del impacto económico y social, para determinar la capacidad del gobierno para la reconstrucción, apoyo y financiamiento. También para completar el diagnóstico de riesgos con la información de las zonas vulnerables, el impacto histórico y la relación costo-beneficio de inversión para la mitigación. La experiencia de las etapas anteriores debe tomarse en cuenta para redefinir las políticas de planeación, mitigación y reducción de la

vulnerabilidad, con el fin de que un mismo fenómeno no vuelva a impactar de la misma manera en la región.

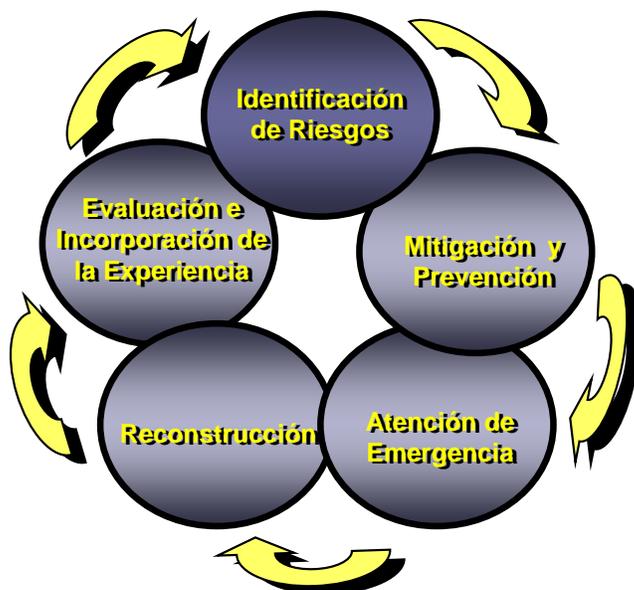


Figura 1.3 Ciclo de la Prevención. (CENAPRED, 2007)

Para realizar análisis de riesgos, es necesario abarcar tres campos de estudio: el peligro, la vulnerabilidad, y los costos. En cuanto al peligro, en el país hay registros históricos donde se aprecian los daños en las edificaciones e infraestructura ante la incidencia de eventos naturales como los sismos, los fenómenos meteorológicos (vientos intensos provocados por ciclones tropicales), entre otros. Las edificaciones más dañadas son las de construcción informal, esto es, aquellas hechas con materiales de calidad baja y sin un diseño estructural formal; en este caso, el término vulnerabilidad se refiere a la susceptibilidad que tiene una construcción a presentar algún tipo de daño, provocado por la acción de un fenómeno natural o antropogénico.

Es necesario evaluar esta vulnerabilidad ante cada fenómeno para estimar los distintos niveles de riesgos, tomando en cuenta las obras construidas por el hombre tales como vivienda, hospitales, escuelas, servicios de emergencia, edificios públicos, vías de comunicación, líneas vitales (electricidad, drenaje, etc.), patrimonio histórico, comercio e industria, así como tierra de cultivo, zonas de reserva ecológica, turísticas y de esparcimiento.

En relación con los costos, dentro de la definición de riesgo, se refiere al presupuesto necesario para reponer lo dañado. El análisis detallado de los costos se puede determinar, con base en el conocimiento del fenómeno que impacta, con el porcentaje de daño o destrucción que puede presentar una estructura en particular.

1.1.4 Mapas de riesgo

La definición más común que se le da a la palabra riesgo es la de aquel evento que implica la proximidad de un daño, desgracia o contratiempo que puede afectar la vida de los hombres; sin embargo, para fines de protección civil, el riesgo de desastres está muy definido: “el grado de pérdida previsto en un sistema determinado, debido a un fenómeno natural definido y en función tanto del peligro como de la vulnerabilidad”.

De acuerdo con esta última definición, los mapas de riesgo son aquellos que representan gráficamente en una base cartográfica, la probabilidad de incidencia de un fenómeno, sus características e intensidad, y de qué manera influyen en los diferentes ámbitos, sean estos geográficos (localidad o región), geopolíticos (municipio, estado, país), fisiográficos (suelo, vegetación) o los caracterizados por la actividad humana (población, vivienda, infraestructura).

Para la elaboración de mapas que impliquen la valoración del riesgo, se deberá tener información confiable y homogénea, debido a la complejidad de simular la interacción entre las amenazas, el entorno físico y la vulnerabilidad física y social. Se pueden lograr aproximaciones con mapas de índices de riesgos, donde se determina la probabilidad de riesgo a través de un modelo físico-matemático, involucrando al peligro, a la vulnerabilidad y al sistema estudiado, mediante simplificaciones que requieren validación y calibración previas. Estos modelos son desarrollados por instituciones de investigación del país, entre las que se encuentra el Instituto de Ingeniería de la UNAM; sin embargo la calibración de los mismos se deberá hacer tras evaluar los daños y pérdidas ocasionados por un fenómeno y compararlos con los resultados obtenidos de escenarios previos; de esta manera, se podrán hacer comparaciones y los modelos se acercarán más a la realidad.

Escenario de Riesgo para la ciudad de Colima, para un sismo con periodo de retorno de 100 años, considerando el sistema expuesto a la vivienda de mampostería confinada de 3 y 4 niveles.

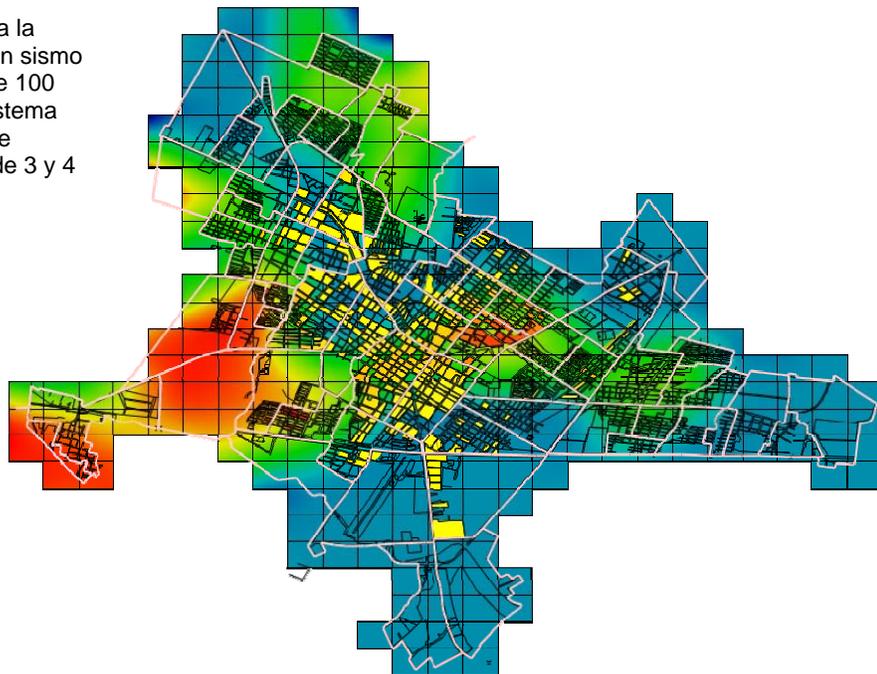


Figura 1.4 Ejemplo de mapa de riesgo (CENAPRED, 2007)

1.1.5 Niveles de Percepción del Riesgo

Parte importante en la definición de un atlas de riesgo, es tener en cuenta que la percepción (forma de entender los mapas y la información contenida en los mismos) variará dependiendo el público a quien se dirija la información:

- a) Funcionarios: Tendrán que incorporar los resultados finales del análisis a las políticas de desarrollo urbano o reordenamiento territorial, así como diseñar los planes de prevención, mitigación y atención de emergencias con base en los escenarios de riesgo.
- b) Población común: Los productos deberán ser de fácil comprensión con leyendas que expliquen el fenómeno y la clasificación del riesgo; estos mapas deben referir muy claramente el entorno y la ubicación de sus potenciales usuarios, de manera que puedan percibir la ubicación de su vivienda y generar conciencia del nivel del riesgo en el que se encuentran.
- c) Académicos: Se deberá contar con productos más elaborados que contengan la descripción de la metodología, y la fuente y exactitud de los datos.

1.1.6 Dependencias relacionadas con el diagnóstico de peligro

1.1.6.1 Secretaría de Desarrollo Social

Desde el punto de vista del riesgo, el patrón territorial de México muestra una polarización marcada que provoca costos económicos y sociales altos: por un lado una excesiva concentración de cerca de 20 millones de habitantes en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, con los consiguientes problemas de deterioro de la calidad de vida, congestionamiento y dificultades de operación; y, por el otro, una dispersión enorme de la población en cerca de 185,000 pequeñas localidades, a las que es extremadamente difícil dotar de infraestructura, equipamientos y servicios adecuados. Esta situación conlleva a aumentar el sistema expuesto a desastres.

Ante este desafío el país precisa una política territorial que permita impulsar, con un enfoque de largo plazo, el desarrollo social reduciendo las disparidades regionales, compensar a las regiones rezagadas, distribuir jerárquicamente los equipamientos, y aumentar el acceso a las oportunidades de progreso para todos los pobladores del país.

También se requiere una política de desarrollo urbano eficaz que dé certidumbre a todos los sectores sociales, que favorezca una estructuración urbana más equitativa y eficiente, con una mezcla adecuada del suelo, la operación eficiente de transportes públicos y la dotación adecuada de suelo, infraestructura, equipamientos y servicios urbanos. Es muy importante que contribuya a la sustentabilidad, propiciando un desarrollo más ordenado, menos disperso; que permita reducir los efectos de ocupación en las tierras agrícolas de buena calidad, en las reservas naturales o en áreas peligrosas; que propicie un uso racional del agua y de la energía; y que contribuya a respetar las capacidades de los vertederos de desechos.

En particular, esta política urbana debe asegurar que los conjuntos habitacionales que se realicen estén vinculados al tejido urbano, cuenten con equipamientos, transporte público y una relación efectiva con los centros de trabajo; debiendo también impulsar la recuperación, conservación y aprovechamiento de los espacios públicos urbanos. En este sentido, esta política contribuye a la reducción del riesgo mediante la implementación de medidas organizadas que disminuyen la vulnerabilidad de los espacios utilizados, al ser éste un uso adecuado y que cumple con las normas impuestas, así, en caso de algún evento perjudicial, los daños serán mínimos y la organización será óptima en caso de evacuaciones necesarias.

Una planeación territorial, en síntesis, que impulse el desarrollo, poniendo énfasis en la mitigación de la pobreza, la calidad de la vida, la inclusión social, la sustentabilidad ambiental, la productividad, la competitividad, y la participación en el entorno económico global prevaeciente. Esta planeación territorial, aplicada de forma adecuada, permitirá reducir la vulnerabilidad social ante los desastres, convirtiéndose en una medida fundamental para la prevención de los mismos.

La Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio (SDU y OT) de la Secretaría de Desarrollo Social, es el área encargada de diseñar, planear, promover, normar y coordinar las políticas relacionadas con la ordenación del territorio y el desarrollo de las ciudades, metrópolis y regiones del país, con el fin de:

- Impulsar un enfoque de planeación regional sistémico, intersectorial, coordinado y concertado, de plazo largo, con consideración explícita del territorio, debidamente incorporado al Plan Nacional de Desarrollo como su dimensión espacial.
- Integrar de manera armónica desarrollo social, crecimiento económico, sustentabilidad ambiental y ordenamiento físico-espacial.

Su misión es formular, conducir y promover políticas territoriales que orienten el desarrollo incluyente, ordenado y sustentable de las regiones y sus ciudades; coordinando con autoridades estatales y municipales la implementación de programas y proyectos de impulso a las actividades sociales y económicas locales y la participación de los sectores social y privado en las decisiones y acciones para enfrentar los retos de la globalización y la integración social.

Su aplicación, como se presenta en la tabla 1, se realiza en los diferentes ámbitos del territorio nacional, generando instrumentos y proyectos a nivel nacional, regional, urbano y de barrio.

Tabla 1.1 Campos de Acción de la SEDESOL (SEDESOL, 2007)

1.- Prevención de desastres	Prevención del deterioro de los recursos del país, como de los daños que pudieran derivarse de los desastres causados por fenómenos de origen natural, así como la reparación oportuna y adecuada de las viviendas y la infraestructura cuando las mismas resulten dañadas.
2.- Infraestructura y servicios urbanos	El mejoramiento de la infraestructura (redes de agua, luz, drenaje y electricidad) equipamiento y servicios urbanos, orientados principalmente a la atención de zonas urbano – marginadas.
3.- Atención a la población urbana en situación de pobreza patrimonial	El combate a la pobreza urbana con la participación de los tres órdenes de gobierno y distintos sectores de la población.
4.- Planeación del desarrollo regional	Definición e implementación de estrategias, políticas y programas de desarrollo regional, promoviendo la participación de autoridades locales e instituciones sociales. Promoción de una cultura de planeación del desarrollo regional para apoyar el mejoramiento de las condiciones de

	vida de los grupos sociales más desfavorecidos
5.- Desarrollo territorial	La formulación y ejecución de una política territorial que propicie el desarrollo nacional mediante el mejor aprovechamiento de las ventajas comparativas derivadas de la ubicación y dotación de recursos de que dispone el territorio nacional.
6.- Reordenamiento territorial	El reordenamiento de las actividades económicas y sociales de las ciudades del país, así como su crecimiento ordenado y sustentable.

Los programas, proyectos y acciones que lleva a cabo esta Secretaría, directamente relacionados con la gestión del riesgo son:

1.- Hábitat, dirigido a enfrentar los desafíos de la pobreza y el desarrollo urbano mediante acciones que combinan el mejoramiento de la infraestructura y el equipamiento de las zonas urbano marginadas, con la entrega de servicios sociales y acciones de desarrollo comunitario para integrar estas zonas y a sus habitantes, a las oportunidades que las ciudades ofrecen. Estas acciones contribuyen a reducir la vulnerabilidad de las ciudades ante el impacto de diversos fenómenos.

2.- Reservas territoriales y derechos de vía, encaminado a constituir reservas territoriales y derechos de vía en el marco de los planes locales de desarrollo urbano y la previsión del crecimiento de las ciudades, para aspectos relacionados con la reconstrucción.

3.- Consolidar y estructurar las zonas urbanas actuales, articulando la vivienda con el tejido urbano, mezclando y enriqueciendo los usos del suelo. Movilidad urbana, para establecer una política federal a los sistemas de transporte urbanos y metropolitanos, estableciendo mecanismos para su operación; así como para el fortalecimiento, reestructuración y mejoramiento de estos servicios, lo que permite disminuir la vulnerabilidad física y social antes distintos fenómenos.

1.1.6.1.1 Programa Hábitat

El objetivo de este programa es contribuir a superar la pobreza urbana, mejorar el hábitat popular y hacer de las ciudades y sus barrios espacios ordenados, seguros y habitables. Hábitat enfrenta los desafíos de la pobreza urbana mediante la instrumentación de acciones que combinan, el mejoramiento de la infraestructura básica y el equipamiento de las zonas urbano-marginadas con la entrega de servicios sociales y acciones de desarrollo comunitario.

La población objetivo se constituye, preferentemente, por los integrantes de los hogares en situación de pobreza patrimonial, asentados en las ciudades y zonas metropolitanas seleccionadas. Se otorga atención especial a la población en situación de vulnerabilidad, como son personas con capacidades diferentes, adultos mayores, residentes en inmuebles o zonas de riesgo, migrantes devueltos a las ciudades fronterizas mexicanas y grupos indígenas asentados en las ciudades.

El Programa se estructura en dos vertientes, General y Centros Históricos, que definen ámbitos territoriales de actuación:

- Vertiente General: Está constituida por las ciudades y zonas metropolitanas mayores de 15 mil habitantes, de las 32 entidades federativas del país, mismas que se señalan en el anexo III de las Reglas de Operación 2007.

- **Vertiente Centros Históricos:** Se orienta a la protección, conservación y revitalización de los Centros Históricos inscritos en la lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO: Campeche, Ciudad de México —incluido Xochimilco—, Guanajuato, Morelia, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Tlacotalpan (Veracruz) y Zacatecas.

En cada una de las ciudades elegidas, el programa identifica, selecciona y dirige sus acciones a uno o más Polígonos Hábitat. Éstos están constituidos por un conjunto de manzanas en las que se concentra la pobreza patrimonial. Hábitat se estructura en modalidades, que agrupan las líneas de acción que son apoyadas con recursos del programa, en específico el mejoramiento del entorno urbano.

Este mejoramiento del entorno urbano, busca introducir, ampliar o mejorar la infraestructura y los servicios urbanos básicos en los asentamientos precarios e integrarlos a la ciudad; mejorar el entorno ecológico; reducir la vulnerabilidad de la población asentada en zonas e inmuebles de riesgo, frente a amenazas de origen natural; fortalecer la provisión o rehabilitación del equipamiento y mobiliario urbanos; apoyar la protección, conservación o revitalización de los Centros Históricos y, en general, contribuir a conservar y mejorar la imagen urbana.

El mejorar el entorno urbano ayudará a que varias zonas y sectores de la población reduzcan su vulnerabilidad ante fenómenos que puedan ocasionar un desastre, siendo menores los daños a la infraestructura y propiciando un apoyo eficiente en caso contrario. Si el objetivo de este parte de Hábitat se logra satisfactoriamente, la vulnerabilidad y el riesgo podrán verse reducidos notablemente, sobre todo si dentro de este programa se toma en cuenta también la participación ciudadana en cuanto a la divulgación de la información preventiva necesaria.

1.1.7 Plan Nacional de Desarrollo (2007-2012)

El Plan Nacional de Desarrollo establece que la política de desarrollo social y humano tiene como objetivos: mejorar los niveles de educación y de bienestar de los mexicanos; acrecentar la equidad y la igualdad de oportunidades; impulsar la educación para el desarrollo de las capacidades personales y de iniciativa individual y colectiva; fortalecer la cohesión y el capital sociales; lograr un desarrollo social y humano en armonía con la naturaleza, así como ampliar la capacidad de respuesta gubernamental para fomentar la confianza ciudadana en las instituciones.

En cuanto al estudio de riesgos, alcanzar estos objetivos es importante, ya que un nivel educativo mejor implica un mayor nivel de información y de educación en cuanto a prevención se refiere; el desarrollo social, económico y humano disminuirá la vulnerabilidad en diversos sectores de la población; y por último, una respuesta mejor por parte de las autoridades no sólo aumentará la confianza de la población hacia el gobierno, sino que se evitarán más daños y víctimas antes, durante y después de un desastre.

En la primera parte de este plan se define el desarrollo humano sustentable como premisa básica para el desarrollo integral del país, así como los objetivos y las prioridades nacionales que habrán de regir la presente Administración. La segunda parte, consta de cinco capítulos que corresponden a los cinco ejes de política pública de este Plan; en cada uno de estos ejes se presenta información relevante de la situación del país en el aspecto correspondiente y a partir de ello se establecen sus objetivos y estrategias respectivos. Este plan propone una estrategia integral donde estos cinco ejes están estrechamente relacionados. Dada esta interrelación de estrategias, se observará que entre los distintos ejes hay estrategias que se comparten. Dicho de otra forma, a lo

largo de los cinco ejes se encontrarán estrategias similares, que específicamente hacen referencia al tema central del eje. Los objetivos relacionados con la gestión de riesgo son:

1. Garantizar la seguridad nacional, salvaguardar la paz, la integridad, la independencia y la soberanía del país, y asegurar la viabilidad del Estado y de la democracia.
2. Alcanzar un crecimiento económico sostenido más acelerado y generar los empleos formales que permitan a todos los mexicanos, especialmente a aquellos que viven en pobreza, tener un ingreso digno y mejorar su calidad de vida.
3. Reducir la pobreza extrema y asegurar la igualdad de oportunidades y la ampliación de capacidades para que todos los mexicanos mejoren significativamente su calidad de vida y tengan garantizados: alimentación, salud, educación, vivienda digna y un medio ambiente adecuado para su desarrollo tal y como lo establece la Constitución.
4. Asegurar la sustentabilidad ambiental mediante la participación responsable de los mexicanos en el cuidado, la protección, la preservación y el aprovechamiento racional de la riqueza natural del país, logrando así afianzar el desarrollo económico y social sin comprometer el patrimonio natural y la calidad de vida de las generaciones futuras.

Con base en lo precedente, el Plan Nacional de Desarrollo plantea una estrategia integral de política pública al reconocer que los retos que enfrenta nuestro país son multidimensionales. Avanzar en sólo algunos ámbitos de acción, descuidando la complementariedad necesaria entre las políticas públicas, es una estrategia condenada a un desarrollo desequilibrado e insuficiente.

Garantizar la igualdad de oportunidades requiere que los individuos puedan contar con capacidades plenas. Es preciso lograr condiciones de salud básicas para que exista una calidad de vida verdadera, para que las personas en situación más vulnerable aprovechen los sistemas de educación y de empleo.

También se procura el desarrollo de manera integral, pues plantea el fortalecimiento de la comunidad familiar como eje de una política que, a su vez, en forma sustantiva, promueva la formación y la realización de las personas. Éste es el punto de partida de cualquier forma de solidaridad social y de toda capacidad afectiva, moral y profesional, es por ello que el desarrollo humano ha de apoyarse en políticas que contribuyan a la fortaleza de las familias en el orden de la salud, la alimentación, la educación, la vivienda, la cultura y el deporte.

Finalmente, el Desarrollo Humano Sustentable promueve la modernización integral de México porque permitirá que las generaciones futuras puedan beneficiarse del medio ambiente gracias a las acciones responsables del mexicano de hoy para emplearlo y preservarlo. No se respetarán ni conservarán los recursos naturales del país, ni la biodiversidad del entorno ecológico si no se transforma significativamente la cultura ambiental de nuestra sociedad. Es necesaria una nueva cultura ambiental que incluya un mejor entendimiento de los fenómenos naturales, como punto de partida para una cultura de prevención verdadera ante estos fenómenos, mediante su comprensión y una participación ciudadana constante.

Es necesario que toda política pública que se diseñe e instrumente en nuestro país incluya de manera efectiva el elemento ecológico para que se propicie un medio ambiente sano en todo el territorio, así como el equilibrio de las reservas de la biosfera con que contamos. Sólo de esa manera lograremos que las políticas de hoy aseguren el sustento ecológico del mañana.

Este Plan, partiendo de un diagnóstico de nuestra realidad, articula un conjunto de objetivos y estrategias en torno a cinco ejes, siendo los ejes 1 y 4 los que guardan mayor relación con el estudio del riesgo:

1. Estado de derecho y seguridad.
2. Economía competitiva y generadora de empleos.
3. Igualdad de oportunidades.
4. Sustentabilidad ambiental.
5. Democracia efectiva y política exterior responsable.

Cada eje establece el camino para actuar sobre un capítulo de vida de la nación. Es por ello que este Plan Nacional de Desarrollo reconoce que la actuación de toda la sociedad y el Gobierno es necesaria para lograr el Desarrollo Humano Sustentable. Aún más, es responsabilidad del Gobierno actuar para promover la participación de la sociedad en las tareas que implican estos ejes de política pública. De tal suerte, el Gobierno propone un plan de acción conjunta respecto a la sociedad y, al hacerlo, acepta un compromiso indeclinable.

El eje de mayor interés para esta investigación es el cuarto, que se refiere a la sustentabilidad ambiental; los recursos naturales son la base de la sobrevivencia y la vida digna de las personas. Es por ello que la sustentabilidad de los ecosistemas es básica para una estrategia integral de desarrollo humano. En primer término, una administración responsable e inteligente de nuestros recursos naturales es el punto de partida para contar con políticas públicas que efectivamente promuevan la sustentabilidad del medio ambiente. Al mejorar las condiciones actuales de vida de la población mediante el uso racional de los recursos naturales, se asegurará el patrimonio de las generaciones futuras.

La variedad de ecosistemas que coexisten el territorio nacional alberga una biodiversidad única en el planeta. Es necesario reconocer que la depredación del medio ambiente en México ha sido extremadamente grave en términos de su profundidad y con consecuencias sobre las condiciones de vida y las posibilidades de verdadero desarrollo del país, así como un aumento en los desastres por fenómenos naturales que afectan a la población.

En cuanto a este eje, el Plan propone que un primer elemento en el nivel de las políticas públicas para preservar el medio ambiente sea la coordinación interinstitucional efectiva, así como una verdadera integración entre sectores de gobierno, que permitan producir resultados cuantificables.

El objetivo de detener el deterioro del medio ambiente no significa que se dejen de aprovechar los recursos naturales, sino que éstos se utilicen de manera mejor. Avanzar en esa dirección supone que se realicen análisis de impacto ambiental y que se invierta significativamente en investigación y desarrollo de ciencia y tecnología. Mediante esta nueva disponibilidad tecnológica se logrará que con lo mismos recursos humanos, naturales y de capital se logre una mayor productividad.

Para que México logre una sustentabilidad ambiental verdadera es necesario que se concilie el medio ambiente con otras dos grandes áreas de sustentabilidad del desarrollo humano: la productividad y la competitividad de la economía como un todo. Existen varias formas de lograr esa conciliación: una de ellas es la realización de proyectos productivos que se vinculen a la restitución de áreas naturales como las forestales, que impliquen pagos de servicios ambientales y que permitan detener la pérdida de fuentes acuíferas, así como el avance de la desertificación del territorio.

Otras acciones que propone este Plan, bajo esta perspectiva, tienen que ver con la valuación económica de los recursos naturales, los apoyos económicos a los dueños de bosques y selvas, el manejo racional del agua, el control efectivo de los incendios forestales y la promoción del ecoturismo.

Finalmente, este Plan Nacional de Desarrollo establece que la sustentabilidad ambiental exige que México se sume con toda eficacia y con toda responsabilidad a los esfuerzos internacionales por evitar que el planeta llegue a sufrir dislocaciones ambientales sin remedio, como el calentamiento global. El desarrollo humano sustentable exige que nuestro país, junto con las naciones del mundo, comparta el principio de que los recursos naturales y la estabilidad climática representan un bien público para toda la humanidad, y por lo mismo han de ser preservados con toda efectividad.

Aún cuando el Plan Nacional de Desarrollo muestra una preocupación por el ambiente, no hay objetivos específicos en cuanto a la materia de riesgos, siendo insuficiente la información que da sobre ello, por lo que no se puede esperar un desarrollo adecuado de la prevención en la población. Su visión del riesgo es muy reducida, y no toma en cuenta el entorno físico y social que se relacionan con éste, siendo esta parte muy importante para un estudio de riesgo adecuado, ya que conociendo estos entornos a fondo se tendrá una mejor visión de aspectos como la vulnerabilidad y el peligro a los que está expuesta una población, dependiendo del lugar donde se encuentren y la calidad de vida que lleven.

Esto es, la visión centrada en el aspecto ambiental no es el todo para un estudio adecuado que lleve a la reducción del riesgo, pues se tiene que tomar en cuenta a la población como el objeto que está en riesgo, que es vulnerable. Al tomar en cuenta sólo el aspecto ambiental, este Plan se está olvidando del principal modificador del ambiente y del mayor precursor y más importante elemento de los desastres, ya que un fenómeno natural no se convierte en un desastre hasta que hay víctimas y pérdidas de por medio. Es por eso que las políticas y los planes ambientales que se realicen deberán tener en cuenta el riesgo como un factor importante tanto en el desarrollo ambiental como en el desarrollo social del país, para así lograr una reducción importante del mismo.

1.2 Objetivo

El objetivo general del trabajo presente es establecer los elementos que conforman un sistema de información geográfica sobre riesgos, mediante la integración de información estadística y geográfica y la derivación a través de algoritmos diferentes para la generación de información sobre peligro, vulnerabilidad y riesgo, para la difusión a la población en general y a los encargados de la toma de decisiones.

Los objetivos particulares de la tesis son los siguientes:

1. Llevar a cabo una revisión de los fenómenos perturbadores diferentes que impactan regularmente a la República Mexicana.
2. Conocer los procesos de generación, la clasificación y el impacto de riesgos, así como proponer medidas de prevención y mitigación de sus efectos.
3. Llevar a cabo un estudio de caso de un fenómeno real y proponer la logística más adecuada para la vuelta a la normalidad.

1.3 Alcance

Este documento se ha dividido en seis capítulos; el primero es la introducción, donde se presenta un marco general y normativo sobre los atlas de riesgo, se hará énfasis en la necesidad de contar con grupos interdisciplinarios e interinstitucionales que consoliden estos estudios, así mismo la relación del estudio de riesgo con el ámbito del desarrollo social, la protección civil y la seguridad nacional.

En el capítulo II se presentan ejemplos de aplicación de SIG en estudios diversos y atlas estatales, se hará un comparativo entre cartografía diferente generada a partir de los sistemas y se expondrán cuales son las características de algunos trabajos elaborados en el ámbito mexicano. Posteriormente se presentarán cuales son los análisis más frecuentes para la generación de información sobre peligro y riesgo, y cuales son las herramientas que pueden utilizarse para análisis; como álgebra de mapas, análisis geoestadísticos, análisis tridimensionales y otros elaborados a partir de la clasificación de imágenes de satélite.

El marco homogéneo se proponen en el capítulo III, donde se presentan cuales son los marcos geoestadísticos (referentes a la condición geoespacial de las divisiones políticas), municipales, estatales y nacionales. Se llevará a cabo un análisis de las fuentes existentes que representan geográficamente al territorio nacional y se llevará a cabo una relación entre los rasgos naturales y las variables necesarias para llevar a cabo el diagnóstico de diversos peligros, como por ejemplo, la conformación del terreno y la pendiente que es una variable a considerar para el estudio de inundaciones y deslizamiento de laderas. De manera adicional se expondrán los estudios existentes en el país en materia de peligros y las variables socioeconómicas que permitirán modelar y estudiar la vulnerabilidad física y social a partir de datos censales.

En el capítulo IV, se propone un modelo para la integración de datos espaciales y como los datos pueden generar información a través de una infraestructura específica para el riesgo, se generará un diccionario de datos que permitirá conocer cuales son las características de los datos y su correlación entre sí, mediante un modelo que permitirá clasificar y agrupar la información de acuerdo a elementos temáticos, finalmente se expondrán los elementos generales para que la información pueda ser integrada en un Sistema de Información Geográfico, con una orientación específica para la prevención de desastres.

Como parte de la validación de la hipótesis, en el capítulo V se lleva a cabo una aplicación de la metodología, en específico para la Ciudad de Acapulco, se integrará información de diversas fuentes, se analizarán espacialmente las variables que condicionan el peligro y se generarán indicadores cualitativos del riesgo por medio de información geoestadística y fisiográfica de la región. Finalmente se propondrán algunas medidas estructurales y no estructurales para la reducción del riesgo.

En el último capítulo se presentan las conclusiones y se pondrán a discusión algunos aspectos relacionados con la Geografía y con la interrelación de ésta en el diagnóstico del peligro y la determinación del riesgo de desastre en México.

CAPÍTULO II
LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

CAPÍTULO II: LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

2.1 ¿Qué es un Sistema de Información Geográfica?

En los últimos años se han desarrollado tecnologías diversas que facilitan en gran medida la tarea de obtener los datos necesarios para los diagnósticos de riesgos, sobre todo porque reducen la necesidad de mediciones directas de campo. Algunas de las más importantes son:

- **Tecnología satelital:** Desde el lanzamiento del primer satélite estacionario al espacio, la cantidad y calidad de la información que se puede usar para la prevención de desastres ha aumentado drásticamente; las herramientas principales son las fotografías satelitales, los sistemas de posicionamiento global (GPS) y la comunicación satelital.
- **Imágenes Satelitales:** Junto con las imágenes de radar son la base de los sistemas de monitoreo y diagnóstico meteorológicos, ya que han permitido un gran avance en el pronóstico de huracanes y en sus sistemas de alertas. En el diagnóstico de riesgos sirven para obtener información acerca de la superficie terrestre, así como características de ésta que indiquen situaciones peligrosas, es decir, huellas de eventos pasados que muestren que pueden repetirse; así pueden delimitarse zonas de peligro. La observación satelital abarca diversos tipos de medición (infrarroja, ultravioleta, etc.), por lo que se pueden elaborar muchos productos como mapas y representaciones tridimensionales.
- **Sistemas de Posicionamiento Global:** Son dispositivos que reciben y transmiten señales entre el punto donde están y determinados satélites, con el fin de obtener las coordenadas de ese punto; la precisión de estos sistemas ha aumentado, pero aún no lo suficiente para un levantamiento topográfico detallado, para este tipo de tareas existe el posicionamiento diferencial, donde se toman las coordenadas de un punto y se determinan las diferencias de éste con otro punto de coordenadas conocidas.
- **Telecomunicación:** Satelital o no, proporciona una gran capacidad de transmisión de datos y de información. El Internet es el medio más poderoso de acceso a la información para elaborar diagnósticos de riesgos.
- **Redes de información global:** Se basan en la comunicación satelital, y permiten el acceso e intercambio de datos, así como la comunicación entre los interesados en el tema; las instituciones relacionadas con el tema de prevención de desastres cuentan con sus páginas de Internet, donde hay datos útiles para los estudios de riesgo. Sin embargo, la información disponible no está a la escala necesaria para estudios locales, pero sirve como base para elaborar este tipo de estudios.
- **Tecnología informática:** El procesamiento digital de información por medio de computadoras, ligado a los medios electrónicos de transmisión y comunicación de dicha información, ha constituido el avance tecnológico más significativo de las últimas décadas y tiene gran aplicación en la prevención de desastres.

Se han creado grandes bases de datos, que es una serie de capas de información espacial en formato digital que representan diversas variables, o bien capas que representan entidades a los que corresponden varias entradas en una base de datos enlazada. Estas capas corresponden a la misma zona, de manera que pueden analizarse en conjunto. De este modo puede combinarse, en un mismo

sistema, información espacial y temática, con orígenes y formatos muy diversos. Contienen información exhaustiva sobre los temas más variados, las cuales pueden servir de base para estudios específicos. Los sistemas de este tipo que han tenido mayor auge para la realización de diagnósticos de riesgos son los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permiten recolectar, almacenar, procesar y desplegar gráficamente grandes cantidades de datos de tipo “espacial”, o sea que se pueden ubicar en el espacio, esencialmente en mapas geográficos. La información de cada tipo se maneja en capas que pueden superponerse y combinarse. Se pueden introducir datos de topografía, geología, hidrología, población, instalaciones y redes de tipo distinto, escenarios y modelos numéricos de incidencias de fenómenos diversos; el manejo conjunto de toda esta información permite elaborar representaciones muy detalladas y completas de mapas de peligros y de riesgo. También se prestan estos sistemas para el diseño y manejo de planes de contingencia (planes operativos de emergencia). La mayor fuente de bases de datos directamente aprovechables para la elaboración de SIG es el INEGI. Existen en el mercado diversos paquetes de cómputo para guiar en la elaboración de un SIG: los más populares son el ARQINFO y MAPINFO.

Al enfrentarse a eventos extremos (desastres), muchos de los problemas críticos que surgen son espaciales. Ya sea que un analista esté evaluando el impacto potencial de un peligro, o un administrador de emergencias esté identificando las mejores rutas de evacuación durante un desastre, o un ingeniero civil esté planeando una reconstrucción después de un desastre, todos estos individuos se enfrentan a tareas con un fuerte componente espacial. Por esta razón, el espacio geográfico es un marco de referencia para razonar acerca de muchos problemas que surgen en el contexto de la administración de emergencias.

Los SIGs fueron diseñados para apoyar las dudas geográficas y, últimamente, para la toma de decisiones espaciales. El valor de los SIGs en la administración de emergencias surge directamente de los beneficios de integrar una tecnología diseñada para apoyar la toma de decisiones espaciales en un campo con una gran necesidad de dirigir decisiones críticas espaciales numerosas. Por esta razón, las aplicaciones nuevas de los SIGs en la administración de emergencias han florecido en los años recientes junto con un interés en mantener esta tendencia. Sumado a este interés creciente, la adopción de los SIGs en la zona de administración de las emergencias ha sido reforzada por legislaciones a su favor apreciando el uso de información espacial en una emergencia.

Aunque esta atención indica que el uso de los SIGs en planeación de emergencias está aumentando, es aún un área de investigación relativamente joven con muy pocos artículos de referencia. Por esta razón, las conferencias, revistas y reportes técnicos son esenciales para tener una imagen completa de lo que sucede en esta área. Sin embargo, como otras aplicaciones de los SIGs, la administración de emergencias no está aislada, y hay numerosas relaciones con la administración, aplicación e innovaciones técnicas que afectan su área de aplicación.

Varias son las definiciones que podemos adoptar a la hora de definir un SIG. En términos generales podemos decir que se trata de un sistema informático capaz de mantener y usar datos con localizaciones exactas en la superficie terrestre.

Este sistema está compuesto por hardware, software y procedimientos diseñados para soportar la captura, administración, manipulación, análisis y representación de datos u objetos georreferenciados espacialmente, con la finalidad de resolver problemas complejos de planificación y administración.

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica, constituida por datos alfanuméricos, la cual se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un

mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

El Sistema de Información Geográfica separa la información en capas temáticas diferentes y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos.

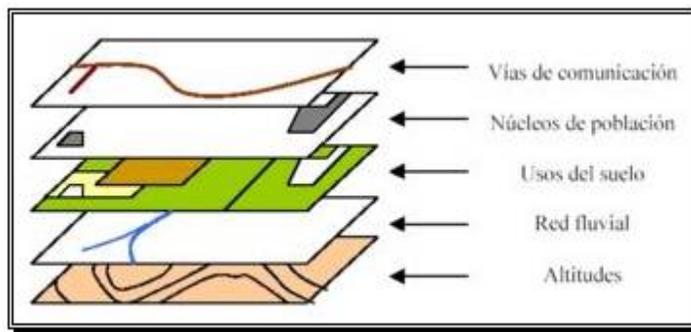


Figura 2.1 Un Sistema de Información Geográfica puede mostrar la información en capas temáticas para realizar análisis multicriterio

Desde un punto de vista práctico, un Sistema de Información Geográfica es un sistema informático capaz de realizar una gestión completa de datos geográficos referenciados. Por referenciados se entiende que estos datos geográficos o mapas tienen unas coordenadas geográficas reales asociadas, las cuales nos permiten manejar y hacer análisis con datos reales como longitudes, perímetros o áreas. Todos estos datos alfanuméricos asociados a los mapas, los gestiona una base de datos integrada en el SIG, como se muestra en la figura 2.1.

La producción cartográfica y el análisis geográfico no son nuevos, pero un SIG desarrolla estas tareas mejor y más rápidamente que los métodos manuales antiguos. Y antes del surgimiento de la tecnología SIG sólo pocas personas tenían las habilidades necesarias para utilizar información geográfica en el momento de tomar decisiones y resolver problemas.

2.2 Historia de los Sistemas de Información Geográfica

Desde la época fenicia se empezaron a sentar las bases de lo que actualmente se conocen como Sistemas de Información Geográfica. Los fenicios fueron navegantes, exploradores y estrategas militares que recopilaban información en un formato pictórico y desarrollaron una cartografía "primitiva" que permitió la expansión y mezcla de razas y culturas.

Por su parte, los griegos aportaron elementos para completar la cartografía utilizando medición de distancias con el modelo matemático de Pitágoras. Éstos se convirtieron en navegantes e hicieron observaciones astronómicas para medir distancias sobre la superficie de la Tierra. Esta información se guardó en mapas, como se puede observar en la figura 2.2.



Figura 2.2 Mapa de la Grecia antigua del Siglo VII A.C.

Los romanos desarrollaron el Imperio utilizando frecuentemente el banco de datos heredado de los griegos. La logística de infraestructura permitió un alto grado de organización política y económica, soportada principalmente por el manejo centralizado de recursos de información.



Figura 2.3 Mapa de la Roma antigua

Desde las invasiones bárbaras y hasta el Siglo XVIII disminuyó drásticamente el ritmo de desarrollo de civilización en el continente europeo, siendo en este siglo cuando se empezó de nuevo a reconocer la importancia de organizar y sistematizar de alguna manera la información espacial. Se crearon organismos, los cuales han subsistido hasta el día de hoy, comisionados para ejecutar la recopilación de información y producir mapas topográficos a nivel de países enteros.

En el siglo XIX, con el avance tecnológico basado en el conocimiento científico de la Tierra, se produjeron grandes volúmenes de información geomorfológica que se debían cartografiar; la orientación espacial de la información se conservó con la superposición de mapas temáticos especializados sobre un mapa topográfico base.

Recientemente las fotografías aéreas e imágenes de satélite han permitido la observación periódica de los fenómenos sobre la superficie terrestre. La información producida por este tipo de sensores ha exigido el desarrollo de herramientas para lograr una representación cartográfica de este tipo de información. El medio en el cual se desarrollaron estas herramientas tecnológicas correspondió a las ciencias de teledetección, análisis de imágenes, reconocimiento de patrones y procesamiento digital de información, generalmente estudiadas por físicos, matemáticos y científicos expertos en procesamientos espaciales; obviamente éstos tenían un concepto diferente al de los cartógrafos con respecto a la representación visual de la información.



Figura 2.4 Fotografía aérea

Con el transcurso del tiempo se ha logrado desarrollar un trabajo multidisciplinario y es por esta razón que ha sido posible pensar en utilizar la herramienta conocida como Sistemas de Información Geográfica (SIG). Durante las décadas de los sesenta y setenta se empezó a aplicar la tecnología digital al desarrollo de tecnología automatizada. Excluyendo cambios estructurales en el manejo de la información, la mayoría de programas estuvieron dirigidos hacia la automatización del trabajo cartográfico; algunos pocos exploraron nuevos métodos para el manejo de información espacial, y se siguieron básicamente dos tendencias:

- ◆ Producción automática de dibujos con un alto nivel de calidad pictórica
- ◆ Producción de información basada en el análisis espacial pero con el costo de una calidad gráfica baja.

La producción automática de dibujos se basó en la tecnología de Diseño Asistido por Computador (Computer Aided Design, CAD). El CAD se utilizó en la cartografía para aumentar la productividad en la generación y actualización de mapas. El modelo de base de datos de CAD maneja la información espacial como dibujos electrónicos compuestos por entidades gráficas organizadas en planos de visualización o capas.

En la década de los ochenta se hizo latente la expansión del uso de los SIG, facilitado por la comercialización simultánea de un gran número de herramientas de dibujo y diseño asistido por ordenador, así como la generalización del uso de microordenadores y estaciones de trabajo en la industria y la aparición y consolidación de Sistemas de Gestión de Bases de Datos (SGBD), junto a los primeros modelos de las relaciones espaciales o topología. En este sentido la aparición de productos como ARC-INFO en el ámbito del SIG fue determinante para lanzar un nuevo mercado

con una rapidísima expansión. La aparición de la Orientación a Objetos (OO) en los SIG permite nuevas concepciones de éstos, donde se integra todo lo referido a cada entidad. Pronto los SIG se comienzan a utilizar en cualquier disciplina que necesite de la combinación de planos cartográficos y bases de datos como:

- Diseño de carreteras, presas y embalses
- Estudios medioambientales
- Estudios socioeconómicos y demográficos
- Planificación de líneas de comunicación
- Ordenación del territorio.
- Estudios geológicos y geofísicos.

Los años noventa se caracterizan por la madurez en el uso de estas tecnologías en los ámbitos tradicionales mencionados y por su expansión a campos nuevos (como el de los negocios), todo esto propiciado por el uso de los ordenadores de gran potencia y sin embargo muy accesibles.

A partir de 1998 se empezaron a colocar en distintas órbitas una serie de familias de satélites que nos traen a los computadores personales fotografías digitales de la superficie de la Tierra con resoluciones que oscilan entre 10 metros y 50 centímetros.

Para la geografía, la geología, la topografía, la biología y demás ciencias que hacen uso de la información geográfica los SIG han constituido una verdadera revolución para el conocimiento de los elementos y fenómenos que tienen lugar en la superficie terrestre. En su evolución histórica está mayoritariamente aceptada la existencia de unos periodos más o menos claros y definidos que engloban las distintas fases por las que ha transcurrido la evolución de los SIG desde su aparición hace casi cuarenta años.

2.2.1 Etapas históricas de los Sistemas de Información Geográfica

2.2.1.1 Primera etapa

La primera etapa se extendería desde las primeras aproximaciones de los años cincuenta hasta mediados de los setenta y se caracteriza por los esfuerzos individuales en el desarrollo y la aplicación de los sistemas.

El nacimiento de los SIG va ligado al desarrollo de otros sistemas, de los cuales ellos son claros herederos por su similitud, los sistemas de cartografía asistida por ordenador. Una característica importante de estos primeros pasos es que en todos los casos analizados las personas que iniciaron el desarrollo de estas tecnologías, desconocían realmente que lo que estaban creando eran Sistemas de Información Geográfica.

Por un lado encontramos instituciones y otras instancias gubernamentales que ponen en marcha sus iniciativas de manera particular para resolver los problemas derivados de sus actividades relacionadas con el tratamiento de la información geográfica. Por otro lado está el grupo que engloba a las universidades. En ellas también se intentan encontrar nuevos métodos para el tratamiento de la información espacial. Este grupo busca el desarrollo de sistemas automáticos con los que realizar análisis de datos geográficos y no tanto la producción de cartografía. Lo que ambos

grupos buscan es conseguir unas aplicaciones que de forma automática resuelvan cuestiones que hasta la fecha se habían solventado de manera manual.

Las iniciativas pioneras se llevaron a cabo en Canadá, Estados Unidos, y Gran Bretaña. El segundo de ellos es el más significativo en la evolución de los SIG, y no puede compararse con ningún otro lugar, tanto en el ámbito propio de los Sistemas de Información Geográfica como en el de las tecnologías relacionadas. Ese protagonismo estadounidense se prolonga desde los años cincuenta del siglo XX hasta la actualidad.

2.2.1.1.1 Canadá

Canadá es referente mundial en la historia de los SIG debido al Canadian Geographic Information System (CGIS), concebido y desarrollado desde 1966 lo que le convierte en el país más antiguo en usar de los Sistemas de Información Geográfica y también el primero que utiliza ese nombre.

2.2.1.1.2 Estados Unidos

Los hitos más importantes de los SIG en los Estados Unidos son:

- **Laboratory of Computer Graphics and Spatial Analysis (LCG).** Creado en 1966 fue la primera iniciativa cuyo objetivo principal era el diseño y desarrollo de software específico para aplicaciones cartográficas. Su principal logro fue el Symap.

- **Trabajos de la administración.** Es un ejemplo claro de dualidad ya que en la mayoría de los casos se usaban programas propios y específicos en base a las necesidades de cada departamento, pero algunas veces también se requirió software de terceros como el mencionado Symap del LCG. Los SIG más significativos son los del United Status Census Bureau (USCB) y el del United Status Geological Survey (USGS).

- **Enviromental Systems Research Institute (ESRI):** No es el único caso que se puede encontrar dentro del grupo de aportaciones comerciales, sin embargo lo que caracteriza a ESRI es su buen olfato comercial, sintetizado en su capacidad de previsión, de visión de futuro, de antelación. Su aportación principal al mundo de los SIG es la creación del estándar mundial en esta tecnología, ArcInfo.

2.2.1.1.3 Gran Bretaña

Gran Bretaña sigue un modelo muy similar al estadounidense por presentar tanto iniciativas a nivel universitario como de la administración pero sin embargo no tiene ejemplos en el sector privado tan significativos como ESRI en los Estados Unidos.

2.2.1.2 Segunda etapa

Siguiendo con las fases de evolución de los SIG, la segunda etapa se solaparía en sus primeros momentos con la primera, iniciándose hacia mediados de los años setenta y extendiéndose hasta principios de los años ochenta.

Esta etapa de desarrollo está caracterizada, en general, por la disminución de la importancia de las iniciativas individuales y un aumento de los intereses a nivel corporativo, especialmente por parte de las instancias gubernamentales y de la administración.

2.2.1.3 Tercera etapa o Fase comercial

Inmediatamente después, también a inicios de los años ochenta, se da lo que se ha venido a conocer como fase comercial. Es en este periodo cuando el interés de distintas grandes industrias relacionadas directa o indirectamente con los SIG crece sobremanera, debido a la gran avalancha de productos en el mercado informático internacional que hicieron generalizarse a esta tecnología.

2.2.1.4 Cuarta etapa

El paso siguiente a la etapa comercial para profesionales, se corresponde con la década de los noventa, donde los Sistemas de Información Geográfica empezaron a difundirse al nivel del usuario doméstico debido a la generalización de los ordenadores personales o microordenadores.

2.2.1.5 Quinta etapa

En los primeros años del siglo XXI la mejora del rendimiento de los ordenadores debido a los avances tecnológicos y la consolidación, por otra parte, de la necesidad de paquetes informáticos de información geográfica conforman una etapa nueva en la evolución de los Sistemas de Información Geográfica, sobretodo con la generalización del uso de Internet que permite la distribución a nivel mundial de cartografía.



Figura 2.5 Satélite Spot-5

Diferentes empresas han iniciado la creación de uno de los mecanismos que será responsable de la habilitación espacial de la tecnología informática. Éste "boom" de los satélites de comunicaciones, está empujando la capacidad de ancho de banda para enviar y recibir datos. Por otro lado, la frecuencia de visita de estos satélites permitirá ver cualquier parte del mundo casi cada hora.

En la actualidad, los SIG han pasado de ser una herramienta usada por técnicos especializados en la materia a funcionar como un instrumento común en la vida de cualquier persona. No tenemos nada más que observar el aumento continuo de las ventas de GPS para automóviles o la tan aprovechada búsqueda de una ruta óptima para llegar a cualquier destino que muchas páginas web ofrecen. No es más que tecnología SIG aplicada para uso cotidiano de las personas, de la cual éstas se benefician sin ser conscientes en la mayoría de los casos de que realmente están utilizando un SIG.

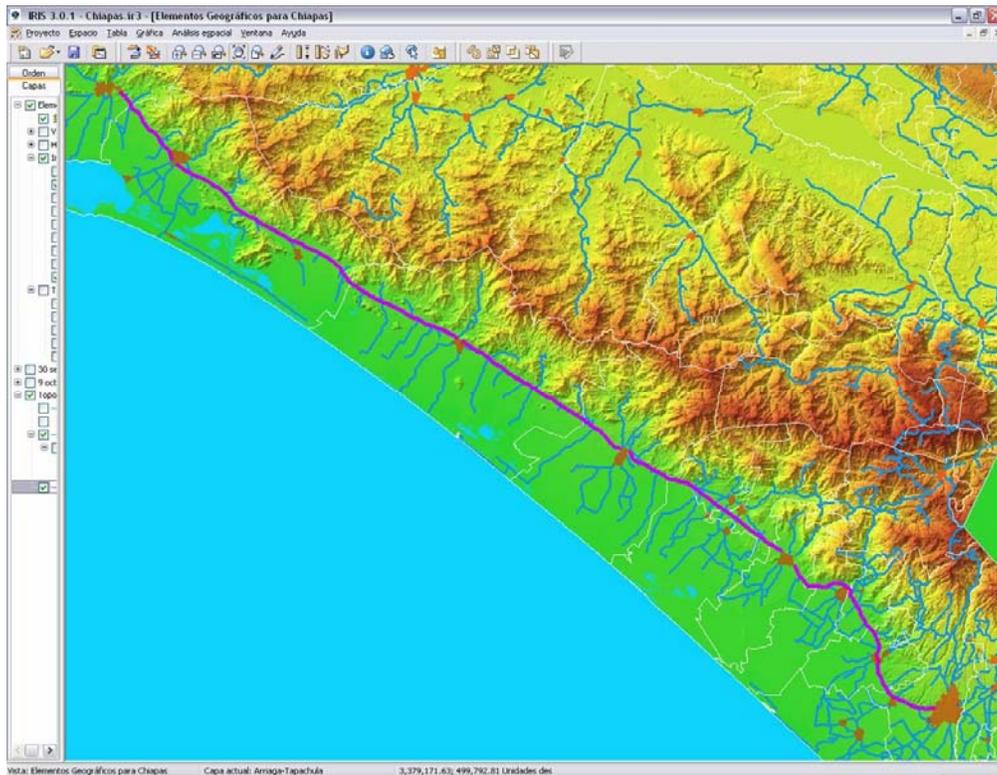


Figura 2.6 Mapa elaborado con un SIG

2.2.1.6 Los Sistemas de Información Geográfica en México y América Latina

Antes de la amplia disponibilidad de tecnología informática en los años 80 (Guevara 1995), los análisis de riesgos fueron realizados utilizando técnicas analógicas, como la superposición manual de mapas temáticos. Esa técnica había sido utilizada durante muchos años para producir mapas de las amenazas ambientales.

Técnicas analógicas de este tipo, sin embargo, tienen limitaciones fuertes para el análisis de riesgos, debido al impedimento físico de no poder superponer más que un número pequeño de mapas. Como tal, resultan insuficientes para manejar grandes volúmenes de datos o para realizar operaciones espaciales más sofisticadas. Por otro lado, la información que se produce es fundamentalmente estática en carácter, dado el tiempo y recursos requeridos para volver a dibujar manualmente los mapas.

Es poco sorprendente, entonces, la introducción de sistemas digitales de información, como los SIG, para el análisis de riesgos en América Latina. Un SIG puede capturar datos geográficos en diferentes formatos; por ejemplo, mapas analógicos digitalizados, imágenes de satélite y datos alfanuméricos georreferenciados, y puede también almacenar grandes volúmenes de datos en un formato digital en diferentes estructuras de bases de datos. Los SIG permiten la integración de números ilimitados de capas temáticas, utilizando diferentes algoritmos para llevar a cabo operaciones espaciales.

En términos institucionales, los SIGs han permitido centralizar e integrar información normalmente dispersa en formatos y organizaciones diferentes, para producir información nueva de acuerdo a las necesidades de aplicaciones y usuarios diferentes. En contraste a las técnicas analógicas, los SIG ofrecen sistemas dinámicos de información, en los cuales los datos pueden ser actualizados periódicamente o continuamente.

Una de las primeras aplicaciones de SIG para la evaluación de riesgos fue desarrollada en los años setenta y principios de los ochenta, por la oficina de Menlo Park del United States Geological Survey, para un condado del norte de California. Otra aplicación pionera de SIG para el análisis de riesgos se llamó el Emergency Preparedness Planning and Operations System (EPPOS) que fue desarrollada para la ciudad de Los Ángeles a mediados de los ochenta (Johnson, 1986).

En América Latina, el proyecto piloto de la OEA sobre evaluación de amenazas naturales y mitigación de desastres en América Latina y el Caribe ha sido pionero en la promoción del uso del SIG para el análisis de riesgos. Según la documentación del proyecto, tres aplicaciones pilotos fueron desarrolladas en 1985 en Santa Lucía, Honduras y Paraguay. Y hasta 1993, se habían implementado más de 200 aplicaciones en 20 países de la región, integrando datos sobre amenazas, recursos naturales, población e infraestructura (Bender, 1993).

A nivel nacional, en países diversos, se han creado aplicaciones para zonificar las amenazas y, mediante la incorporación de datos sobre la población, zonificar también actividades económicas o infraestructura expuesta y llevar a cabo evaluaciones preliminares del riesgo. A nivel regional, se han utilizado SIG para realizar estudios más detallados de zonas seleccionadas; por ejemplo, para integrar información acerca de los regímenes de precipitación, la topografía y la capacidad de los cauces de los ríos, con el fin de determinar el impacto máximo de las inundaciones o para ubicar a una represa o reservorio futuro.

A nivel urbano y local, los SIG han sido utilizados como herramientas para llevar a cabo estudios de factibilidad de proyectos específicos de infraestructura e inversión. Las aplicaciones han analizado los sistemas vitales para instalaciones productivas y asentamientos con el objetivo de poder definir componentes o segmentos críticos que deberían tener los niveles de riesgo más bajos o que deberían ser priorizados para la rehabilitación o reconstrucción después de un desastre.

Los SIGs fueron utilizados en 1987 para evaluar la vulnerabilidad a materiales tóxicos, de minorías étnicas en Santa Mónica. De la misma manera, los SIG han sido utilizados para predecir el impacto social y económico de los sismos (Haney, 1986) y huracanes (Berke, 1985); así como también para diseñar sistemas de tránsito que permitan a los servicios llegar rápidamente a una zona de desastre (Meade, 1994), para hacer mapas de amenaza volcánica y de la población expuesta a ella (Soesilo, 1994), para estudiar las coincidencias entre áreas de amenaza de tomados, alta densidad poblacional, y la existencia de sistemas de alerta (Dymon, 1994); la discriminación de paisajes susceptibles a malaria (Beck, 1994), y para combinar mapas de amenazas con datos sobre la vulnerabilidad física (Eustaquio y Ángulo, 1991 a 1995).

La información producida por los SIGs, tanto en América Latina como en otras regiones, presenta el riesgo como una variable objetiva, cuantificable y absoluta. Aun cuando existen aplicaciones que ofrecen información sobre la vulnerabilidad social (Gray de Cerdán, 1994); para complementar un análisis de la vulnerabilidad física, el concepto de vulnerabilidad social se reduce a la exposición de un determinado grupo social o población a una amenaza, y mide su probabilidad de ser afectada. Este concepto es muy diferente al concepto de los enfoques sociales de la vulnerabilidad social como la configuración social de la capacidad de la población de resistir y recuperarse de una amenaza. Como tal, los análisis de riesgos llevados a cabo por los SIG tienden a enfocar la atención en las causas naturales y físicas de los desastres; mas no en los procesos sociales, económicos y políticos que configuran tanto amenazas como vulnerabilidades.

Sí bien hay experiencias en América Latina sobre el desarrollo de los SIGs para el análisis de riesgos, hay poca sistematización de su aplicación en procesos de gestión de riesgos. La mayoría de las aplicaciones documentadas son de investigación, proyectos pilotos, o no están totalmente implementadas. Aun en los casos donde existen experiencias de aplicación, los resultados documentados se refieren más a productos de los SIGs mismos, y no a cambios en políticas, programas y proyectos de gestión de riesgos. Como tal, aunque hay organismos nacionales de gestión de desastres con SIGs bajo implementación, es prematuro evaluar hasta qué punto la información producida incide en procesos de toma de decisiones.

El riesgo aparece como una variable objetiva, neutral y cuantificable. No se reconoce la posible existencia de otros imaginarios de riesgo; por ejemplo, de poblaciones vulnerables, producto de otros valores, prioridades y prácticas. Como tal, las aplicaciones SIG, por lo general, no están diseñadas para producir información que haga posible apoyar las estrategias de gestión de riesgo de poblaciones vulnerables, si no para apoyar las estrategias convencionales de los organismos nacionales y otros.

En muchas de las aplicaciones se indica que la información producida puede utilizarse para apoyar medidas convencionales de gestión de riesgos; por ejemplo: para orientar el uso del suelo y el desarrollo de proyectos de infraestructura, o para incorporarse en los procesos de planificación urbana y regional. Por ejemplo, las pérdidas potenciales por la manifestación de una amenaza pueden incluirse en un análisis de costos y beneficios, antes de diseñar una carretera o una hidroeléctrica. La información también puede utilizarse en la preparación para contingencias, permitiendo el almacenamiento de suministros y la programación de actividades preventivas en áreas donde se esperan daños y destrucción mayores. En el sector privado, las estimaciones de pérdidas y daños pueden ser utilizadas por los aseguradores para fijar las primas de seguros, y por inversionistas para determinar las prioridades de inversión.

El problema, sin embargo, es que estas estrategias convencionales no logran los resultados esperados, no por la falta de información de un SIG, sino por problemas políticos, sociales y económicos. Por ejemplo, las empresas del sector construcción influyen políticamente para que la zonificación refleje la rentabilidad del suelo urbano, mientras que poblaciones vulnerables se ven forzadas a asentarse, por invasión u otros medios, en terrenos caracterizados por altos niveles de amenaza; los actores manejan otros imaginarios del riesgo, donde las pérdidas potenciales que podrían sufrir a raíz de las amenazas tienen menos importancia que los beneficios de rentabilidad o supervivencia que representa la urbanización. Por no reconocer la existencia de estos otros imaginarios, se ve reducida la contribución potencial que podría hacer el SIG a la gestión de riesgos.

La aplicación de los SIGs incluso puede ser hasta contraproducente para la población vulnerable; si es que se llega a reubicar a una población vulnerable con la finalidad de reducir su

vulnerabilidad a la amenaza, puede ser que se la exponga a sufrir pérdidas mayores debido al aumento de otras amenazas como el desempleo. En el imaginario de riesgos de la población, la amenaza del desempleo puede tener mayor peso que otra amenaza; pero no así en el imaginario formal representado en el SIG. En otras palabras, cuando se utiliza la información producida por los SIGs, en apoyo a políticas o programas convencionales de gestión de riesgos, se puede terminar imponiendo medidas de gestión de riesgos que atentan contra las prioridades y necesidades de la población vulnerable.

Este problema no es exclusivo de América Latina; sin embargo, puede ser peor que en los países desarrollados, dada la distancia tecnológica entre productores y usuarios de la información. Si mantiene su dirección actual, si es que se llega a aplicar el SIG en los procesos de gestión de riesgos, puede contribuir a que las políticas y programas convencionales de gestión de riesgos sean más tecnocráticos y menos sensibles a los imaginarios de riesgo de poblaciones vulnerables, con el resultado de que la racionalidad de dichos programas y políticas sea más autoritaria y opaca. Este problema se agrava en la medida que, en muchas aplicaciones, la información presentada por el SIG al usuario aparenta una gran objetividad, precisión y resolución. En la realidad, muchas aplicaciones están caracterizadas por utilizar modelos espaciales-temporales especulativos, alimentados por datos de una calidad inadecuada y sin una gestión apropiada del error.

Este carácter y enfoque tan conservador de las aplicaciones del SIG para el análisis de riesgos puede ser resultado, en parte, del hecho de que la mayoría de los profesionales comprometidos en el desarrollo de SIG provienen de las ciencias naturales o aplicadas y, como tal, tienen poca familiaridad con los enfoques sociales del riesgo o con estrategias participativas de gestión de riesgos. Las dificultades propias del diseño del SIG para el análisis de riesgos, se reducen a la obtención de los datos necesarios, a los problemas de integrar datos de diferentes fuentes en diferentes formatos y al montaje de una configuración de hardware y software de una potencia adecuada. A la vez, las instituciones que implementan estrategias participativas de gestión de riesgos, con poblaciones vulnerables, a menudo son las que tienen menos experiencia en el diseño y aplicación de un SIG.

En este sentido, los SIGs, en manos de una población vulnerable o de las instituciones que la apoyan, puede ser un arma potente de negociación con actores sociales externos. En la misma manera que la posesión de un SIG da poder y prestigio a organismos gubernamentales, universidades y otros; la utilización de información generada por un SIG puede cambiar la imagen de una población vulnerable, objeto de planificadores y técnicos extremos. Si son combinados con estrategias apropiadas de información y comunicación en regiones y zonas vulnerables, los SIGs podrían convertirse en instrumentos valiosos para la gestión local de riesgos. Incorporar los SIGs dentro de una estrategia participativa de gestión de riesgos, sin embargo, implica un cambio fundamental en la actitud, filosofía y enfoque asumidos por los especialistas y científicos comprometidos con su diseño y desarrollo.

En el caso de México, la experiencia en la utilización de los Sistemas de Información Geográfica es muy reciente y por lo mismo poco conocida; uno de sus antecedentes se remonta a los trabajos precursores realizados por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT). Desde 1991 se ha desarrollado en esta institución una línea de investigación que tiende a identificar el potencial de aplicación en el sector de las tecnologías de información georreferenciada, derivado de la cual se han realizado proyectos y estudios diversos que avalan el amplio espectro de posibilidades de uso para la planeación, organización y gestión de los distintos modos de transporte; entre ellos destaca el Sistema de Información Geoestadística para el Transporte (SIGET), como aproximación geoinformática para el análisis espacial del transporte.

Dentro del IMT se ha consolidado la Unidad de Sistemas de Información Geoespacial (USIG), que ha desarrollado tecnologías de georreferenciación, apoyando la realización de aplicaciones en áreas diversas, como la infraestructura para el transporte y el diseño de un módulo de análisis geográfico. Asimismo, esta línea de investigación permitió, mediante capacitación y asesorías de la USIG, conformar otro grupo enfocado a las aplicaciones para la prevención de accidentes y la seguridad en el transporte carretero, del cual se ha obtenido el sistema de información geográfica para el análisis de accidentes, a partir de la sistematización y geocodificación de los datos.

Mención aparte merece la creación del Comité Técnico Sectorial de Estadística y de Información Geográfica, en cuyo seno se suman diversas dependencias de la SCT y el INEGI; este comité contribuye con la plataforma geoinformática del sistema IRIS, base para la programación del sistema de información geoestadística del sector comunicaciones y transportes (SIG_SCT), actualmente en desarrollo entre la SCT, el IMT y el INEGI, y que tiene como cimiento y estructura al SIGET.

2.3 Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica

Cualquier Sistema de Información Geográfica debe tener el propósito general de desarrollar las tareas siguientes:

- a) **Ingreso de información:** Para poder utilizar cualquier dato geográfico, primero se debe convertir al formato digital apropiado, mediante un proceso denominado digitalización, la cual se puede llevar a cabo de forma automática mediante escaneo o de forma manual mediante mesa de digitalización o digitalización en pantalla. También hay que tener en cuenta que en la actualidad existen muchos proveedores de datos geográficos compatibles con cualquier SIG.
- b) **Manipulación de la información:** La tecnología SIG ofrece gran cantidad de herramientas para la manipulación de datos espaciales, su conversión al formato requerido por el usuario o para la eliminación de datos innecesarios.
- c) **Manejo/Administración de la información:** Si poseemos un gran volumen de datos que alimentan el SIG elaborado es mejor utilizar un Sistema de Administración de Bases de Datos, es decir, un software que maneja y administra una colección integrada de datos. En los SIG el diseño de este tipo de sistemas más utilizado ha sido el relacional, el cual con gran simpleza almacena los datos como una colección de tablas enlazadas por campos comunes.
- d) **Análisis de consultas:** Desde preguntas simples hasta preguntas analíticas, la tecnología SIG despliega todas sus capacidades a la hora de llevar a cabo dichas cuestiones. En la actualidad los SIG cuentan con herramientas analíticas poderosas, de entre las que destacan:
 - El análisis de proximidad.
 - El análisis overlay, en el cual se integran diferentes capas de datos mediante una unión espacial donde se puede integrar información del tipo suelos, pendientes, vías de comunicación, senderos, entre otros.
- e) **Visualización:** Se trata del resultado final que se le quiera dar a cualquier consulta o análisis de la información existente en el SIG. Los despliegues de los mapas de salida pueden integrarse con reportes, vistas tridimensionales, imágenes fotográficas o cualquier tipo de información imaginable que se encuentre integrada en el SIG.

2.3.1 Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en el análisis de Riesgos

La gestión de emergencias está definida como “la disciplina que aplica la ciencia, la tecnología, así como la planeación y organización para lidiar con fenómenos extremos que pueden perjudicar o matar a diversas poblaciones, hacer gran daño a la propiedad e interrumpir las actividades de la comunidad” (Drabek y Hoetmer, 1991). Actualmente ha crecido el interés en mitigar estos efectos de los fenómenos naturales, como la declaración de la Década Internacional para la Reducción del Desastre Natural, hecha por las Naciones Unidas en 1990.

Al tratar con este tipo de eventos, el primer problema que surge relacionado con ellos es, principalmente espacial; es por esto que el espacio geográfico es el marco de trabajo principal para analizar los problemas que surgen en la gestión de emergencias. Los SIG fueron diseñados como apoyo para la investigación geográfica y para la toma espacial de decisiones; el valor de los SIGs en la gestión de emergencias surge de los beneficios de integrar la tecnología para apoyar la toma de decisiones en un campo con una fuerte necesidad de tratar decisiones espaciales críticas numerosas. Por esta razón, aplicaciones nuevas de los SIGs han surgido junto con un interés en continuar con esta tendencia.

Los SIGs ya tienen variedad de perspectivas en la gestión de emergencias y en los temas relacionados: fenómenos naturales, riesgo y peligros ambientales; lo que indica que el uso de los SIGs en el análisis de riesgos se ha incrementado, pero sigue siendo un área de investigación joven y con pocos artículos en su haber. Es por esta razón que las conferencias, artículos de revistas científicas y reportes técnicos son esenciales para obtener una visión completa de la situación en esta área. Sin embargo, como muchas otras aplicaciones de los SIGs, la gestión de emergencias no está aislada, sino que hay muchas teorías, administraciones, aplicaciones e innovaciones técnicas relacionadas que afectan esta área.

El marco de trabajo de los SIGs en el análisis de riesgos es la gestión detallada de emergencias, que recae sobre la dimensión temporal de los desastres para organizar el proceso de la administración de emergencias en un ciclo de 4 fases: mitigación, prevención, respuesta y recuperación.

La mitigación se refiere a las acciones que se toman para eliminar o reducir el grado de riesgo en la vida humana y propiedad ocasionado por un peligro. La prevención consiste en acciones que se toman antes de una emergencia para desarrollar y facilitar una respuesta efectiva ante una situación de emergencia. La fase de respuesta incluye acciones que se toman antes, durante o directamente después de que una emergencia ocurre, para salvar vidas, minimizar los daños a la propiedad y aumentar la efectividad de la recuperación. La recuperación está caracterizada por actividades para regresar a la vida cotidiana o mejorarla.

Generalmente estas fases se reducen en tres: mitigación, prevención y respuesta, y recuperación, ya que muchos SIGs desarrollados en la etapa de preparación también son utilizados en la etapa de respuesta; en otras palabras, los sistemas diseñados para ayudar a los administradores de emergencias, que responden a un desastre actual, son utilizados frecuentemente para entrenar al personal de emergencia y desarrollar planes de preparación.

El nivel de actividad de los SIGs en la gestión de emergencias se ha incrementado, pero aún le falta tiempo para cubrir las necesidades actuales, ya que aún existen muchos retos en la aplicación de los SIGs en esta área, por lo que existen ciertas limitaciones:

- Falta de datos y la deficiencia de los existentes.
- Dificultad en el desarrollo y errores inherentes en los SIGs.
- Deficiencias del software disponible, particularmente el comercial.
- Fallas en la consideración de las necesidades de los usuarios finales.
- Falta de organizaciones líderes e infraestructura necesaria.

En la fase de mitigación, se espera que haya un aumento en la aplicación de los SIGs hacia el desarrollo actual de planes de mitigación sistemáticos a gran escala. Los últimos diez años han presenciado un aumento significativo en la evaluación del riesgo y en la cartografía, usando los SIGs para una gran variedad de contextos de peligro, pero últimamente este trabajo debe adecuarse a los planes y políticas actuales de mitigación. La cartografía y modelación del riesgo continuarán desarrollando y evaluando estrategias de mitigación para diversos contextos de peligros.

En la fase de prevención y respuesta hay una investigación activa hacia el monitoreo en tiempo real y la gestión de emergencias; esta área está relacionada con la percepción remota y los SIGs, así como tiene un papel importante en el desarrollo de preparaciones de emergencia y sistemas de respuesta. El Internet y otras tecnologías de telecomunicación también juegan un papel importante en esta fase.

En la fase de recuperación los SIGs ya se han forjado un papel esencial en la evaluación de daños y la reconstrucción; la investigación en esta área se centrará en automatizar muchas de las tareas asociadas con esta fase, por ejemplo, el uso de los SIGs en educar e informar al público después de un desastre. En este punto, se espera que en un futuro, el papel de los SIGs en la gestión de emergencias aumente mientras las comunidades de los SIGs y la gestión de emergencias continúen persiguiendo soluciones innovadoras para los problemas espaciales en el análisis de riesgo y sus áreas asociadas.

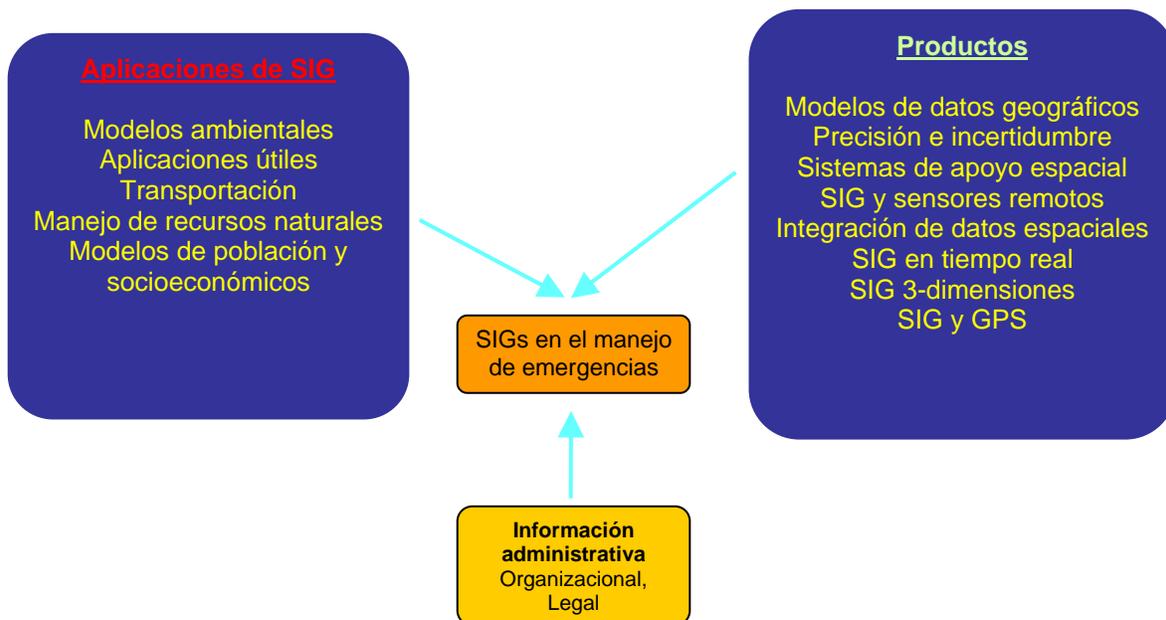


Figura 2.7 Los Sistemas de Información Geográfica en la gestión de emergencias

2.3.1.1 Mitigación

La meta de la gestión de emergencias antes de un desastre, o entre desastres, es la mitigación; esta es una fase caracterizada por la oportunidad de conducir a largo plazo evaluaciones, planeación, pronóstico y administración. Una de las líneas de investigación clave en esta fase es revelar la variación espacial inherente al peligro, vulnerabilidad y riesgo, ya que el peligro y la vulnerabilidad existen como capas espaciales en los SIGs, y estos tres conceptos son formulados en un proceso de modelación espacial.

La tarea de desarrollar modelos espaciales para una amplia gama de peligros y su vulnerabilidad asociada es la investigación central de los SIGs en la mitigación. La cartografía de riesgos está dividida en: cartografía de peligros naturales, cartografía de la vulnerabilidad y la cartografía del riesgo; la división entre la cartografía de peligros y vulnerabilidad sigue la división humana y física de los estudios ambientales, donde el riesgo puede ser visto como la unificación de los dos mundos.

La cartografía de peligros naturales se centra en el ambiente físico y en sus procesos asociados, aunque los humanos intervienen también en acciones y estrategias como la extinción de incendios forestales, la vivienda y el uso de suelo. En general, el componente de la vulnerabilidad humana en esta cartografía está implícito; para las amenazas naturales, el modelo de peligro es una combinación de las capas de peligro (coincidencia espacial) o es un modelo determinista de un proceso físico.

En el caso contrario a estos estudios de peligros naturales, están los estudios de vulnerabilidad de los SIGs, que se centran en el ambiente humano, donde el peligro está implícito o modelado; en su forma más simple, la vulnerabilidad es la densidad de población, pero no se deben olvidar otros conceptos. Una micro/macro división interesante del análisis de vulnerabilidad es un desarrollo por el cual algunos estudios se centran en la vulnerabilidad de estructuras individuales, mientras otros se centran en la vulnerabilidad de grandes poblaciones. Estos estudios de vulnerabilidad usando SIGs son un área de investigación relativamente nueva, pero el potencial que tienen los SIGs para aclarar problemas espaciales en los mismos ha aumentado.

La cartografía de riesgo usando los SIGs tiene ejemplos donde los investigadores descubren un equilibrio entre modelar el peligro y la vulnerabilidad; estos dos se han combinado para llegar a una evaluación del riesgo, siendo un indicativo de la libertad que tienen los investigadores en definir peligro, vulnerabilidad y riesgo cuando se aborda un problema específico.

Actualmente, la evaluación de riesgo está hecha para apoyar el desarrollo de estrategias de mitigación, donde estas tienen la tarea de reducir la fuerza de las amenazas naturales o reducir la vulnerabilidad a esa amenaza. El grado al cual las estrategias de mitigación pueden ser desarrolladas y adoptadas, varía dependiendo del tipo de peligro; es decir, hay fenómenos en donde se puede aplicar la reducción de la amenaza, como los incendios urbanos o los llamados peligros creados por el humano. También hay fenómenos que únicamente permiten la reducción de la vulnerabilidad, como es el caso de los huracanes.

2.3.1.2 Prevención y Respuesta

En esta fase, los SIGs son utilizados para ayudar a formular y ejecutar planes de emergencia; los encargados de las emergencias tienen un papel importante en esta fase, que está caracterizada por una toma de decisiones urgente y crítica. La gran demanda de respuestas puntuales y exactas para las preguntas geográficas, hacen de esta área de los SIGs algo único. Los principales beneficios de los SIGs en esta fase son la integración de información espacial y su disseminación.

El personal de emergencia necesita saber cuando está sucediendo un evento para minimizar las pérdidas y desplegar ayuda efectivamente. Las actividades que desarrollan los SIGs en esta fase se centran en diseñar sistemas que se encarguen de los desastres para cumplir con las necesidades de información para los encargados de las emergencias en varios escenarios de desastre. Un ejemplo de este tipo de proyectos es el “All-hazard Situation Assessment Programme”, diseñado por la Federal Emergency Management Agency (FEMA).

Los SIGs ayudan a integrar la información de fuentes diversas, escalas, cálculos y formatos en una herramienta sencilla que puede utilizarse para modelar, cartografiar y apoyar las decisiones espaciales. Estos sistemas se pueden usar para entrenamiento en la fase de prevención, y para responder a las emergencias. Las innovaciones en los SIGs, en la percepción remota y en el Internet tienen un impacto significativo y beneficioso en la investigación y desarrollo de esta fase.

La comunicación efectiva es vital en esta fase y para algunos tipos de peligros, como los huracanes e inundaciones, donde los SIGs se usan para el monitoreo en tiempo real y para dar alarmas y advertencias. Una de las aplicaciones características en la prevención y respuesta es la cartografía automatizada. Los mapas elaborados en esta etapa tienen una gran importancia en diversas tareas tales como:

- Coordinar los esfuerzos de los equipos de emergencia.
- Proveer de información a la población en general.
- Ayudar a que los recursos lleguen durante y después de un desastre.
- Revelar los elementos que influyen en un área geográfica.
- Visualizar las limitaciones físicas del sitio del incidente.
- Producir información para el público.

Un punto importante es que los SIGs no deben tener problemas de operación durante el desastre para poder asistir en esta fase y es por eso que distribuir una base de datos espacialmente a través de sitios de Internet es una medida de seguridad importante; este aumento de dependencia de los SIGs ante el Internet ha llevado a crear la noción de *línea de vida de información espacial*. Este concepto puede llevar a diversos estudios con respecto al riesgo de perder sistemas esenciales durante un desastre.

Otro papel de los SIGs en esta fase se relaciona con los modelos de peligros, que difieren de los modelos de peligros en la evaluación de riesgos. En este contexto, el desastre está ocurriendo y es posible recolectar y medir muchos de los parámetros ambientales para ayudar en las predicciones a corto plazo, tales como la dirección y velocidad del viento, la precipitación y la topografía.

Otra estrategia en esta fase, que ha recibido atención en los SIGs y la gestión de emergencias, es la planeación de las evacuaciones, ya que los SIGs pueden generar rutas alternativas de

evacuación e incluso pueden integrar una simulación de evacuaciones y desarrollar planes de contingencia y evacuación, así como describir dificultades potenciales en la evacuación durante un desastre.

2.3.1.3 Recuperación

En esta etapa, después de que la ayuda inicial se ha dado y la meta es regresar a las actividades normales, un SIG puede servir como un inventario espacial para coordinar las actividades de recuperación. Las agencias de gobierno, políticos e ingenieros civiles destacan en esta fase; algunos de los retos en la recuperación incluyen evaluar el daño, calmar y educar a la población, reconstruir y prevenir que vuelva a ocurrir; la finalidad de este último reto une el ciclo de la gestión de emergencias con la fase de mitigación.

Durante esta etapa, una prioridad es realizar una evaluación superficial del daño para minimizar el tiempo necesario para aplicar la ayuda del gobierno; también, los SIGs pueden ayudar en manejar los detalles espaciales asociados a una evaluación de daño estructura por estructura.



Figura 2.8 Etapas del proceso administrativo de gestión de emergencias

2.4 Tecnologías afines a los Sistemas de Información Geográfica

A continuación se hará mención a las diferentes tecnologías afines a los Sistemas de Información Geográfica, las cuales forman parte en mayor o menor medida del cuerpo de ideas que complementan los SIG, potenciando sus propias capacidades:

1) *Sistemas de Posicionamiento Global (GPS)*

El Global Positioning System o Sistema de Posicionamiento Global, más conocido con las siglas GPS, permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave, con una precisión hasta de centímetros usando GPS diferencial, aunque lo habitual son unos pocos metros. El sistema fue desarrollado e instalado, y actualmente es operado, por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

El GPS funciona mediante una red de 24 satélites, de los cuales 21 son operativos y 3 de respaldo, en órbita sobre el globo a 20.200 km con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la tierra. Cuando se desea determinar la posición, el aparato que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo cuatro satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la posición y el reloj de cada uno de ellos. En base a estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el retraso de las señales, es decir, la distancia al satélite. Por "triangulación" calcula la posición en que éste se encuentra. La triangulación en el caso del GPS, a diferencia del caso 2-D que consiste en averiguar el ángulo respecto de puntos conocidos, se basa en determinar la distancia de cada satélite respecto al punto de medición. Conocidas las distancias, se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los tres satélites. Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o coordenadas reales del punto de medición. También se consigue una exactitud extrema en el reloj del GPS, similar a la de los relojes atómicos que desde tierra sincronizan a los satélites.

La antigua Unión Soviética tenía un sistema similar llamado Global Navigation Satellite System (GLONASS), ahora gestionado por la Federación Rusa y actualmente la Unión Europea intenta lanzar su propio sistema de posicionamiento por satélite, denominado "Galileo".

2) *Percepción remota*

La percepción remota es la unión de disciplinas que tiene como objeto la captura y procesamiento de señales obtenidas con instrumentos físicamente alejados del objeto a ser medido. Estos instrumentos pueden ser portátiles o bien, estar alejados a grandes distancias como aquellos montados sobre una plataforma aérea o un satélite. La percepción remota es la utilización de sensores para la adquisición de informaciones sobre objetos o fenómenos sin que haya contacto directo entre el sensor y los objetos.

Esta tecnología utiliza un flujo de radiación electromagnética que al propagarse por el espacio puede intercalarse con superficies u objetos, siendo reflejado, absorbido o emitido por dichas superficies u objetos. Siempre que se realiza un trabajo, algún tipo de energía debe ser transferida de un cuerpo para otro, o de un lugar para otro en el espacio. De todas las formas posibles de energía, existe una de especial importancia para la Percepción Remota: la energía radiante o energía electromagnética, la cual es la única que no necesita de un medio material para propagarse. El ejemplo de energía radiante más familiar y de mayor importancia es la energía solar, que se propaga por el espacio vacío desde el Sol hasta la Tierra.



Figura 2.9 Esquema operativo de un satélite de observación

Satélites de operación

Aquí los objetos terrestres son iluminados por la radiación solar, estos reflejan la radiación visible y no visible. La radiación reflejada es capturada por los sensores montados en los satélites americanos Landsat y NOAA, siendo parcialmente procesada a bordo de éste y retransmitida a estaciones receptoras terrestres para su procesamiento posterior y análisis, además proveen de datos espaciales para la investigación científica y el desarrollo.

Estos datos son analizados con computadoras avanzadas, para obtener información sobre las condiciones de los elementos en la superficie terrestre. El manejo de datos espaciales con el uso de programas de cómputo eficientes llamados Sistemas de Información Geográfica, reúnen, traslapan y analizan estadísticamente datos espaciales de un área geográfica común.

Con el desarrollo moderno de la ciencia de la computación electrónica digital se ha dado un auge importante a la percepción remota, pues la disponibilidad de estas herramientas permite la evaluación cuantitativa de un gran volumen de datos. El desarrollo de la ciencia y la tecnología ha permitido incorporar métodos nuevos y dispositivos de captura de datos a distancia, lo que ha hecho que la percepción remota extienda su campo de acción a fenómenos muy diversos.

3) Diseño asistido por computador (CAD)

El diseño asistido por computador, conocido por las siglas inglesas CAD (Computer Aided Design), es el uso de un rango amplio de herramientas computacionales que asisten a ingenieros, arquitectos y a otros profesionales del diseño en sus actividades respectivas.

El diseño asistido por computador es, además, la herramienta principal para la creación de entidades geométricas enmarcadas dentro de procesos de administración del ciclo de vida de los productos (Product Lifecycle Management), y que involucra software y algunas veces hardware especiales.

Los usos de estas herramientas varían desde aplicaciones basadas en vectores y sistemas de dibujo en 2 dimensiones (2D) hasta modeladores en 3 dimensiones (3D) a través del uso de

modeladores de sólidos y superficies paramétricas. Se trata básicamente de una base de datos de entidades geométricas (puntos, líneas, arcos, etc.) con la que se puede operar a través de una interfase gráfica.

Permite diseñar en dos o tres dimensiones mediante geometría alámbrica, esto es, puntos, líneas, arcos, splines, superficies y sólidos, para obtener un modelo numérico de un objeto o conjunto de ellos.

La base de datos asocia a cada entidad una serie de propiedades como color, capa, estilo de línea, nombre, definición geométrica, etc., que permiten manejar la información de forma lógica. Además pueden asociarse a las entidades o conjuntos de éstas otro tipo de propiedades como el coste, material, etc., que permiten enlazar el CAD a los sistemas de gestión y producción. De los modelos pueden obtenerse planos con cotas y anotaciones para generar la documentación técnica específica de cada proyecto.

4) Cartografía de sobremesa (Desktop Mapping)

La cartografía es una disciplina que integra ciencia, técnica y arte, que trata de la representación de la Tierra sobre un mapa o representación cartográfica. Al ser la Tierra esférica ha de valerse de un sistema de proyecciones para pasar de la esfera al plano. En el fondo, éste es el problema de la cuadratura del círculo. El problema es aún mayor, pues en realidad la forma de la Tierra no es exactamente esférica, su forma es más achatada en los polos que en la zona ecuatorial. A esta figura se le denomina geoide.

Pero además de representar los contornos de las cosas, las superficies y los ángulos, se ocupa también de representar la información que aparece sobre el mapa, según se considere qué es relevante y qué no. Esto, normalmente, depende de lo que se quiera representar en el mapa y de la escala

Estas representaciones actualmente se están realizando con SIG, en los que se puede georreferenciar desde un árbol y su ubicación, hasta una ciudad entera como pueden ser sus edificios, calles, plazas, puentes, jurisdicciones, etc.

5) Bases de datos

Una base o banco de datos es un conjunto de datos que pertenecen al mismo contexto almacenados sistemáticamente para su posterior uso. En este sentido, una biblioteca puede considerarse una base de datos compuesta en su mayoría por documentos y textos impresos en papel e indexados para su consulta.

En la actualidad, y gracias al desarrollo tecnológico de campos como la informática y la electrónica, la mayoría de las bases de datos tienen formato electrónico, que ofrece un rango amplio de soluciones al problema de almacenar datos.

En informática existen los sistemas gestores de bases de datos (SGBD), que permiten almacenar y posteriormente acceder a los datos de forma rápida y estructurada.

Las aplicaciones más usuales son para la gestión de empresas e instituciones públicas. También son ampliamente utilizadas en entornos científicos con el objeto de almacenar la información experimental.

6) Estadísticas espaciales

Tomada en su sentido metodológico más amplio, este término designa todo análisis que utiliza la herramienta estadística y que tiene una dimensión espacial, ya sea que esta dimensión se refiera a la herramienta propiamente dicha, al objeto de análisis o a las variables utilizadas como descriptor de ese objeto. Diferentes combinaciones son efectivamente posibles:

- **Sólo el objeto es espacial:** se estudian entidades espaciales localizadas (regiones, ciudades, comunas, parcelas), pero esta localización no desempeña un papel "activo" en el análisis estadístico. Estas entidades son en general descritas por variables relativas a la demografía, la actividad, la sociedad, la utilización del suelo, etc., que no son específicamente espaciales. Estas entidades y esas variables cualitativas y variables cuantitativas pueden ser eficazmente analizadas por métodos estadísticos clásicos como la correlación, la regresión, el análisis de datos. El carácter espacial de las entidades interviene entonces solamente en la interpretación de los resultados, al final del análisis estadístico. El espacio juega un simple rol de "soporte".
- **Objetos localizados y variables espaciales:** en un marco similar al del párrafo anterior, se pueden agregar variables intrínsecamente espaciales. Se trata del ejemplo clásico de la distancia a un lugar, que se supone que desempeña un papel estructurante (polo, entrada de autopista, río, litoral, por ejemplo). Otras variables permiten igualmente caracterizar la organización espacial de un entorno: la forma y la densidad de un semillero de puntos (empresas, hábitats, explotaciones agrícolas) o el grado de heterogeneidad de la utilización del suelo, por ejemplo.
- **Objetos localizados y herramientas estadísticas espaciales:** para analizar objetos localizados existen herramientas estadísticas específicas. Una de las más clásicas es la medición de la autocorrelación espacial, que da cuenta, globalmente, de la tendencia de los lugares próximos a reunirse (autocorrelación positiva) o, por el contrario, a oponerse (autocorrelación negativa). Los variogramas, que vinculan la dispersión de una variable y la distancia a un centro dado, permiten poner en evidencia las discontinuidades en la distribución espacial del fenómeno estudiado. Otros métodos permiten tener en cuenta la autocorrelación en los análisis estadísticos clásicos y evitar que éste no introduzca sesgos en la estimación de los parámetros.

7) Información de tratamiento en Tercera Dimensión

Se trata de cualquier información espacial a la que se le añade una coordenada Z, es decir, la coordenada que aporta la altura, con lo que adquiere una elevación pudiendo ser tratada en 3 dimensiones.

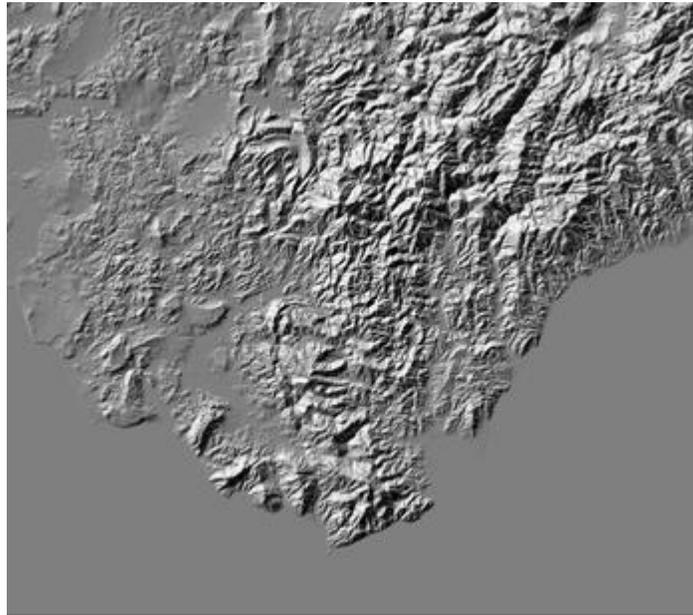


Figura 2.10 Sombreado de un modelo digital de elevación

2.5 Criterios para elegir un Sistema de Información Geográfica

Escoger un sistema de información geográfica es crucial para los posibles usuarios del mismo, ya que una utilización correcta depende de que el hardware y el software estén en el lugar correcto de una organización, además de contar con el apoyo de expertos, de información estructurada y de los planes de la organización.

Es por esto que el proceso para la implementación de un SIG consta de varios pasos, y la elección debe hacerse considerando los factores más importantes, tomando en cuenta las necesidades presentes y futuras que se tengan. La mayor parte de los proyectos SIG incluyen las fases siguientes:

- Asesoría y evaluación del estado actual de la situación.
- Desarrollo de un concepto de negocios.
- Identificación y especificación de los requerimientos del usuario.
- Identificación y adquisición de datos.
- Análisis costo-beneficio.
- Proyección de un plan estratégico.
- Selección de hardware y software.
- Definición y obtención de la experiencia necesaria.
- Elección de un proveedor.
- Implementación del sistema.
- Operación y mantenimiento del sistema.

2.6 Cobertura Geográfica

Como una regla, la decisión básica que se tiene que hacer para la cobertura geográfica de un SIG, es entre proveer una cobertura digital completa de todas las regiones y áreas, o digitalizar toda la información sólo para las áreas más activas y que cambian más rápido; el análisis costo-beneficio es la mejor guía para tomar una decisión.

Las organizaciones usuarias diversas tienen necesidades diferentes para la cobertura geográfica de la información digital; las distinciones están dictadas por las divisiones administrativas o funcionales, como poblados, regiones, condados o países enteros. Sin embargo, para un usuario comercial de SIGs, el interés estaría en aquellas áreas que ofrecen buenos mercados, debido a sus poblaciones grandes o a su tasa de cambio.

En general, la necesidad de cobertura geográfica digital debe realizarse por completo antes de que el usuario lo adquiera a gran escala o al mayoreo, ya que el incremento del desarrollo de los sistemas incluye periodos donde los datos convencionales y digitales se usan paralelamente y esto aumenta el trabajo que conlleva a producir un producto final.

CAPÍTULO III
MARCO GEOGRÁFICO DE LOS ATLAS DE RIESGO

CAPÍTULO III: MARCO GEOGRÁFICO DE LOS ATLAS DE RIESGO

3.1 Funciones de los Atlas de Riesgo

Los Atlas de Riesgo pueden ser utilizados tanto en la protección civil como en otros aspectos, entre ellos el desarrollo regional y la seguridad pública. También tienen aplicaciones específicas como:

- Adecuación de los planes de desarrollo urbano mediante la incorporación de información sobre peligro.
- Diseño de los programas de reordenamiento territorial con una visión de riesgo.
- Apoyo a los planes de seguridad pública a través de los programas de protección civil.

Como resultado del impacto de fenómenos diversos en el territorio nacional, se ha impulsado la elaboración y desarrollo de atlas estatales y municipales de riesgo a través de leyes y reglamentos de protección civil y de mecanismos de financiamiento como el Fondo de Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN), ya que a través de la integración de información sobre riesgo, se puede contar con herramientas que permitirán reubicar a la población que está en zonas de peligro y reducir la vulnerabilidad de la infraestructura, por ejemplo de la vivienda, mediante medidas estructurales y no estructurales, entre otros aspectos.

En la figura 3.1 se presenta un diagrama sobre los tipos de atlas, su nivel de elaboración y los objetivos que persiguen.

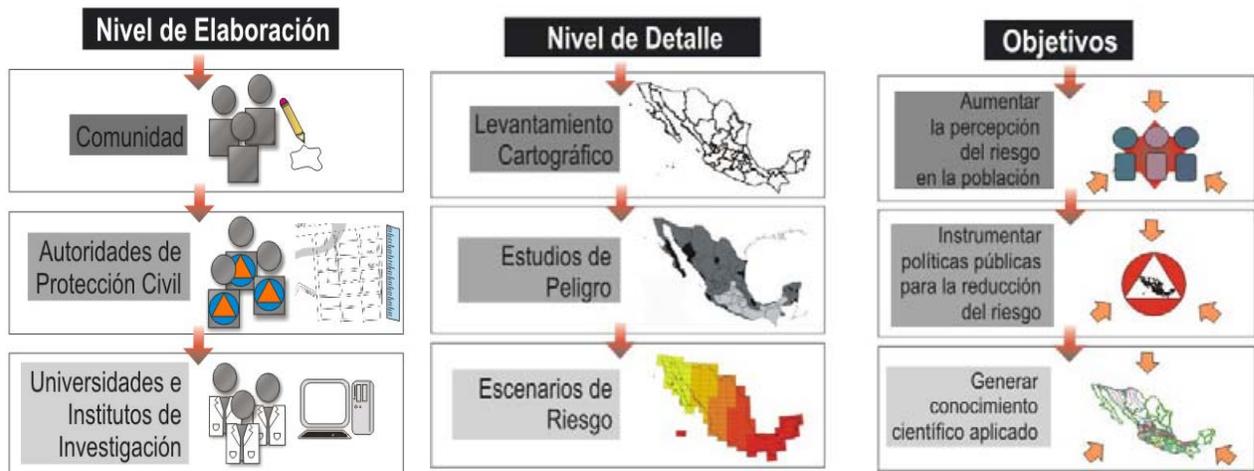


Figura 3.1 Niveles y objetivos de los atlas de riesgos

3.2 Marco Geoestadístico

Los datos geoestadísticos son aquéllos referentes a la información geográfica y estadística que constituyen, junto con la integración cartográfica, insumos indispensables para el desarrollo y actualización de los atlas de riesgos.

Para la obtención de estos datos se mencionan las fuentes oficiales a nivel federal a las que se deberá acudir para contar con apoyo o asesoría. También existen organismos, secretarías de gobierno, comités, universidades e institutos quienes generan información geoestadística a nivel regional. Se sugiere identificar y contactar a estas instituciones con el fin de incorporarlas a un comité que establezca los criterios para la colaboración en materia de intercambio de información. Entre las instituciones que deberán participar se encuentran las comisiones estatales de agua, los organismos encargados del catastro, seguridad pública, entre otras.

El Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) es el organismo que por ley coordina las medidas para garantizar la integración de los Sistemas Nacionales Estadísticos y de Información Geográfica, bajo normas, principios y procedimientos que logren dar unidad, congruencia y uniformidad a los procesos de captación, procesamiento y presentación de la información estadística y geográfica (PRONADIG 2003). El portal del INEGI ha puesto a disposición del público en general, información geográfica y estadística que puede descargarse de forma gratuita; otra manera de obtener información es recurrir a los Comités Técnicos Regionales, que son los instrumentos mediante los cuales los estados establecen un programa de trabajo y pueden recibir información y apoyo técnico por parte del Instituto.

En la elaboración de un atlas de riesgo se hará referencia a las fuentes básicas y especializadas de información, no existe un formato único que pueda ser utilizado de base, pero se recomienda que esté integrado en un sistema de información con bases de datos o tablas asociadas, que faciliten la realización de consultas.

3.2.1 Obtención de datos geoestadísticos

Una parte indispensable para la elaboración de un atlas de riesgo es contar con información de ámbitos diferentes, temas, escalas, entre otros, y principalmente, considerar procesos diversos consistentes en la gestión, administración y difusión de la misma. Hay diversos aspectos que los datos geoestadísticos agrupan para poder elaborar adecuadamente un atlas de riesgo:

- a) Aspectos históricos
- b) Aspectos geoestadísticos básicos
- c) Formas de representación de la Tierra
- d) Sistemas de Coordenadas
- e) Proyecciones cartográficas utilizadas en México
- f) Sistema de referencia oficial para México
- g) Escala
- h) Simbología
- i) Cartografía
- j) Representación del terreno

En la figura 3.2 se presenta un diagrama de flujo donde se muestran los procedimientos para la obtención de datos geoestadísticos y cartográficos. Es importante considerar que de acuerdo a las

estimaciones, alrededor del 60% del tiempo y recursos invertidos para la elaboración de un atlas se destina a la adquisición e integración de información, por lo que se deberá tener en cuenta que ésta tiene un costo que puede ser elevado y que requiere de infraestructura computacional y humana para su análisis y difusión.

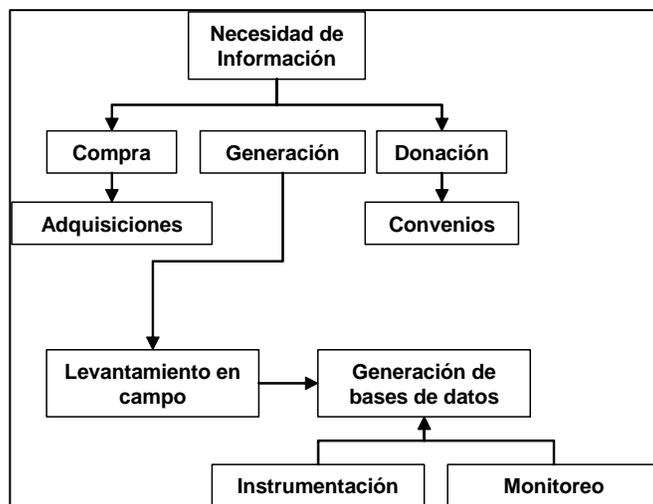


Figura 3.2 Diagrama de flujo para la obtención de información

3.2.2 Aspectos históricos

Se debe contar con un breve resumen histórico que mencione el año en que se constituyó el estado o municipio; de la misma forma se describirán los desastres más importantes que hayan impactado en la región.

Tabla 3.1 Aspectos históricos

Contenido	Observaciones	Fuentes de Información
Resumen histórico	Es importante tener un marco histórico de referencia que permita conocer el año de conformación del municipio, además de contar con información relacionada con el impacto de fenómenos perturbadores, como el año de ocurrencia, el número de muertos y heridos, y los daños económicos.	Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal (INAFED). Cronistas oficiales. Bibliotecas y hemerotecas locales.

3.2.3 Aspectos geoestadísticos básicos

En la tabla 3.2 se presentan los aspectos mínimos en materia de información geográfica y estadística que debe contener un atlas de riesgo; se enumeran temas, contenidos y las fuentes más conocidas a nivel nacional, principalmente la institución rectora en el tema (INEGI), sin embargo es importante señalar que la información estadística generada por instituciones regionales puede no coincidir con la del INEGI. Queda a criterio de los responsables de la elaboración del atlas las fuentes a considerar, siempre y cuando éstas cumplan con los estándares utilizados para este fin. Gran parte de esta información puede ser consultada en la página de Internet del INEGI, en su sección de estadística.

Tabla 3.2 Aspectos geoestadísticos

Tema	Contenido	Fuentes de Información
Aspectos generales geográficos	Coordenadas geográficas extremas (latitud norte, longitud oeste), altitud media, colindancias principales, número de localidades, clima, aspectos fisiográficos, uso de suelo y vegetación, hidrografía, geología y otros.	Cuadernos estadísticos municipales y delegacionales. Resultados de los censos y conteos generales de población y vivienda. Sistema municipal de bases de datos (SIMBAD). Marco geoestadístico municipal. INEGI (www.inegi.gob.mx). Información específica regional.
Aspectos generales socioestadísticos	Población y vivienda, proyecciones demográficas, índices de marginación, pobreza, salud, educación y otros.	Cuadernos estadísticos municipales y delegacionales. Resultados de los censos y conteos generales de población y vivienda. Sistema municipal de bases de datos (SIMBAD). Marco geoestadístico municipal. INEGI (www.inegi.gob.mx). Consejo Nacional de Población (www.conapo.gob.mx). Instituto Nacional de Salud Pública (www.insp.mx). Secretaría de Educación Pública (www.sep.gob.mx). Información específica regional.
Aspectos generales económicos	Unidades de producción, agricultura, ganadería, industria, finanzas públicas.	Resultados de los censos económicos. Cuadernos estadísticos municipales y delegacionales. Sistema municipal de bases de datos (SIMBAD). INEGI (www.inegi.gob.mx). Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (www.sagarpa.gob.mx). Información específica regional.
Infraestructura de comunicación	Carreteras, autopistas, vías de ferrocarril, aeropuertos, puertos.	Cuadernos estadísticos municipales y delegacionales. INEGI (www.inegi.gob.mx). Centros estatales SCT. Instituto Mexicano del Transporte (www.imt.mx). Información específica regional.

3.2.4 Formas de representación de la Tierra

Para su estudio, la Tierra puede ser representada por medio de una esfera o globo terrestre, cartas geográficas y mapas. Actualmente se ha logrado, a través de programas computacionales, visualizar la Tierra en tercera dimensión, logrando ver el relieve y otros rasgos como ciudades, ríos y lagos entre otros, con gran realismo; a continuación se describen algunas de estas representaciones.

Globos: Son una representación esférica de cómo se vería la Tierra desde el espacio exterior, mostrando los mares y continentes; los globos terráqueos han sido elaborados desde tiempos históricos y tienen un carácter didáctico.

Mapa: Es la representación gráfica de una parte de la superficie terrestre, proyectada en un plano, elaborado mediante datos y elementos cartográficos.

Carta: Es la representación a niveles diferentes de detalle de los rasgos geográficos diversos; en la actualidad las cartas tienden a ser electrónicas, ya que ofrecen mayor versatilidad. Su mayor desventaja se debe a su naturaleza plana: una carta siempre contiene deformaciones, por lo que es importante seleccionar una proyección adecuada.

Plano: Es la representación de una parte pequeña de la superficie terrestre, que por ser de dimensiones pequeñas (menor a 25 km²), no requiere de la utilización de sistemas cartográficos.

3.2.5 Sistemas de Coordenadas

Un sistema de coordenadas es un conjunto de valores que permiten definir, a partir de un punto denominado origen, la posición de cualquier punto en el espacio y establecer su relación con otros puntos. Para definir un sistema coordenado será indispensable establecer el sistema de referencia, el cual es el conjunto de ejes, puntos o planos que convergen en el origen y a partir de los cuales se calculan las coordenadas.

Existe una gran cantidad de sistemas de coordenadas, algunos de los más comunes son:

- Sistema de coordenadas cartesianas.
- Sistema de coordenadas polares.
- Sistema de coordenadas cilíndricas.
- Sistema de coordenadas esféricas.
- Coordenadas geográficas.
- Coordenadas Universales Transversas de Mercator (UTM).

Para fines prácticos en el intercambio de información interinstitucional, las coordenadas de mayor uso son las geográficas y las referidas a la proyección UTM, ambas se describirán más adelante. Se recomienda que los atlas estatales y municipales de riesgo utilicen cualquiera de los dos sistemas; esto permitirá que la información pueda ser utilizada en otros ámbitos y sea fácilmente incorporada al Atlas Nacional de Riesgos.

3.2.5.1 Sistema de Coordenadas Geográficas

Las coordenadas geográficas están referidas a un sistema esférico, el cual está constituido por dos círculos máximos principales, los cuales dividen la Tierra en partes iguales; el primero denominado Ecuador, que corre de este a oeste y es equidistante a los polos, y el segundo que va del polo norte al polo sur, llamado Meridiano de Greenwich (meridiano de origen), tal como se muestra en la figura 3.3.

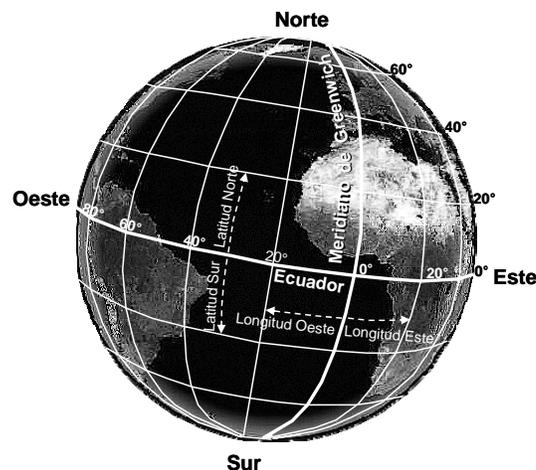


Figura 3.3 Sistema de coordenadas geográficas

El sistema de coordenadas geográficas permite la localización de puntos sobre la Tierra y está definido por los paralelos que son un grupo de líneas circulares, paralelas al Ecuador y cóncavas al polo; y los meridianos que son círculos máximos que convergen en los polos. De esta forma la ubicación de un punto se obtiene definiendo su distancia al norte o sur del ecuador (0°), y al este u oeste del meridiano de origen (0°).

Las coordenadas geográficas emplean como unidad de medida el grado, es decir, una medida angular; cada círculo completo está dividido en 360° , cada grado en 60 minutos y cada minuto en 60 segundos. Los símbolos que representan estas unidades son: grados ($^\circ$), minutos ($'$) y segundos ($''$). La latitud de un lugar es la medida longitudinal de arco del meridiano, que va desde el ecuador al punto considerado; los paralelos de latitud están enumerados de 0 a 90 grados, tanto al norte (N) como al sur (S) del ecuador, por lo que al mencionarlos es necesario indicar su sentido norte o sur. La longitud es la medida del arco del ecuador entre el meridiano del lugar y el meridiano de origen; los meridianos de longitud se enumeran de 0 a 180 grados al este (E) u oeste (O) del meridiano origen, por lo que se deberá indicar su dirección este u oeste.

Por ejemplo, la ciudad de Pachuca se encuentra localizada en la latitud $20^\circ 07' 21''$ norte (veinte grados, siete minutos y veintiún segundos), longitud $98^\circ 44' 10''$ oeste. En la figura 3.4 se presenta su ubicación mediante coordenadas geográficas.

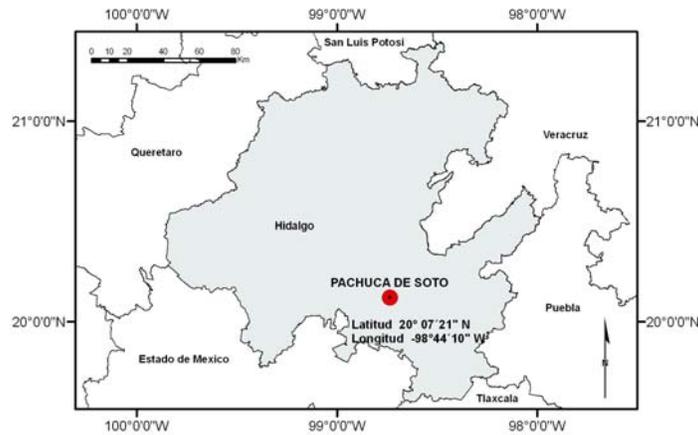


Figura 3.4 Localización de la ciudad de Pachuca

De acuerdo con el INEGI, y tal y como muestra la figura 3.5, la localización geográfica de cualquier estado o municipio del territorio mexicano, deberá estar comprendida en el siguiente contexto geográfico:

- Norte: $32^\circ 43' 06''$ latitud norte, en el Monumento 206, en la frontera con los Estados Unidos de América.
- Sur: $14^\circ 32' 27''$ latitud sur, en la desembocadura del río Suchiate, frontera con Guatemala.
- Este: $86^\circ 42' 36''$ longitud este, en el extremo sureste de la Isla Mujeres.
- Oeste: $118^\circ 27' 24''$ longitud oeste, en la Roca Elefante de la Isla de Guadalupe.

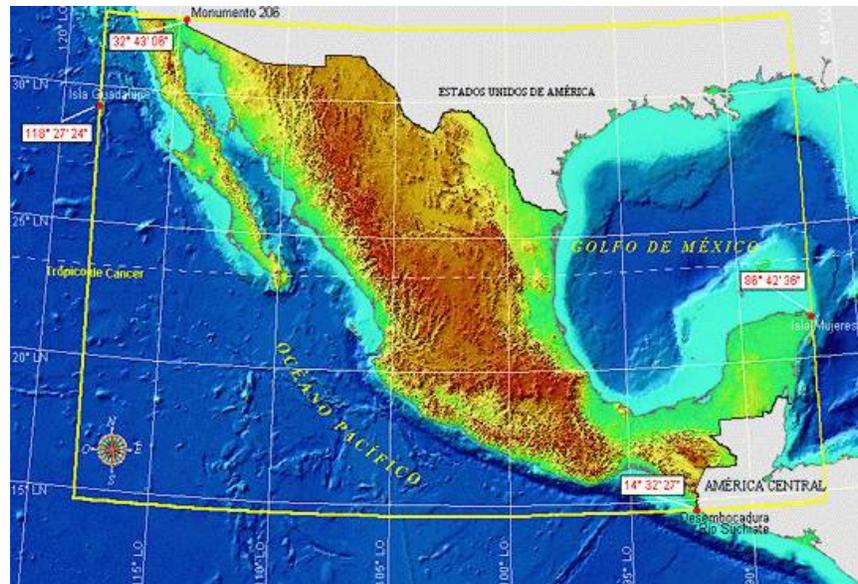


Figura 3.5 Coordenadas extremas del territorio nacional

3.2.6 Proyecciones cartográficas utilizadas en México

Por definición, la Cartografía trata sobre la elaboración de mapas e incluye dentro de sus procesos de elaboración, el levantamiento de información de campo, su análisis e interpretación para su impresión. El objetivo de esta ciencia-arte es la de representar a través de medios gráficos una extensa área sobre la superficie terrestre (mayor a 25km^2). Como se sabe, la superficie de la Tierra tiene una forma elipsoidal por lo que es necesario aplicar transformaciones para lograr trasladarla al plano, lo que significa hacer una simplificación de la realidad para plasmarla en dos dimensiones.

Se denomina proyección al método de representar la superficie de la Tierra en un plano, ya que por su forma, contiene desplazamientos y deformaciones. La elaboración de proyecciones incorpora cálculos geométricos complejos, basados en la proyección de las sombras de meridianos y paralelos de la esfera terrestre sobre una superficie, la cual puede convertirse a una forma plana, conociendo sus deformaciones. En México se utilizan de manera oficial, dos proyecciones: la cónica y la cilíndrica, que se describen a continuación:

- A) **Proyección Cónica Conforme de Lambert:** Originada en 1772 por Johann Heinrich Lambert; resulta de proyectar la superficie terrestre sobre un cono, cuyo vértice coincide con la línea del eje de rotación de la Tierra. Se utiliza para elaborar cartas en escalas 1:1000000 o más pequeñas; en esta proyección, los meridianos convergen hacia los polos separados entre sí por distancias iguales, y los paralelos son semicírculos concéntricos a igual distancia entre ellos. En este tipo de proyección el área y la forma se distorsionan al alejarse de los paralelos estándar; es utilizada para mapas de Norteamérica, y en el caso de México, se utiliza para representar todo el territorio nacional, o regiones que comprendan varios estados.
- B) **Proyección Universal Transversa de Mercator UTM:** Desarrollada también por Lambert en 1772, sufriendo modificaciones por Gauss (1822) y Kruger (1912), quienes la definieron

como se conoce en la actualidad. En ella se hace una proyección de la Tierra sobre un cilindro tangente a los meridianos; no sólo se emplea para representaciones cartográficas, sino también para el sistema de coordenadas UTM. Una de sus ventajas es que las distancias se expresan en metros, en vez de medidas angulares cuya dimensión lineal puede variar, y además conserva los ángulos y no distorsiona las superficies; es ampliamente utilizada en México para la elaboración de cartas a escalas 1:250000, 1:50000 y mayores.

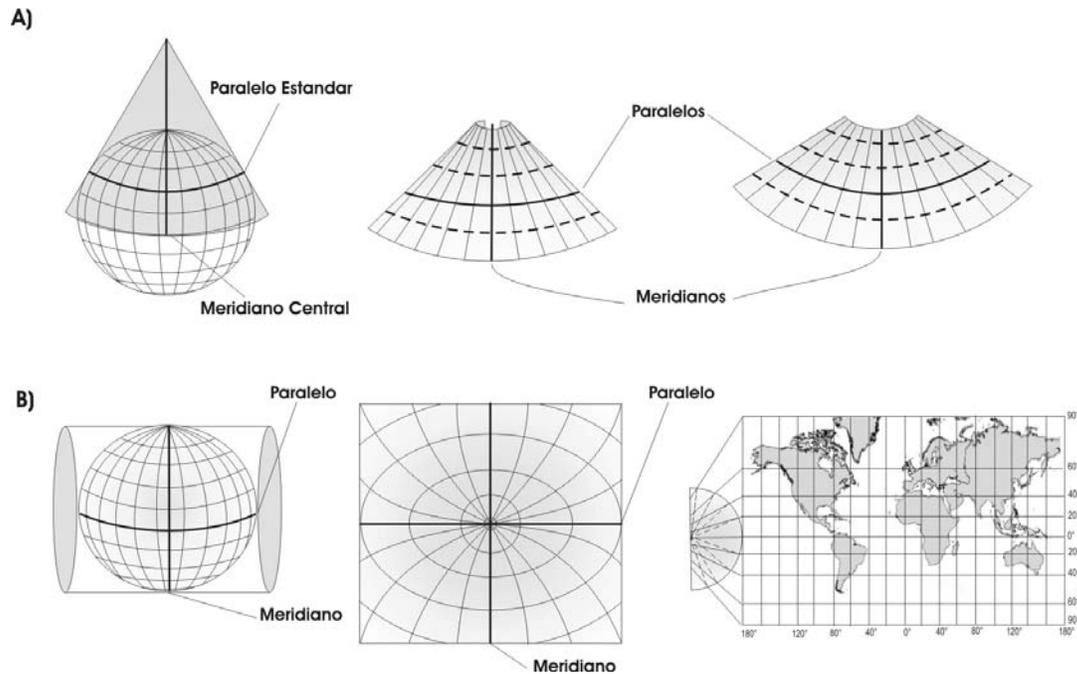


Figura 3.6 Ilustración de las proyecciones A) Cónica Conforme de Lambert y B) Universal Transversa de Mercator

3.2.7 Sistema de referencia oficial para México

La Geodesia es la ciencia que estudia y define la dimensión y forma de la Tierra, la que recibe el nombre de geoide en términos científicos. De manera imaginaria se podría considerar al geoide como la superficie que tendría la Tierra si el mar estuviera en calma total y prolongándola imaginariamente por debajo de los continentes; el geoide se genera por la superficie equipotencial del campo de gravedad, es decir, la superficie donde el valor potencial de la gravedad es constante, este valor se relaciona con el nivel medio del mar en reposo, como se muestra en la figura 3.7.

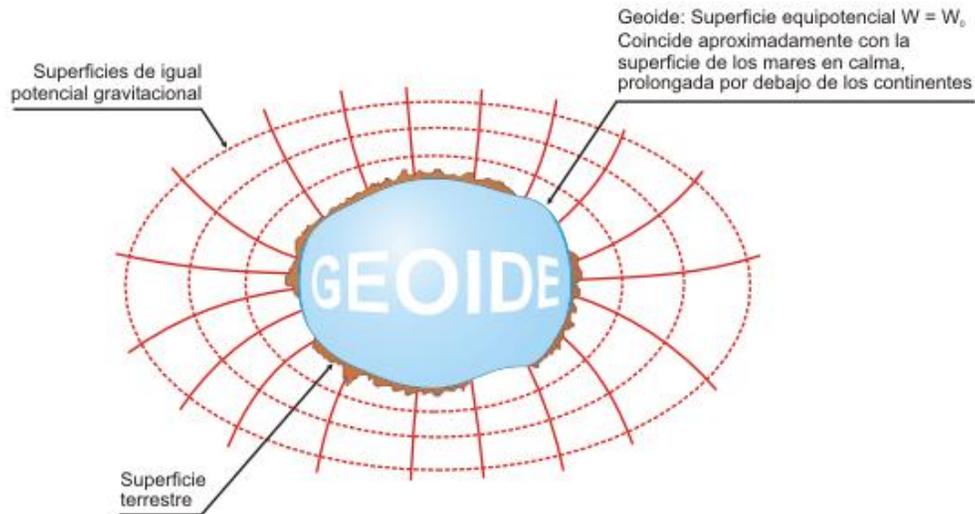


Figura 3.7 Representación del Geoide

Los sistemas de referencia geodésicos definen la forma y dimensión de la Tierra, así como el origen y orientación de los sistemas de coordenadas. Los sistemas de referencia geodésicos pueden ser descritos con base en dos modelos matemáticos: el esférico y el elipsoidal, los cuales son obtenidos a través de parámetros físicos medidos sobre la superficie terrestre. Los sistemas globales de coordenadas permiten definir posiciones sobre la superficie de la Tierra. El más usado es el que se define por medio de la latitud, longitud y la referencia de altura al nivel medio del mar.

Según las normas que define el INEGI para el Sistema Geodésico Nacional, se adopta el conceptualizado por la Asociación Internacional de Geodesia a través del Sistema Geodésico de Referencia (GRS 80), y éste deberá estar referido al Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF) definido por el Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS) para el año 2000, con datos de la época 2004.0, denominado ITRF 00 época 2004.0 asociado al GRS 80, el cual es el Marco de Referencia Oficial para México.

Para la elaboración de atlas de riesgos, será importante conocer los sistemas de referencia; se pueden establecer dos casos, el primero es determinarlo a través de la documentación de la cartografía que deberá elaborar el proveedor, y el segundo es que ante la ausencia de documentación sobre el sistema de referencia, se aceptará que puedan existir errores e imprecisiones en la localización de rasgos geográficos.

En lo que respecta a las alturas, todo punto perteneciente a un levantamiento geodésico vertical, deberá estar referido a un nivel de referencia definido por el Datum Vertical Norteamericano de 1988 (NAV88), debiéndose expresar sus valores en metros.

En cuanto al sistema de coordenadas horizontales y la proyección cartográfica, las coordenadas “x” (Oeste) y “y” (Norte) para puntos y líneas, están expresadas de acuerdo con la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) en las escalas 1:50000 y 1:250000. Para las escalas 1:1000000 y 1:4000000 las coordenadas se expresan a través de la proyección Cónica Conforme de Lambert con paralelos base 17° 30’ y 20°30’, y considerando el falso origen con coordenadas de 2500000 m en “x” y 0m en “y”.

La UTM es una proyección cilíndrica que genera 60 zonas sucesivas para cubrir la totalidad del globo terrestre. Cada zona es de 6 grados de longitud por 80 grados de latitud al norte y al sur. La numeración de las zonas ocurre del 1 al 60 a partir del meridiano 180 hacia el este; en particular a México le corresponden las zonas 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16, incluida la zona económica exclusiva. Por convención, cada una de las zonas se divide en fajas transversales de 4 grados de latitud; a México le corresponden las fajas D, E, F, G, H e I; para establecer una referencia se puede considerar que un grado equivale aproximadamente a 110 km.

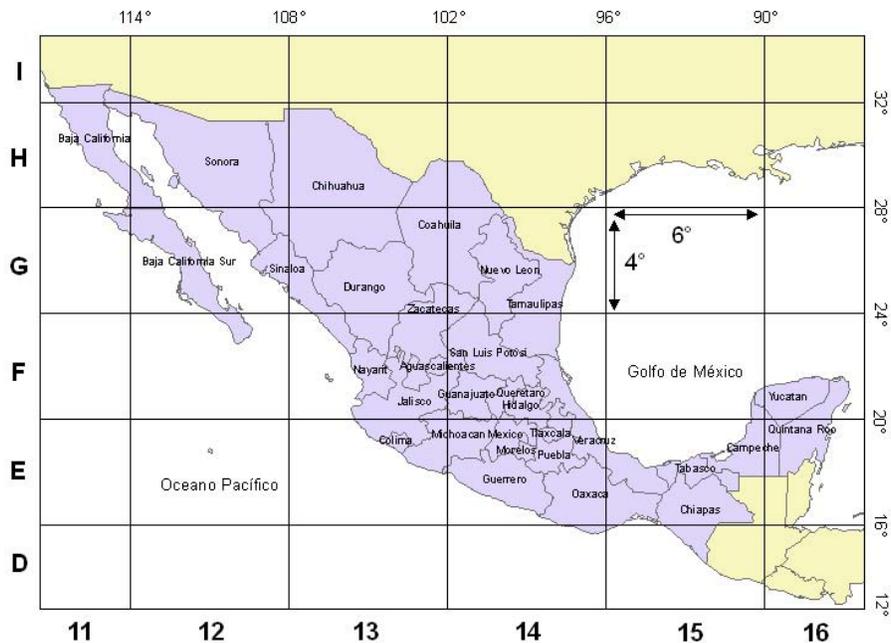


Figura 3.8 Zonas y fajas de la proyección UTM para México

3.2.8 Escala

Un mapa es una representación proporcional de una zona y sus rasgos característicos que se encuentran sobre la superficie terrestre; esa proporción que existe entre la representación gráfica de un mapa con respecto a la superficie terrestre real se denomina escala. La escala determina el nivel de detalle, el tamaño y en cierta medida el costo de un atlas de riesgo; su elección correcta es determinante para representar con éxito la información deseada.

En los mapas aparecen números que señalan el valor de la escala utilizada en su representación, por ejemplo: si al pie de un mapa se lee escala 1:1000, quiere decir que tiene una reducción a la milésima parte de la superficie reproducida, es decir, un centímetro de longitud en el mapa representa 10 metros de longitud verdadera. La escala en los mapas puede ser representada en dos formas:

- Como una representación gráfica: Es una línea de cierto grosor dividida en partes proporcionales, donde cada división en el mapa representa unidades de distancia en el terreno (metros o kilómetros).

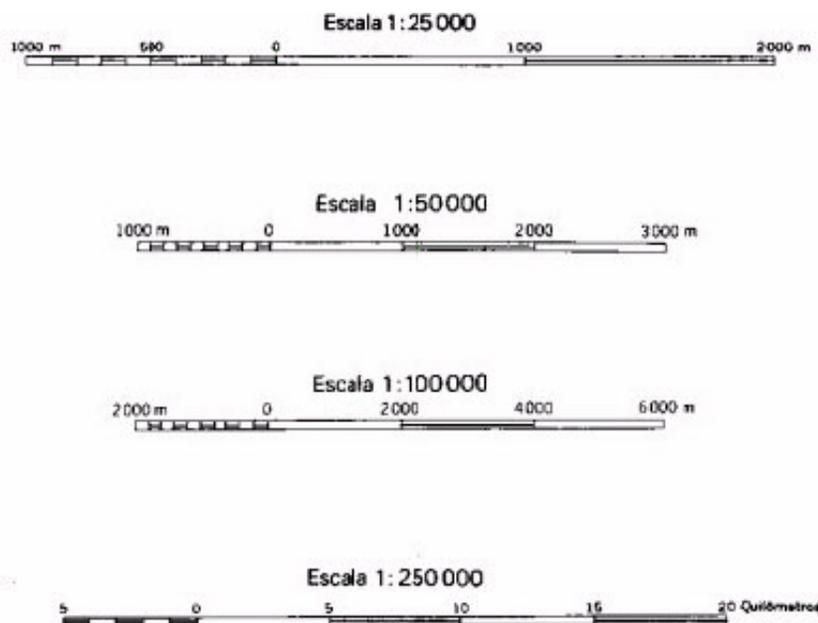


Figura 3.9 Ejemplos de la representación gráfica de una escala

- Mediante una fracción: Se representa con una fracción en la cual las distancias medidas directamente en el mapa, multiplicadas por el denominador de la escala, representan las distancias reales sobre el terreno, expresadas en las mismas unidades de medida. El numerador de la fracción es siempre la unidad, mientras mayor es el denominador, menor será la escala del mapa. En la figura 3.8 se presenta un ejemplo donde la escala de representación es 1:1000000; en este caso el mapa representa una reducción de 1000000 de veces, por lo que cada centímetro debe corresponder a diez kilómetros en la realidad.

$$\text{Escala Representada (E)} = \frac{1}{1000000} \left(\frac{\text{numerador}}{\text{denominador}} \right) \quad \text{o también} \quad E = 1000000$$

Figura 3.10 Ejemplo de una escala representada mediante una fracción

Los geógrafos usan una forma fraccional para distinguir los mapas a escalas grandes de los mapas a escalas menores; para identificar con facilidad cuando se habla de una escala se puede definir que los mapas con un denominador pequeño son los de una escala mayor, y los mapas de escalas menores son aquellos que tienen un denominador muy grande. Por ejemplo 1:20000 es más grande que una escala 1:50000, que a su vez es más grande que una 1:1000000. Casi toda la literatura sobre el tema establece que los mapas con escalas de 1:20000 o mayores se denominan de “escalas grandes”, y los mapas con escalas de 1:500000 o menores se denominan de “escalas pequeñas”, con una denominación de “escala intermedia” para aquéllos que se encuentran entre ambos valores.

En un mapa construido a gran escala es posible incluir rasgos físicos numerosos y de origen humano, pero al disminuir la escala, se tienen que llevar a cabo generalizaciones que inciden en el tipo de cartografía que se quiere representar. Al entender el uso de la escala, se facilita conocer la distancia que separa un punto de otro y calcular el tiempo de recorrido. En la tabla 3.3 se presentan las escalas comerciales que se utilizan en México; es importante mencionar que el costo de las mismas está relacionado con su nivel de representación, ya que para una misma área no es lo mismo cubrirla con una carta a escala 1:250000 que con cinco cartas a escala 1:50000.

Tabla 3.3 Descripción de las escalas de cartografía usadas en México

Escala de la carta	Nombre de la carta	1 cm corresponde a	1 cm ² en la carta corresponde a	1 km verdadero corresponde a	Dist. Mínima real observable
1:1,000	mil	10 m	0.0001 km ²	100 cm	0.25 m
1:5,000	5 mil	50 m	0.0025 km ²	20 cm	1.25 m
1:20,000	20 mil	200 m	0.0400 km ²	5 cm	5 m
1:50,000	50 mil	500 m	0.25 km ²	2 cm	12.5 m
1:200,000	200 mil	2 km	4 km ²	5 mm	50 m
1:250,000	250 mil	2.5 km	6.25 km ²	4 mm	62.5 m
1:1,000,000	millón	10 km	100 km ²	1 mm	250 m

Para la elaboración de atlas de riesgos se proponen dos escalas principales: para zonas urbanas (ciudades y áreas metropolitanas) 1:5,000 o mayor, y para una representación a nivel estatal, una escala menor de 1:20,000. Como parte de los parámetros que se deben de considerar para definir la escala, se encuentra la extensión territorial de la entidad federativa, la existencia de información temática y los sistemas con los que se integrará la misma.

Es importante aclarar que la cartografía base que se utiliza tiene una escala de origen, y que esta escala puede ser diferente a la de su impresión; en la actualidad con el manejo de los SIGs se puede incrementar o disminuir la escala de visualización fácilmente y llevar a cabo análisis entre información de escalas diferentes. Es importante tener presente la escala de elaboración, que es la que determina la precisión de los rasgos que se intentan representar.

3.2.9 Simbología

En México el INEGI ha elaborado cierta representación gráfica de elementos físicos y de infraestructura mediante su simbolización e incorporación a las cartas topográficas y temáticas. Parte de los criterios y descripción de la simbología puede ser consultada en el documento “Catálogo de símbolos y sus especificaciones para las cartas topográficas”, el cual está disponible a través de su página de Internet www.inegi.com.mx.

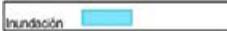
Sin embargo, no existe un criterio único para lograr una representación de los peligros y del riesgo, ya que esto depende de la escala, de las metodologías y de los autores. Derivado de una recopilación de diversas fuentes, se presentan tres criterios para el uso de la simbología; se sugiere que quien elabore el atlas las pueda considerar en el desarrollo del proyecto. En un futuro y como consecuencia de los trabajos que se vienen desarrollando a niveles diferentes, se tendrá una norma que homogenice los criterios existentes, con el fin de contar con una misma representación gráfica del peligro, vulnerabilidad y riesgo.

Los tres criterios para el uso de la simbología provienen de tres fuentes diferentes que son:

- 1) La “Guía técnica para la implementación del plan municipal de contingencias” (1998) elaborada por la Secretaría de Gobernación (SEGOB).
- 2) La “Guía metodológica para la elaboración de atlas de peligros naturales a nivel de ciudad, identificación y zonificación” (2004) elaborada por el Servicio Geológico Mexicano y la Secretaría de Desarrollo Social, la cual establece por medio de un diccionario de datos geográficos la simbología para la zonificación e identificación puntual de los fenómenos, principalmente orientada a la representación por medio de SIGs.
- 3) El estándar utilizado en los Estados Unidos y desarrollado por un grupo de trabajo del Departamento de Seguridad Interior, en conjunto con el Comité Federal de Datos Geográficos. Esta simbología contempla eventos naturales, infraestructura, incidentes, etc., y puede ser descargada directamente en la página web: <http://www.fgdc.gov/HSWG/>.

En la tabla 3.4 se presenta un resumen y algunos ejemplos de las fuentes y la simbología descrita en cada una de ellas.

Tabla 3.4 Fuentes de simbología para atlas de riesgo

Institución	Fuente	Ejemplos	Observaciones
SEGOB	Guía técnica para la implementación del plan municipal de contingencias	Lluvia  Tsunami 	Contiene iconografía la cual se puede colocar dentro de la cartografía de manera puntual, con el fin de lograr una representación de los fenómenos perturbadores.
SGM/SEDESOL	Guía metodológica para la elaboración de atlas de peligros naturales a nivel de ciudad, identificación y zonificación	Sismos  Tsunamis 	Diccionario de datos donde se describen cualidades para puntos, líneas y polígonos, tales como el color, grosor y achurado con el fin de representar la zonificación de diferentes fenómenos.
FGDC/USA	Comité Federal de Datos Geográficos / Grupo de trabajo para la seguridad interna	Lluvia J Tsunami T	Simbología de fenómenos naturales, infraestructura, etc. Se logra a través de un grupo de fuentes que se instalan en el sistema operativo.

3.2.10 Cartografía

A continuación se presentan las recomendaciones en la adquisición de cartografía básica, topográfica y temática, para su integración en un atlas, así como los nombres de los productos y las instituciones o empresas que los producen. Para la integración de información sobre riesgo, es necesario resaltar que se deberá contar con la cartografía catastral donde se localicen predios y viviendas. En la figura 3.11 se presenta un esquema de los tipos de cartografía existentes en el mercado y sus escalas.

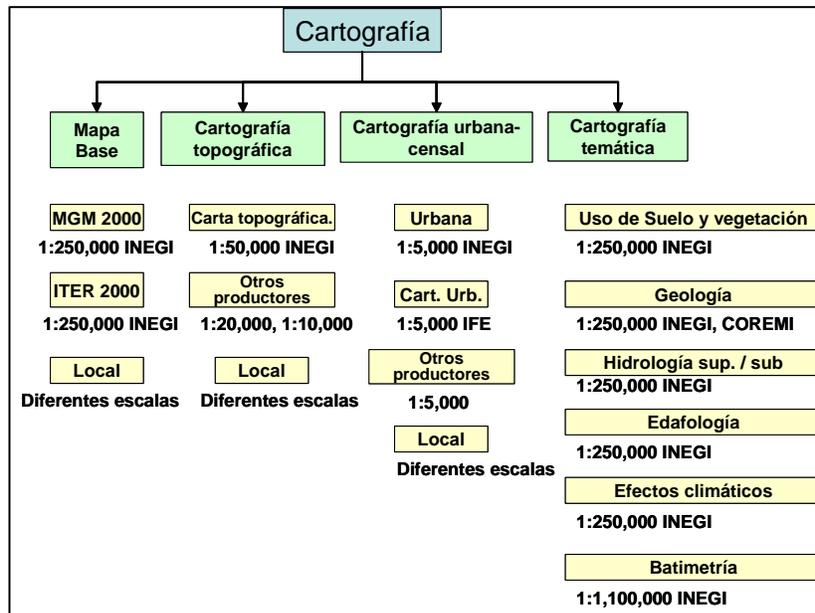


Figura 3.11 Tipos de cartografía, escalas e instituciones productoras

Inicialmente los trabajos de un atlas de riesgo deberán contemplar la adquisición o actualización de la cartografía base, que es donde se agregará la información sobre peligro, vulnerabilidad y riesgo; posteriormente de la integración cartográfica se deberán aplicar diversas metodologías mediante el uso de herramientas tecnológicas.

Cabe mencionar que la adquisición de cartografía no deberá ser la principal inversión en la elaboración de un atlas; se sugiere que no genere un gasto mayor al veinte por ciento del costo del proyecto, o en su caso pueda ser adquirida por donaciones o convenios interinstitucionales. Otro aspecto a resaltar es tratar de obtener documentación sobre la cartografía (metadatos), con lo cual se podrá referir a su escala, sistema de referencia horizontal y vertical, así como otros datos importantes para el adecuado manejo de la información.

Para contar con un mapa base se puede recurrir al Marco Geoestadístico Nacional (MGN) generado por el INEGI para fines censales principalmente; cabe mencionar que este producto no define los límites oficiales entre estados y municipios. En caso de que el estado no cuente con una base cartográfica elaborada por sus dependencias, se podrá recurrir a este producto, con el fin de contar con una división territorial y de colindancias. En un atlas de riesgo se deberá presentar la ubicación del municipio dentro de su estado, así como la de éste en el contexto nacional. El Marco Geoestadístico Municipal (MGM) está compuesto por los Marcos Geoestadísticos Estatales, Municipales y por las Áreas Geoestadísticas Básicas Rurales y Urbanas (AGEBS).



Figura 3.12 Marco Geoestadístico de la República Mexicana (MGM 2005), INEGI

Elaborado por el INEGI con información de los Censos de Población y Vivienda, el Catálogo de Integración General de Localidades (CIGEL), representa el número total de localidades existentes en el país; este producto sirve para ubicar geográficamente las localidades, además es útil para elaborar análisis espaciales sobre población y vivienda, y a su vez derivar estudios que puedan asociarse a la vulnerabilidad física y social.

Según el INEGI, se define a la localidad como todo lugar ocupado por una o más edificaciones utilizadas como viviendas, las cuales pueden estar habitadas o no; este lugar es reconocido por un nombre dado por la ley o la costumbre.

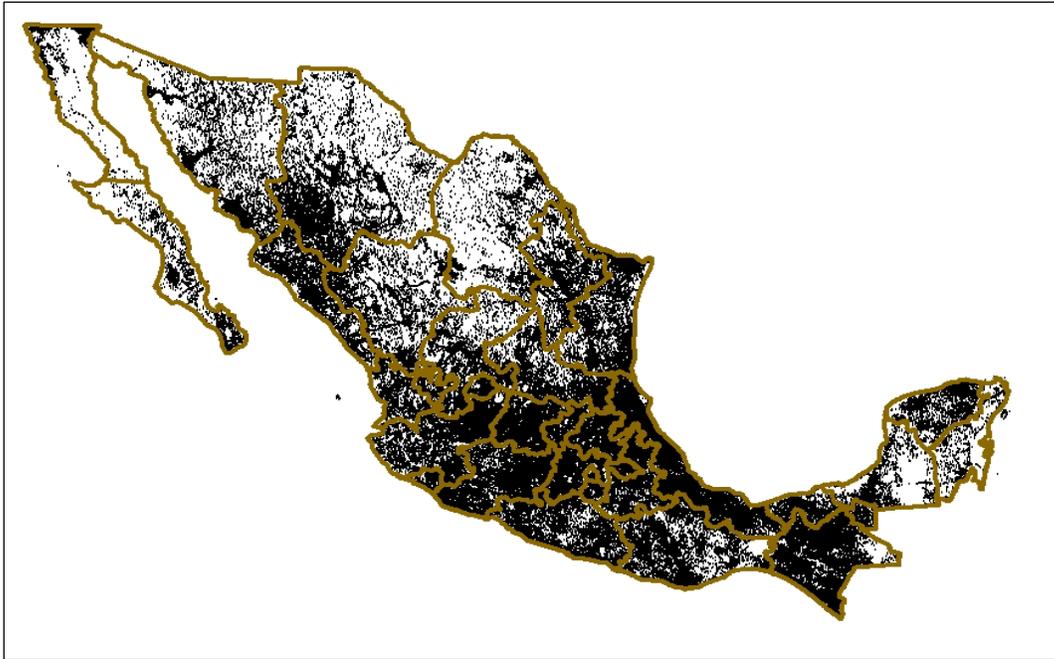


Figura 3.13 Integración territorial de México (CIGEL 2000), INEGI

3.2.11 Representación del terreno

El relieve es la diferencia de nivel entre los distintos puntos de la superficie terrestre; la representación del relieve en los mapas se logra mediante la utilización de distintos métodos. Uno de ellos es el de las curvas de nivel que van uniendo los puntos equidistantes situados a igual altura. Otro es por medio de modelos digitales del terreno (MDT), o de elevación (MDE) que son imágenes compuestas por arreglos numéricos que permiten conocer la altura asociada a una longitud y latitud específicas.

Se puede recurrir a varios métodos para obtener una representación del terreno, el más utilizado es el que resulta de la aplicación de técnicas fotogramétricas, esto es, derivado de la interpretación de pares estereoscopios obtenidos por fotografía aérea. De éstos se sigue el contorno del terreno y se van obteniendo áreas de alturas iguales mediante líneas que las delimitan.

Otras formas de obtener MDE de resolución y precisión altas pueden ser a través del uso de radar de apertura sintética, de imágenes satelitales o por medio de tecnología LIDAR (Light Detection And Ranking) la cual, mediante pulsaciones láser que reflejan al terreno, determina con gran precisión la conformación de la superficie terrestre.

En la figura 3.14 se presentan cuatro ejemplos de la representación del terreno para el estado de Oaxaca, el primero mediante curvas de nivel, el segundo a través de un modelo digital de elevación, en tercer lugar se presenta el sombreado del modelo digital y por último una vista tridimensional del Estado.

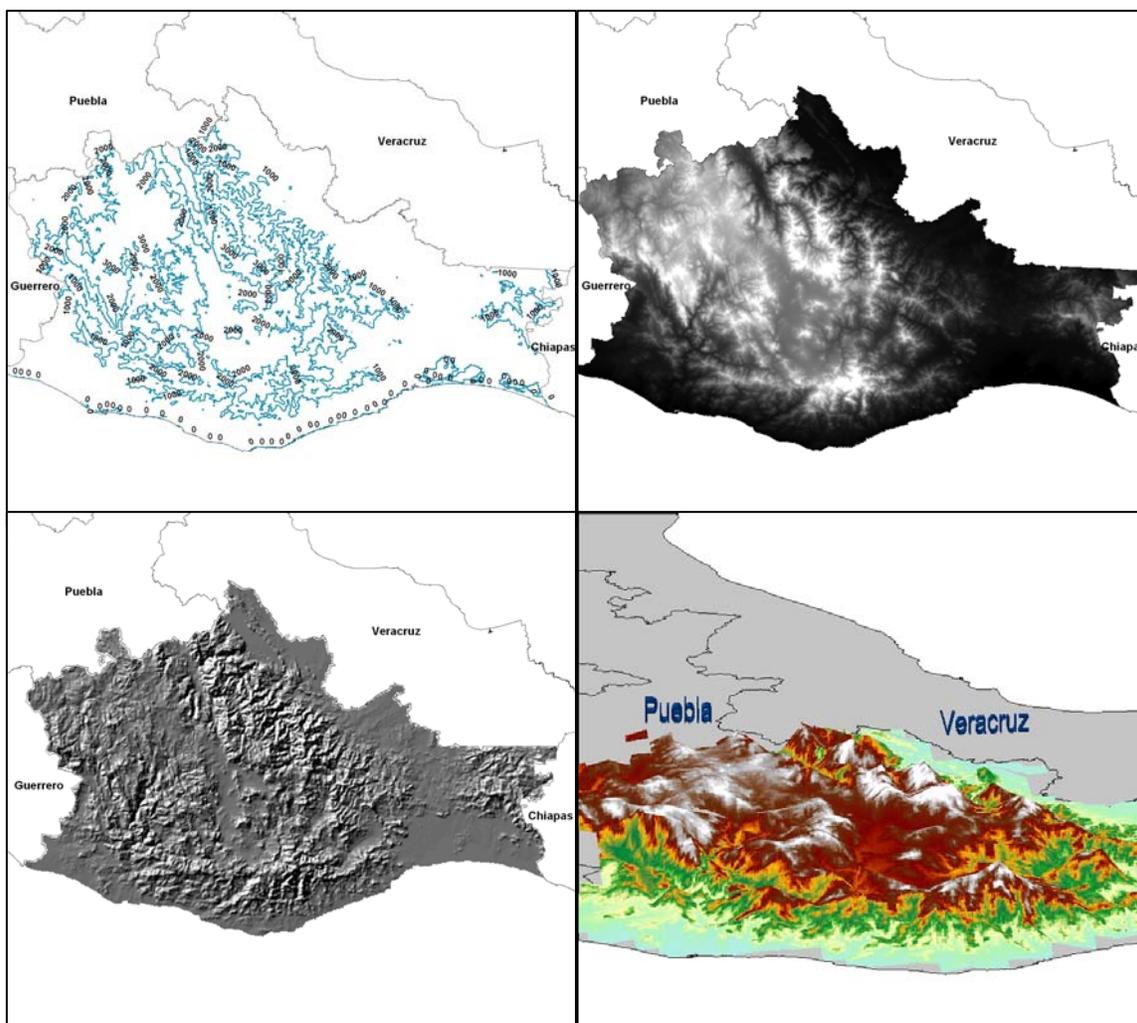


Figura 3.14 Altimetría del estado de Oaxaca, modelo digital de terreno, sombreado del modelo, y visión tridimensional

Conociendo la conformación del terreno, se pueden obtener datos como: la altura de una localidad con respecto al nivel medio del mar, la delimitación de una cuenca, las pendientes medias y máximas de un área y su orientación, redes de flujo entre otras características. Posteriormente, con estos insumos se puede realizar un análisis espacial mediante un SIG que permita modelar inundaciones, deslizamiento de laderas, flujos de lahares, medir hundimientos, entre otro tipo de estudios sobre peligros.

Para el desarrollo de un atlas de riesgo, forzosamente se deberá tener como insumo básico un MDE, que especifique su resolución horizontal y precisión vertical, así como la tecnología con el cual fue generado, ya que sin estos datos, los estudios de peligro estarán incompletos.

3.3 Marco de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo

En lo relativo a los desastres en México, se ha realizado una recopilación sobre los eventos ocurridos en el siglo XX y en este siglo, basada en documentos periodísticos, creando así el Prontuario de Contingencias del Siglo XX Mexicano (CENAPRED, 2001). El criterio para clasificar un evento como desastre fue que hubiera causado 100 víctimas o más o una pérdida económica significativa a nivel nacional. Hay una gran variedad de eventos que se han presentado a lo largo del siglo XX, así como un aumento en los mismos, debido al mejor registro que se tiene de ellos, pero también debido al aumento de la población y de los asentamientos humanos en zonas expuestas a los fenómenos naturales y antrópicos, así como el deterioro ambiental de las últimas décadas.

Los tipos de fenómenos que ocurren en México se dividen en cuatro grupos: fenómenos geológicos (sismos, tsunamis, volcanes y movimientos de la superficie del terreno), fenómenos hidrometeorológicos (lluvia, granizo y nieve, heladas, ciclones tropicales, escurrimientos, inundaciones, sequía, erosión, viento y marea de tormenta), fenómenos químicos (zonas de peligro, sustancias químicas, residuos peligrosos e incendios forestales), y otro tipo de fenómenos (sanitarios y socio-organizativos).

3.3.1 Peligros Geológicos

Los fenómenos geológicos son aquéllos en los que interviene la dinámica y los materiales del interior de la Tierra o de la superficie de ésta. En cuanto a sismos, la generación de éstos en el territorio nacional se debe a dos tipos de movimientos entre placas: a lo largo de la costa de Jalisco hasta Chiapas, las placas de Rivera y Cocos penetran por debajo de la Norteamericana, ocasionando el fenómeno de subducción; y entre la placa del Pacífico y la Norteamericana se tiene un desplazamiento lateral, que es visible en la parte norte de la Península de Baja California y en el estado de California, en Estados Unidos. También hay sismos que se generan en la parte interna de las placas, siendo éstos menos frecuentes que los anteriores; ejemplos de este tipo de sismos son el de Bavispe, Sonora en 1887, Acambay, Estado de México en 1912 y Oaxaca en 1931.

De los sismos de magnitud mayor a 7 que sucedieron en México en el siglo XX, el 77% tuvieron su origen a menos de 40 km, lo que implica un nivel de peligro considerable, si también se toman en cuenta su magnitud y su frecuencia de ocurrencia; estos grandes sismos se concentran principalmente en la costa occidental, entre Jalisco y Chiapas, así como en el Golfo de California y la parte norte de la misma Península. México cuenta con datos históricos de sismos a partir del siglo XIV, periodo de tiempo muy corto a comparación de otros países; sin embargo, estudios recientes han encontrado información de origen prehispánico acerca de los sismos.

Empleando los registros históricos de grandes sismos en México, los catálogos de sismicidad y datos de aceleración del terreno como consecuencia de sismos de gran magnitud, se ha definido la Regionalización Sísmica de México, que cuenta con cuatro zonas: la zona A es aquella donde no se tienen registros históricos, no se han reportado sismos de grandes alcances en los últimos 80 años, y donde las aceleraciones del terreno se esperan menores al 10% del valor de la gravedad; la zona D es donde han ocurrido con frecuencia temblores grandes y las aceleraciones del terreno que se esperan pueden ser superiores al 70% del valor de la gravedad; las zonas B y C son intermedias entre las dos anteriores, presentan sismicidad con menor frecuencia y sus aceleraciones del terreno no rebasan el 70% del valor de la gravedad.

No obstante, en esta regionalización no se toman en cuenta algunas características propias de cada terreno, como los valles aluviales, zonas lacustres, entre otras, donde el fenómeno sísmico puede

ampliarse, como es el caso de la Ciudad de México y de Ciudad Guzmán con el temblor de 1985. También se pueden generar otros fenómenos como consecuencia de un sismo, como la licuación, los movimientos de laderas y los desplazamientos permanentes del terreno.

Otro fenómeno geológico es el tsunami o maremoto, que son las olas que se generan cuando en el fondo oceánico ocurre un terremoto; al acercarse a la costa estas olas pueden alcanzar alturas de varios metros y ocasionar grandes pérdidas. La gran mayoría de los tsunamis tienen su origen en el contorno costero del Pacífico, es decir, en las zonas de subducción, aunque también se generan por erupciones de volcanes submarinos, impactos de meteoritos o deslizamientos de tierra bajo el mar.

Los tsunamis se clasifican en locales, en donde el sitio de arribo está muy cercano a la zona de origen; regionales, donde el litoral invadido está a una distancia menor a 1000 km, y lejanos, que se generan a más de 1000km del litoral. La estadística de maremotos ocurridos en la costa occidental de México es poco precisa, ya que la población era escasa en esta costa antes del siglo XIX, y la red de mareógrafos con la que se registran estos fenómenos empezó a funcionar hasta 1952.

La zona costera occidental de México es la zona de origen y arribo de tsunamis; para las costas de Baja California, Sonora y Sinaloa, se considera que la altura de ola máxima esperable es de tres metros, mientras que en el resto de la costa occidental dicha altura es hasta de 10 metros, ya que en el Golfo de California el movimiento de placas es lateral, así que se la zona es más receptora que originaria de tsunamis. Los tsunamis más destacados del país son los del 3 y 8 de junio de 1932, que afectaron la costa de Colima, siendo el más destructivo el generado el día 22 de junio de este año, todos estos generados por sismos de gran magnitud en éste estado y en el estado de Jalisco; el tsunami de Colima fue de 10 metros de altura y llegó hasta 1km tierra adentro en Cuytlán.

En cuanto al vulcanismo, México es una región donde se distribuyen gran parte de los volcanes del mundo, particularmente en una faja central que se extiende desde Nayarit hasta Veracruz. En México existen volcanes tanto poligenéticos, formados por la acumulación de materiales emitidos por varias erupciones durante largo tiempo, como monogenéticos, formados durante una sola erupción y posteriormente extintos, siendo estos últimos muy abundantes en el país.

Los materiales emitidos durante una erupción pueden causar diferentes efectos sobre el entorno, dependiendo de cómo se manifiestan. Las principales manifestaciones volcánicas son: flujos de lava como los del volcán de Colima (1982); flujos piroclásticos como los que se dieron en el volcán de Colima a finales de 1998 y en el Chichón, el 3 de abril de 1982; flujos de lodos como los del volcán Chichón en 1982; lluvias de fragmentos como los del volcán Chichón en 1982; y derrumbes y deslizamientos.

La tasa de erupción promedio en México durante los últimos 500 años ha sido de unas 15 erupciones de diversos tamaños por siglo; algunas han sido muy destructivas, como las del volcán de Colima de 1576 y 1818, las del volcán San Martín Tuxtla de 1664 y 1793, y la del Chichón en 1982, que devastó 150km² de áreas boscosas y de cultivo. Otras erupciones, como el nacimiento del volcán Parícutín, de tipo monogenético, produjeron flujos de lava, destruyendo poblaciones y tierras cultivables. Los volcanes que han causado erupciones importantes en tiempos recientes son:

- Tres Vírgenes (Baja California).
- Fuego de Colima (Colima).
- Sangangüey (Nayarit).
- Popocatepetl (Estado de México).
- Ceboruco (Nayarit).
- Citlaltépetl o Pico de Orizaba (Veracruz).
- San Martín Tuxtla (Veracruz).

- El Chichón o Chichonal (Chiapas).
- Tacaná (Chiapas).
- Bárcena (Islas Revillagigedo).
- Evermann o Socorro (Islas Revillagigedo).
- Paricutín (Michoacán).
- Jorullo (Michoacán).
- Xitle (Distrito Federal).

En cuanto a los movimientos de la superficie del terreno, hay cuatro tipos:

- a) Inestabilidad de laderas.
- b) Flujos de lodo y escombros.
- c) Hundimiento regional y local.
- d) Agrietamiento del terreno, originado por desplazamientos diferenciales, horizontales y/o verticales de la superficie del mismo.

Ejemplos de la inestabilidad de laderas y de flujos de lodo se encuentran en muchas zonas del país, por ejemplo, los fenómenos ocasionados por el paso del huracán Pauline en Guerrero y Oaxaca, particularmente en Acapulco, donde se registraron numerosos movimientos de materiales, como caídas de rocas y flujos de lodo y escombros. Otro ejemplo fue el de Teziutlán, Puebla, donde se dieron deslizamientos de laderas debido a una depresión tropical que provocó lluvias abundantes en la zona.

Ejemplos de desplazamiento del suelo se han dado en distintos estados, como Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Durango, Guerrero, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Sonora, Hidalgo e incluso en los alrededores del Distrito Federal.

Por otra parte, la explosión demográfica ha obligado a algunas localidades a depender de la explotación de acuíferos para obtener agua, para uso humano, agrícola e industrial; esta situación ha agudizado los problemas por hundimientos regionales y la generación de agrietamientos del terreno natural. Este fenómeno ha afectado directamente a las edificaciones y a la infraestructura de los centros urbanos envueltos, y se ha extendido hasta zonas de agricultura e industria, como en la ciudad de Aguascalientes.

3.3.2 Peligros Hidrometeorológicos

Los fenómenos hidrometeorológicos son aquéllos que están relacionados con el clima y el ciclo hidrológico; los principales fenómenos de este tipo que se dan en México son: precipitación pluvial, tormentas de granizo y nieve, heladas, ciclones tropicales, escurrimientos, inundaciones, sequía, erosión, viento y la marea de tormenta.

La precipitación pluvial se refiere a cualquier forma del agua que cae de la atmósfera hacia la superficie terrestre; en este caso nada más se incluyen las lluvias en este grupo, pues es un fenómeno muy frecuente y muy extendido por el territorio nacional. La topografía de México es la causa principal de la manera en que las lluvias se distribuyen, siguiendo el mismo patrón de las principales sierras del país; otro elemento que provoca precipitaciones de importancia en el noroeste del país es el desplazamiento de frentes fríos provenientes de las zonas polares, formando las tormentas de invierno y afectando a los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa.

Las tormentas de granizo pueden causar daños de magnitud diversa, dependiendo de su cantidad y tamaño. En zonas rurales afecta a las siembras, mientras que en zonas urbanas afecta a las viviendas y

construcciones diversas; incluso puede acumularse en el drenaje y obstruir el paso del agua, generando inundaciones. Las zonas del país más afectadas por las tormentas de granizo son el altiplano de México y regiones de Chiapas, Guanajuato, Durango y Sonora; de 1979 a 1988, los estados más afectados por este fenómeno, según registros de la Comisión Nacional del Agua, fueron: Guanajuato, Chihuahua, Tlaxcala, Nuevo León y Durango, teniendo una población expuesta estimada de 6 millones de habitantes.

Las tormentas de nieve necesitan de temperaturas más bajas que las tormentas de granizo, es por esto que no son tan comunes en México y rara vez se dan en el altiplano, sucediendo éstas por la influencia de corrientes frías provenientes del norte del país; el daño que puede ocasionar depende de su cantidad y puede afectar tanto a zonas urbanas como rurales. Las nevadas más importantes se dan principalmente en el norte del país; en las sierras del estado de Chihuahua, durante la estación invernal suceden en promedio más de 6 nevadas, y en algunas regiones de Durango y Sonora, las nevadas tienen una frecuencia de ocurrencia de tres veces al año.

Una helada ocurre cuando la temperatura del aire húmedo cercano a la superficie de la tierra desciende a 0° C, en un lapso de 12 horas; este fenómeno se puede dar tanto por el calor que pierde la Tierra durante la noche, como por las grandes masas de aire frío provenientes de Canadá y Estados Unidos. Las regiones con mayor incidencia de heladas en México son la Sierra Madre Occidental, en las Sierras Tarahumara, de Durango y Tepehuanes; además de las partes altas del Sistema Volcánico Transversal, esencialmente en los estados de México, Puebla y Tlaxcala, con más de 100 días al año con heladas. El mayor número de días con heladas se presenta en Toluca, en el mes de enero, sin embargo, las mayores pérdidas económicas se han dado en Chihuahua y en Puebla, con pérdidas de varias decenas de millones de pesos para el periodo de 1979 a 1985.

Los ciclones tropicales consisten en una gran masa de aire cálida y húmeda con vientos fuertes que giran en forma de espiral alrededor de una zona central de baja presión; estos fenómenos generan lluvias intensas, vientos fuertes, oleaje grande y mareas de tormenta. Se clasifican de acuerdo con la presión en su centro o de la intensidad de sus vientos (depresión tropical, tormenta tropical y huracán).

Las regiones donde se originan los ciclones se conocen como zonas ciclogénicas o matrices (entre las latitudes de 5° y 15°, en ambos hemisferios); los ciclones que llegan a México provienen de la zona de Campeche, del Golfo de Tehuantepec, el Caribe (13° Norte, 65° Oeste) y al sur de las islas Cabo Verde (12° Norte, 57° Oeste). La temporada de ciclones tropicales en México inicia en la primera quincena del mes de mayo por el océano Pacífico, mientras que en el Atlántico inicia en junio, terminando en ambos océanos en noviembre, siendo septiembre el mes más activo.

Debido a lo mencionado anteriormente, la República Mexicana es afectada por ciclones tanto en sus costas del océano Pacífico, como en las costas del Golfo de México y el Caribe; las áreas afectadas regularmente abarcan más del 60% del territorio nacional. Se ha observado que en México, entre mayo y noviembre, se presentan 25 ciclones en promedio con vientos mayores de 63km/h, de los cuales 15 ocurren en el océano Pacífico y 10 en el Atlántico. Los huracanes más destructivos que han afectado el territorio nacional se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.4 Huracanes más destructivos en la República Mexicana de 1955 a 2005

Fecha	Huracán	Océano	Estados Afectados	Víctimas	Damnificados
4-6/09/1955	Gladys	Atlántico	Veracruz y Tamaulipas	-	-
10/09/1955	Hilda	Atlántico	San Luis Potosí	-	1200
21-30/09/1955	Janet	Atlántico	Yucatán y Quintana Roo	12000	52530
1959	Ciclón de Manzanillo	Pacífico	Colima y Jalisco	1500	Más de 1600
8-23/09/1967	Beulah	Atlántico	Tamps., N.L., Yuc. y Q. Roo	19	100000

29/08-2/09/1967	Katrina	Pacífico	Gro., B.C.S., B.C., Son. y Nay.	15	30000
10-13/09/1968	Naomi	Pacífico	Col., Sin., Dgo., Jal., Coah., Son. y Chih.	10	50000
29/09-1/10/1976	Liza	Pacífico	B.C.S. y Sonora	Más de 1000	10000 a 12000
14-17/09/1988	Gilbert	Atlántico	Yuc., Q.Roo, Camp., Tamps., N.L. y Coah.	250	150000
17-21/09/1993	Gert	Atlántico	Ver., Hgo., S.L.P. y Tamps.	40	75000
12-16/09/1995	Ismael	Pacífico	Son., Sin. y B.C.S.	150 a 200	24111
27/09-5/10/1995	Opal	Atlántico	Ver., Camp., Tab., Q. Roo y Yuc.	45	250000
8-20/10/1995	Roxanne	Atlántico	Ver., Camp., Tab., Q. Roo y Yuc.	6	40000
5-10/10/1997	Pauline	Pacífico	Guerrero y Oaxaca	393	Más de 50000
1-5/10/2005	Stan	Atlántico	Ver., Camp., Q. Roo y Yuc.	2000	120000
15-25/10/2005	Wilma	Atlántico	Campeche, Q. Roo y Yucatán	63	1000000

Los flujos de agua que se forman en la superficie del terreno, ya sea por la lluvia o por agua que emana del interior del suelo, reciben el nombre de escurrimiento; el superficial corresponde a aquella parte del agua que se precipita y se desplaza sobre el suelo, que llega a corrientes pequeñas, arroyos y ríos, y puede dar lugar a las crecidas o avenidas que se manifiestan por un cambio brusco del nivel del agua en los cauces de los ríos.

Los recursos de agua dulce de una región están constituidos por ríos, arroyos, lagos y lagunas, así como almacenamientos subterráneos; en México su distribución es muy heterogénea: en la región sureste del país, el potencial hidráulico equivale a 42% de los escurrimientos fluviales, mientras que en el altiplano central y del norte del país se cuenta con el 4% de los escurrimientos superficiales. Las presas tienen una función importante en el control de inundaciones, ya que regulan el escurrimiento de los ríos, disminuyendo su magnitud al almacenar el agua para después descargarla en menor cantidad en la época de estiaje. La infraestructura hidráulica de México tiene una capacidad de almacenamiento de 150,000 millones de m³, que corresponde al 37% del escurrimiento medio anual del país.

Sin embargo, una presa puede ser una fuente de riesgo por alguna ruptura o cuando desaloja un gran volumen de agua en un lapso corto; es particularmente peligrosa cuando aguas debajo de la misma existen poblaciones con más de 200 viviendas o mayores de 1000 habitantes, o cuando existen centros de actividad industrial intensa o áreas con un índice de productividad agrícola alto o explotación diversa de 500 o más hectáreas, en la zona a la que pueden cubrir la aguas provenientes de estos embalses.

Un fenómeno relacionado con el escurrimiento que ha causado daños importantes es el escurrimiento súbito, donde la cantidad de agua que está fluyendo cambia rápidamente, debido a lluvias intensas, a algún tipo de daño en una estructura de contención o por la descarga de una presa. Este tipo de escurrimientos provoca las inundaciones, que es el fenómeno que sucede inmediatamente después de las lluvias, de la falla de una presa o del desbordamiento de un río.

En ciudades como la de México, en la zona poniente, se presenta con frecuencia una precipitación intensa; de igual modo, en la costa de Chiapas, Acapulco, Guerrero, Sierra Norte de Puebla y en la Península de Baja California, existen regiones afectadas por este tipo de eventos. Con este tipo de eventos registrados, se ha logrado elaborar el mapa de riesgos por escurrimientos súbitos, siendo su pronóstico muy difícil de realizar.

Cuando el agua cubre una zona del terreno durante cierto tiempo se forma una inundación; cuanto más tiempo permanece el agua y más grande es el espesor del volumen del agua, causa daños mayores. Estas pueden ocurrir por lluvias en la región, desbordamiento de ríos, ascenso del nivel medio del mar, rotura de bordos, diques y presas, o por las descargas de agua de los embalses; tiene por lo general una capa de más de 25cm de espesor y puede alcanzar varios metros.

Debido a la ubicación de México, una causa de las inundaciones son las lluvias intensas generadas por los ciclones tropicales. Los daños principales producidos y registrados por inundaciones (ya sea por huracanes, avenidas súbitas, etc.), de 1955 a 1998, han sucedido en los siguientes estados: Tamaulipas, Quintana Roo, Yucatán, Nuevo León, Baja California, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Distrito Federal, Coahuila, Sinaloa, Baja California Sur, Chiapas y Guanajuato.

La sequía en una zona corresponde a un periodo prolongado de tiempo seco, es decir, con poca lluvia; aunque se considera como fenómeno hidrometeorológico para su estudio, dista de tener características similares a éstos, ya que su ocurrencia no se percibe fácilmente, sino hasta que empiezan a notarse los daños, y puede afectar grandes extensiones durante meses o años.

Existen regiones del planeta donde es más probable que se desarrollen las sequías; tal es el caso de las zonas que están alrededor de los 30° de latitud norte y sur. México tiene gran parte de su territorio en esta franja de alta presión de latitud norte, por lo que tiene zonas áridas y semiáridas; los estados del país donde se presentan con mayor frecuencia las sequías están al norte. En orden de severidad de sus efectos desfavorables están: Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Baja California, Sonora, Sinaloa, Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo y Tlaxcala. En los últimos años, se han registrado en México cuatro grandes periodos de sequías, estos son: 1948 – 1954, 1960 – 1964, 1970 – 1978 y 1993 – 1996.

La erosión corresponde al desprendimiento y transporte del suelo debido a la acción de la lluvia, el viento o el oleaje; este proceso es muy lento y no se aprecia a corto plazo, sino hasta que se encuentra en una fase avanzada, cuando se ha perdido gran parte del suelo. En México la mayor pérdida de suelo se produce por la lluvia, desde las gotas que caen al suelo, hasta el material que llega al cauce de los ríos y es arrastrado por los mismos. Aunque hay zonas más susceptibles a la erosión que otras, todas se han visto afectadas por este fenómeno por el mayor grado de afectación que produce el hombre.

Los vientos de mayor intensidad en México son los que se producen durante los huracanes, por lo tanto, las zonas costeras con una frecuente incidencia de huracanes son las que están expuestas a un mayor peligro por el efecto del viento; la forma para regionalizar el peligro por viento es la que se usa para fines de ingeniería, en las normas para diseño de edificios y otras estructuras, tomando en cuenta la velocidad del viento, tanto la máxima como la media, así como las ráfagas súbitas que aumentan ésta.

La superficie del mar varía por fenómenos diversos tales como las mareas astronómicas, o por fenómenos extraordinarios como los tsunamis o las mareas de tormenta; éste último fenómeno se produce por efecto de los ciclones tropicales y otras tormentas marinas, en la costa donde los vientos soplan de mar a tierra. Se trata de una elevación en el nivel del mar, debida al empuje que sobre la superficie del mar ejerce el viento en su trayecto hacia la costa.

La magnitud de esta marea depende de la intensidad de los vientos y del perfil del fondo submarino en las inmediaciones de la costa. A nivel mundial, es la causa principal de pérdidas humanas asociadas a los huracanes; sin embargo, en México no tiene el mismo efecto, ya que la plataforma continental es muy abrupta en la mayor parte de los mares y el perfil costero adquiere rápidamente pendientes pronunciadas, aunque no siempre puede evitarse este fenómeno.

El caso reciente más grave de éste fenómeno fue el del huracán Gilbert en 1988, que causó marea de tormenta de 3 metros, que afectó la parte norte y oriental de la península de Yucatán, y particularmente al Puerto de Progreso, en la costa norte. La costa del Pacífico tiene un peligro moderado gracias a su topografía costera abrupta, hasta el Golfo de California, donde la topografía es menos abrupta; en el

Atlántico el peligro es moderado hasta la punta noroccidental de la península de Yucatán, donde la plataforma se ensancha, aumentando el nivel de peligro.

3.3.3 Peligros Químicos

A lo largo de la historia de la humanidad, se han desarrollado satisfactores para las cambiantes condiciones de vida, lo cual implica la obtención, almacenamiento, manejo y transformación de diversas materias primas, como la madera, el petróleo, minerales, vegetales, entre otros. Desde 1950 se ha acelerado el desarrollo industrial y tecnológico de México, lo que conlleva el uso de una amplia variedad de sustancias químicas, necesarias para la elaboración de nuevos productos para uso doméstico, agrícola e industrial; esto genera residuos tóxicos y no tóxicos, los cuales se vierten al suelo, agua y aire, ocasionando la contaminación del ambiente.

Las zonas industriales se encuentran distribuidas en parques industriales de ciudades de todo el país, aunque existen sitios donde su número es mayor como sucede con la zona centro (Estado de México, Querétaro, Puebla, Distrito Federal y Guanajuato), la zona norte (Baja California, Chihuahua y Nuevo León) y la zona sureste (Oaxaca, Veracruz y Tabasco). Además, las materias primas se transportan por vías diversas (carretera, ferrocarril, barco y tubería), lo que implica un riesgo, ya que en caso de que ocurra un accidente que provoque eventos como una fuga, incendio, explosión o derrame del material, se puede ocasionar daño físico al ser humano, al medio ambiente o a la infraestructura.



Figura 3.15 Índice de las sustancias peligrosas a nivel de municipio

Los riesgos que implica una actividad industrial pueden clasificarse de la manera siguiente:

- a) Riesgos Convencionales: Son aquéllos ligados a las actividades laborales (caídas desde escaleras, accidentes por descargas eléctricas, por maquinaria, por ejemplo).
- b) Riesgos específicos: Relacionados con la utilización de sustancias particulares y productos químicos, que por su naturaleza, pueden producir daños de alcance corto y largo a las personas, a la infraestructura y al ambiente.
- c) Grandes Riesgos Potenciales: Ligados a accidentes anómalos, que pueden implicar explosiones o escape de sustancias peligrosas que llegan a afectar áreas vastas en el interior y exterior de la planta, dependiendo de dos factores: la naturaleza de los materiales que se manejen, y la vulnerabilidad de los equipos, del proceso, del transporte y de la distribución de los materiales (riesgo intrínseco); y de las características del sitio en que se encuentra ubicada, donde puede haber factores que magnifiquen los riesgos derivados de accidentes (riesgo de instalación).

En México, una parte importante de la industria se encuentra ubicada en zonas o parques localizados, aunque también se pueden encontrar dentro de ciudades (como la farmacéutica) o en sitios más aislados. Esta distribución de parques no es uniforme; una gran parte de la industria de manufactura se encuentra ubicada en la parte central y norte del país, mientras que la petrolera se encuentra en la zona sur y sureste. Su ubicación sirve para identificar los sitios que implican un riesgo considerable, pero que permiten la planeación de medidas de prevención o atención a emergencias, en caso de que éstas se llegaran a presentar.

En cuanto a los accidentes que se han presentado, muchos corresponden a la zona manufacturera concentrada en la zona norte del país, en la frontera con Estados Unidos; sin embargo, los accidentes que se han dado no han sido de una magnitud importante, ni se manejan sustancias tan peligrosas como es el caso de la industria petroquímica del país o las tuberías existentes para el transporte de gas (LP, natural o mezclas de hidrocarburos), así como los sitios donde se encuentran las estaciones de servicio, tales como las gasolineras, cuyo aumento en número ha sido constante en el país, aumentando el riesgo en caso de explosión, ya que hay lugares donde la densidad de población alrededor de éstas es muy grande, como en la Ciudad de México.

Otro caso es el del uso de materiales radioactivos, orientado a fines industriales, de investigación y médicos; en México sólo se cuenta con una planta nucleoelectrica, la central nucleoelectrica de Laguna Verde, en la costa del Golfo de México, en el Municipio de Alto Lucero, Estado de Veracruz, a 70km al noroeste de la Ciudad de Veracruz, y su actividad comenzó el 29 de julio de 1990 en la unidad 1, y el 10 de abril de 1995 en la unidad 2. El peligro de esta planta reside en la probabilidad de una explosión de alguno de los dos reactores, provocando una nube radioactiva que podría llegar incluso hasta la Ciudad de México, gracias a los vientos y diversas condiciones climáticas, que permitirían una gran dispersión de los compuestos radioactivos que se utilizan en la planta. Se han realizado mapas en caso de emergencia en Laguna Verde, con sus respectivas rutas de evacuación para la zona norte y para la sur, marcando también la carretera federal y todos aquéllos caminos que puedan funcionar como rutas de salida de la zona de peligro; esta zona de peligro está representada como un semicírculo, tiene un radio de 20 kilómetros, tanto al sur como al norte y es el lugar donde se cree que pueda haber contaminación radioactiva proveniente de Laguna Verde.

En cuanto a los accidentes con sustancias químicas, la siguiente tabla muestra los accidentes registrados en 1996 y 1997, y la sustancia que se vio envuelta en éstos:

Tabla 3.5 Número de accidentes carreteros y materiales que se encuentran involucrados

Sustancia	1996	1997
Gas (LP, butano, butano propano, propano y doméstico)	143	179
Combustóleo	62	74
Gasolina (magna sin y nova)	26	45
Diesel (desulfurado, industrial y sin)	37	46
Sustancia no especificada	24	29
Acido Sulfúrico	17	21
Hidróxido de Sodio	11	16
Amoniaco	8	12
Asfalto	10	9
Turbosina	9	10
Azúfre	3	12
Acido Fosfórico	6	8
Combustible	4	6
Policloruro de Vinilo	5	5
Fertilizante	4	6
Aceite	8	2
Tolueno	4	4
Hipoclorito de Sodio	3	5
Oxígeno	1	7
Cloruro de Vinilo	1	4
Acido Clorhídrico	2	3
Otros	175	181

También se han registrado accidentes en fuentes fijas, es decir, los eventos que se han generado en instalaciones, estaciones de servicio y tuberías, además de otros lugares como: viviendas, basureros, cuerpos de agua, planteles educativos, lugares de orden público, monumentos históricos, oficinas, comercios u otros sitios. El número total de eventos ocurridos en cada estado de la República de 1990 a 1997 se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 3.6 Número de accidentes en México donde se involucran sustancias químicas en fuentes fijas

Estado	Eventos	% de ocurrencia
Estado de México	161	14.72
Distrito Federal	160	14.63
Veracruz	89	8.14
Jalisco	88	8.04
Chiapas	64	5.85
Baja California	48	4.39
Tamaulipas	46	4.20
Nayarit	45	4.11
Hidalgo	37	3.38
Puebla	36	3.29
Michoacán	33	3.02
Sonora	29	2.65
Oaxaca	28	2.56
Guerrero	23	2.10
Coahuila	22	2.01
San Luis Potosí	22	2.01
Guanajuato	21	1.92
Tabasco	18	1.65
Morelos	17	1.55
Querétaro	17	1.55
Tlaxcala	17	1.55
Sinaloa	14	1.28
Colima	11	1.01
Durango	9	0.82
Baja California Sur	8	0.73
Campeche	7	0.64
Yucatán	7	0.64
Chihuahua	4	0.37
Nuevo León	4	0.37

Quintana Roo	4	0.37
Aguascalientes	3	0.27
Zacatecas	2	0.18
Total	1094	100

Las sustancias químicas que aparecen con mayor frecuencia en los accidentes en fuentes fijas son: gas LP, gasolina, amoniaco, amoniaco anhidro, explosivos, combustóleo, hidrocarburos, petróleo crudo, ácido clorhídrico, sosa cáustica, ácido sulfúrico y combustible; siendo el evento más frecuente el de fuga de material.

Los residuos peligrosos son aquéllos que debido a su cantidad, concentración, características físicas, químicas o infecciosas, pueden contribuir a aumentar la mortalidad o las enfermedades en la población y poseen una o más de las características CRETIB (Corrosivas, Reactivas, Explosivas, Tóxicas, Inflamables o Biológico infecciosas). Según la información reportada al Instituto Nacional de Ecología, la generación estimada de residuos peligrosos para 1997 fue de más de 12 millones de toneladas, sin considerar la producción minera (INE, 1997); en esta cantidad se encuentran los siguientes residuos: solventes, aceites gastados, líquidos residuales, sustancias corrosivas, breas, escorias, medicamentos y fármacos caducos, y residuos biológico infecciosos. De acuerdo con los datos, las zonas centro y norte contribuyen con más del 90% de los residuos generados, debido a la concentración de la industria en estas zonas.

Tabla 3.7 Generación estimada de residuos peligrosos en México, por zona geográfica

Zona	Generación (ton/año)	%
Centro	6,667,191	52.37
Norte	4,909,509	38.56
Golfo	637,582	5.01
Sureste	517,392	4.06
Total	12,731,674	100.00

Fuente: INE, Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas.

Tabla 3.8 Tipos de residuos peligrosos generados en México (1997)

Residuo	%
Sólidos	27.97
Líquidos residuales de proceso	20.95
Aceites Gastados	17.26
Lodos	13.50
Solventes	9.54
Sustancias corrosivas	5.89
Escorias	4.58
Residuos biológico infecciosos	0.21
Breas	0.04
Medicamentos y fármacos caducos	0.04

Se considera incendio forestal al fuego que, con una ocurrencia y propagación sin control, afecta selvas, bosques o vegetación de zonas áridas o semiáridas, por causas naturales o inducidas; los meses durante los cuales ocurre la mayor cantidad de incendios son de enero a mayo, lo que coincide con la temporada de heladas y sequía, cuando la cantidad de material combustible es elevada. Los incendios forestales atribuibles a causas humanas representan el 97% del total de los que se producen en el país; los estados más afectados durante el año 2006 fueron Quintana Roo y Coahuila (por superficie afectada), y el Distrito Federal y el Estado de México (por número de incendios).

Tabla 3.9 Estados que registraron la mayor área afectada en el año 2006

Estado	Número de incendios	Superficie afectada (Ha)
Quintana Roo	142	53,632
Coahuila	122	22,671

Jalisco	616	18,813
Chihuahua	990	17,036
Oaxaca	237	13,061
Michoacán	1,048	13,059
Durango	155	12,129
Chiapas	328	10,475
Yucatán	86	8,970
Estado de México	1,509	7,027
Guerrero	162	6,954
Sonora	39	5,338
Sinaloa	91	5,136
Tamaulipas	41	4,387
Puebla	344	3,273
Baja California	54	3,268
San Luis Potosí	72	2,747
Nayarit	86	2,711
Total Nacional	8,162	226,370

Aunque estos son los fenómenos y riesgos principales que afectan la República Mexicana, existen otros riesgos como los de origen sanitario: contaminación ambiental, desertificación y epidemias; y los riesgos socio-organizativos, tales como los accidentes de cualquier tipo de transporte, interrupción del suministro de servicios vitales, accidentes industriales o tecnológicos no asociados a productos químicos, comportamiento desordenado de concentraciones de población grandes, conducta antisocial, sabotaje y terrorismo.

3.3.4 Identificación de los sistemas expuestos y su vulnerabilidad

Para evaluar la vulnerabilidad se pueden utilizar métodos cuantitativos que requieren el empleo de expresiones matemáticas llamadas funciones de vulnerabilidad, que relacionan las consecuencias probables de un fenómeno sobre una construcción, una obra de ingeniería o un conjunto de bienes o sistemas expuestos con la intensidad del fenómeno que podría generarlas. Así, desde el punto de vista preventivo, es importante estimar el nivel de daño esperado para un nivel de intensidad dado, de manera que se puedan tomar las medidas preventivas para disminuir la vulnerabilidad.

Para generar las funciones de vulnerabilidad correspondientes, se deberá hacer una selección cuidadosa de los parámetros de intensidad generados por un fenómeno, de tal manera que tengan una correlación adecuada con las consecuencias que de ellos se derivan; asimismo, se debe realizar una clasificación de los sistemas expuestos, de acuerdo a su sistema estructural, como la siguiente clasificación del CENAPRED y el Instituto de Ingeniería (UNAM, 2003):

- Tipo I Casas para habitación unifamiliar, construidas con muros de mampostería simple o reforzada, adobe, madera o sistemas prefabricados.
- Tipo II Edificios para vivienda, oficinas y escuelas, construidos con concreto reforzado, acero, mampostería reforzada o sistemas prefabricados.
- Tipo III Construcciones especiales: teatros y auditorios, iglesias, naves industriales, construcciones antiguas.
- Tipo IV Sistemas de gran extensión o con apoyos múltiples: puentes.
- Tipo V Tuberías superficiales o enterradas.

Otra clasificación se basa en dividir a los sistemas expuestos por su tipo de infraestructura:

Tipo I	Vivienda (Casas para habitación unifamiliar, edificios para vivienda y oficinas, así como estructuras especiales como teatros, iglesias, auditorios y naves industriales).
Tipo II	Infraestructura de Servicios Sanitarios (Hospitales, centros de salud y estructuras que funcionen como prestadoras de servicios sanitarios y médicos).
Tipo III	Infraestructura Educativa (Escuelas, Universidades y otros centros educativos).
Tipo IV	Infraestructura de Vías de Comunicación (Autopistas, carreteras, puentes, caminos, terracerías, avenidas, tuberías superficiales o subterráneas, cableado, vías de tren, entre otras).
Tipo V	Infraestructura Hidráulica (Presas, diques, canales, tuberías superficiales o subterráneas y depósitos de agua).

Aunque haya forma de cuantificar el daño que se pueda producir durante un evento que conlleve un desastre, es muy difícil procesar este tipo de información para convertirla en datos de carácter preventivo, ya que los fenómenos naturales varían mucho, al igual que las poblaciones y la infraestructura. Es por esto que los SIGs pueden crear escenarios de riesgos con información basada en eventos pasados, pero es más complicado realizar escenarios de este tipo con eventos proyectados a futuro.

Sin embargo, un mejor manejo, práctica, comprensión y análisis de los fenómenos naturales a través de los SIGs, logrará que el margen de error existente se reduzca hasta que los mapas y datos que se realicen a partir de ellos sean confiables y la información esté basada en la realidad, reduciendo así el riesgo en todo el país ante los desastres que lo aquejan.

Otro aspecto a tomar en cuenta es que en México no existe la información necesaria para realizar un atlas de riesgos completo y basado en la realidad, pues el uso de SIGs en el país es muy reciente y no se ha desarrollado por igual en todos los estados ni en todas las dependencias del gobierno, haciendo que la realización de este tipo de atlas se vuelva más difícil y tarde más en elaborarse. La información de un atlas debe de procesarse continuamente y ser actualizada todo el tiempo, por lo que este aspecto es vital para tener un atlas que corresponda con la realidad en México, así como para darle el mejor uso posible para la prevención de desastres en el país.

CAPÍTULO IV
MODELO DE INTEGRACIÓN Y DE DATOS PARA UN
ATLAS DE RIESGO

CAPÍTULO IV: MODELO DE INTEGRACIÓN Y DE DATOS PARA UN ATLAS DE RIESGO

4.1 Modelos de Datos

La tecnología de los SIGs está basada en su capacidad para organizar la información en conjuntos de capas que pueden integrarse usando su ubicación geográfica, su clasificación, su origen, entre otros parámetros. Cada base de datos de un sistema de información geográfica está organizada como un conjunto de capas temáticas para representar una respuesta a un conjunto de problemas particulares, como la hidrología, las vías de comunicación o el medio ambiente.

La modelación de datos sirve para identificar las capas temáticas que se utilizarán, y especificar los contenidos y representaciones de cada capa temática; esto incluye definir cómo se representarían las características geográficas, si como puntos, líneas, polígonos, rasters o atributos tabulares; cómo se organizan los datos en clases características, atributos y relaciones, y las reglas de la integridad espacial de la base de datos para implementar un mejor uso de los SIGs, usando topologías, redes, catálogos de rasters (o barridos, literalmente), entre otros. El fin último será desarrollar un modelo de datos que pueda ser implementado como una base de datos utilizable.

El proceso utilizado para crear una base de datos en un SIG, emplea un sistema de gestión de base de datos y sus métodos de diseño; este capítulo contiene los principios básicos de diseño de los SIGs, el proceso de este diseño y algunos métodos para la representación gráfica. El objetivo es tener un marco para entender los diseños y para interpretar los diagramas de modelos de datos que existen en los estudios actuales.

4.1.1 Principios de diseño de los Sistemas de Información Geográfica

Una base de datos de un SIG está basada en representaciones geográficas, es decir, las entidades geográficas individuales se pueden representar como rasgos (puntos, líneas y polígonos), como áreas continuas e imágenes usando rasters o redes irregulares de triangulación (TIN's, por sus siglas en inglés), y como gráficos de mapa (etiquetas de texto y símbolos).

Las representaciones geográficas están organizadas en conjuntos de capas temáticas; una capa temática es una colección de elementos geográficos comunes, como las vías de comunicación, los tipos de suelo, la elevación del terreno y las imágenes de satélite para un día en específico, entre otros.

Los expertos han buscado el modo de dividir la información geográfica de los mapas en capas de información lógica, más que en una colección aleatoria de objetos. Los usuarios de los SIGs organizan la información en capas temáticas que describen la distribución de un fenómeno y cómo debe ser interpretado a través de una extensión geográfica. Las capas también proporcionan un protocolo para recolectar las representaciones diversas, es decir, cada área de una extensión específica tiene asignado un tipo de fenómeno, y cada tipo de fenómeno se describe usando las propiedades y atributos de cada área.

Muchos temas están representados por una sola colección de características homogéneas, como los tipos de suelos, mientras que otros temas se representan con múltiples conjuntos de datos, como las calles e intersecciones; también existen cuadrículas de conjuntos de datos, que se usan para representar superficies continuas, como la elevación, las imágenes georreferenciadas, pendientes y otros. Estas

colecciones de datos pueden organizarse como clases características y capas de datos basados en rasters, en una base de datos de un SIG.

Tabla 4.1 Representaciones comunes en un SIG

Tema	Representación Geográfica
Hidrografía	Líneas
Vías de comunicación	Líneas
Vegetación	Polígonos
Áreas urbanas	Polígonos
Límites administrativos	Polígonos
Contornos de elevación	Líneas
Localización de pozos	Puntos
Ortofotos	Raster
Imágenes de satélite	Raster
Parcelas	Polígonos
Registros de parcelas	Tablas
Peligro y Riesgo	Polígonos

Tanto el uso requerido como las fuentes de datos existentes, influyen en las representaciones espaciales de un SIG; cuando se diseña una base de datos en un SIG, los usuarios tienen un conjunto de aplicaciones en mente, tratando de entender qué se pedirá del SIG. Comprender estos usos ayuda a determinar el contenido específico para cada tema y cómo se representará geográficamente; los usos requeridos de los datos ayudarán a determinar las representaciones adecuadas. En la figura 4.1 se encuentran representados diversos elementos asociados al peligro, que incorporados a un SIG, permiten establecer elementos para integrar modelos de datos.

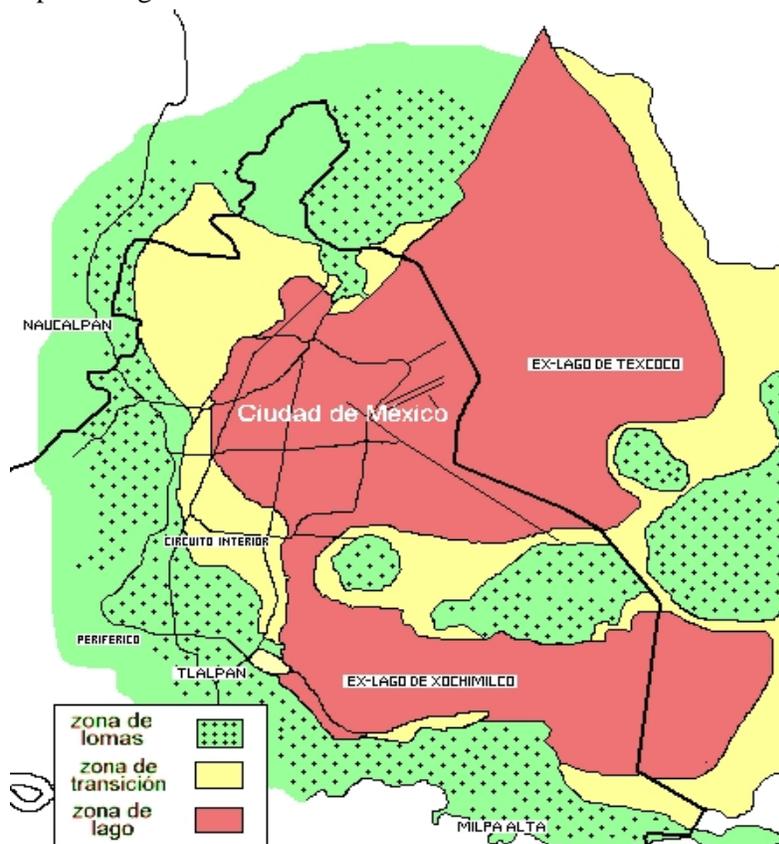


Figura 4.1 Ejemplo de mapa de riesgo sísmico para el Distrito Federal

Frecuentemente, las representaciones geográficas están predeterminadas hasta cierto punto por las fuentes de datos disponibles del tema; si una fuente de datos preexistente es recolectada a una escala y representación particular, será necesario adaptarla al diseño que se tenga para poder usarlo. Cada SIG contiene múltiples temas para un área geográfica común; la colección de temas actúa como un grupo de capas. Cada tema puede ser manejado como un conjunto de información independiente de otros temas, que tienen sus representaciones propias. Como los temas independientes diversos están referenciados espacialmente, se pueden sobreponer y combinar en un mapa común; es por eso que las operaciones de análisis de los SIGs, como la sobreposición, pueden fusionar la información entre temas.

4.1.2 Bases de Datos

Una base de datos incluye definiciones y reglas para una colección integrada de conjuntos de datos usados para representar una colección de capas temáticas en un SIG. Cada diseño incluye propiedades para clases características, topologías, redes, catálogos de rasters, relaciones, dominios, entre otros; entender estos elementos de una base de datos ayudará a construir un diseño sólido.

Cada modelo de base de datos representa tanto colecciones ordenadas de características simples y rasters, como las reglas y las propiedades del sistema que enriquecen el modo de uso del SIG. Los elementos más comúnmente empleados en el diseño de una base de datos son:

- a) **Clases características:** Son colecciones de rasgos representativos de los mismos elementos geográficos, como pozos, parcelas o tipos de suelo. Todos los rasgos en una clase característica tienen la misma representación espacial (punto, línea o polígono) y comparten una serie común de atributos descriptivos; las características individuales en estas clases también comparten relaciones espaciales con otras características; los rasgos lineales participan en una red interconectada para sus uso analítico. Otras características incluyen el cómo los rasgos se representan y simbolizan en mapas, es decir, una especificación de los atributos que serán usados para describir cada rasgo; los elementos adicionales de una base de datos se pueden definir para representar espacialmente y atribuir relaciones, y para mantener la integridad de los datos.
- b) **Conjuntos de Datos Característicos:** Son colecciones organizadas de clases de rasgos relacionados; las clases características están organizadas en conjuntos de datos de rasgos integrados para manejar relaciones espaciales entre clases características relacionadas. Es importante modelar tanto a los rasgos aislados simples como a las colecciones de mayor nivel, como un sistema de objetos y relaciones; esta capacidad de representar las relaciones espaciales usando topologías y redes, es clave para los SIGs.
- c) **Topologías y Redes:** Las topologías definen cómo los rasgos comparten geometría y controlan su integridad a través de reglas y modo de edición. Las redes son usadas para interpretar la conectividad y los flujos entre rasgos.
- d) **Conjuntos de Datos Raster y Catálogos de Rasters:** Las imágenes y otros conjuntos de datos raster, son un importante recurso en los SIGs que puede ser manejado usando bases de datos emparentadas. Los conjuntos de datos raster muy grandes pueden ser utilizados para administrar conjuntos de datos nacionales y globales que proporcionen un alto rendimiento y un acceso multiusuario en el SIG. Un número de mecanismos raster son usados para aumentar el desempeño y manejar colecciones grandes de rasters, por ejemplo, los modelos digitales del terreno y de elevación, y las imágenes de satélite.

El diseño de un SIG se construye con una serie de capas temáticas de información que abordarán una serie de requerimientos particulares; una capa temática es una colección de rasgos comunes, como las vías de comunicación, tipos de suelo, superficies de elevación, entre otras. Las capas temáticas se tienen que definir según las aplicaciones particulares y los requerimientos de información, para después definir cada capa temática detalladamente. La caracterización de cada capa temática resulta en una especificación de los elementos de una base de datos, como las clases características, tablas, relaciones, conjuntos de datos raster, subtipos, topologías y dominios.

Para identificar capas temáticas en un diseño, se tiene que caracterizar cada tema en términos de su representación visual, su uso esperado en el SIG, sus fuentes de datos y su nivel de resolución; estas características ayudan a describir el nivel de contenido alto que se espera para cada tema. El siguiente paso es desarrollar especificaciones para representar el contenido de cada capa temática en la base de datos, incluyendo la forma en que los rasgos geográficos se van a representar y el modo de organizar los datos en clases características, tablas y relaciones, así como la forma en que las reglas espaciales e integrales de las bases de datos serán usadas para mejorar el desempeño de un SIG.

Normalmente se consideran diez pasos básicos para el diseño de una geobase de datos; los primeros pasos sirven para identificar y caracterizar cada capa temática; en la fase de diseño lógico se desarrollan especificaciones de representación, relaciones y elementos, así como sus propiedades, para la geobase de datos; en la etapa de diseño físico se evalúa, refina y documenta el diseño a través de una serie de implementaciones. Las diez etapas de diseño son:

- 1) Identificación de la información de los resultados que se producirán con el SIG: Inventario de productos cartográficos, modelos analíticos, reportes de las bases de datos, acceso web, flujos de datos y requerimientos de la empresa.
- 2) Identificación de las capas temáticas clave basadas en los requerimientos de información: Especificar el uso del mapa, la fuente de datos, la representación espacial, la escala y exactitud del mapa, y la simbología y anotación.
- 3) Especificación de los rangos de escala y las representaciones espaciales para cada capa temática: Los datos de un SIG son compilados para un uso específico de la escala; la representación de los rasgos generalmente cambia entre puntos, líneas y polígonos a grandes escalas. Los rasters son muestreados para incluir gráficos multiresolución.
- 4) Representación de grupos en conjuntos de datos: Los rasgos discretos son modelados con conjuntos de datos característicos, clases características, clases relacionadas, reglas y dominios; los datos continuos son modelados con conjuntos de datos raster. Los datos medidos son modelados con conjuntos de datos sondeados; los datos superficiales se modelan con rasters y con conjuntos de datos característicos.
- 5) Definición de la estructura tabular de la base de datos y el comportamiento de los atributos descriptivos: Se identifican campos de atributo, se especifican valores y rangos válidos, se aplican subtipos y se modelan relaciones.
- 6) Definición de las propiedades espaciales de las series de datos: Se usan redes para conectar sistemas de rasgos y topologías para cumplir con la integridad espacial y la geometría compartida. También se prepara la referencia espacial para el conjunto de datos.
- 7) Proposición de un diseño para una geobase de datos: Se hacen decisiones informadas para la aplicación de elementos estructurales de la geobase y se prepara un diseño; también se incluye el estudio de los diseños existentes para ejemplificar.
- 8) Implementación, realización del prototipo, revisión y refinación del diseño: Desde el diseño inicial, se construye una geobase y se cargan los datos, para después probarlo y perfeccionarlo.
- 9) Diseño de trabajo para construir y mantener cada capa: Cada capa tiene fuentes distintas de datos, precisión, vigencia, metadatos y acceso.

- 10) Documentación del diseño usando los métodos apropiados: Se usan dibujos, diagramas de capas, esquemas y reportes para comunicar el modelo de datos.

Mientras se construye el diseño, la documentación es muy importante, ya que se trata de realizar una serie de diagramas que representan conceptos claves de diseño y se documentan las especificaciones de los elementos, metadatos y capas cartográficas de la geobase de datos. Una vez que las capas temáticas se presentan, se observa un esquema lógico que representa cada capa de la geobase de datos, y el modo en que se implementan como un elemento de la geobase.

Existen cinco partes principales en una representación esquemática:

- 1) Conjuntos de datos: Son especificaciones para una clase característica, un catálogo raster o una tabla de atributos y la serie de columnas en cada tabla. Para representaciones espaciales, hay varias propiedades geométricas (como punto, línea y polígono), así como algunas especificaciones para los subtipos; estas partes del esquema siempre se muestran en azul.
- 2) Dominios: Representan la lista de rangos o valores válidos para columnas de atributos. Estas reglas controlan el comportamiento del software para mantener la integridad de los datos en ciertas columnas de atributos; los dominios se muestran en rojo.
- 3) Relaciones: Las relaciones de atributo son muy usadas en los SIGs, ya que se encuentran en todas las aplicaciones de los sistemas de administración de bases de datos relacionadas (RDBMS por sus siglas en inglés). Definen cómo las filas de una tabla están asociadas con las filas de otra tabla; las relaciones tienen una dirección de cardinalidad con otras propiedades (relaciones uno a uno, uno a muchos o muchos a muchos). Se muestran en verde.
- 4) Reglas espaciales: Estas, al igual que las topologías y sus propiedades, son usadas para modelar el modo en que los rasgos comparten la geometría con otros rasgos. Es un mecanismo crítico y muy usado en los SIGs para cumplir con ciertas conductas espaciales y con la integridad de las bases de datos. La geobase tiene una rica y poderosa implementación topológica para definir reglas de integridad espacial complejas. Se muestran en color naranja.
- 5) Capas cartográficas: Los SIGs incluyen mapas interactivos y otras vistas; una parte crítica de cada conjunto de datos es la especificación de la forma en que se simbolizan y se prestan en los mapas. Estas son propiedades típicas de las capas, que especifican el modo en que la simbología se les asigna a los diversos rasgos (colores, patrones de llenado, símbolos de línea y punto) y las especificaciones de sus etiquetas. Las especificaciones de las capas se muestran en amarillo.

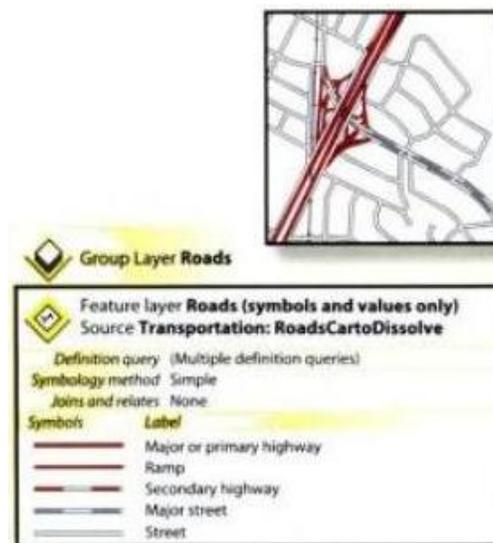


Figura 4.2 Las capas cartográficas especifican la forma en que se dibujan los conjuntos de datos

Otra parte además de la documentación de los modelos de datos en un SIG, es el modo de ensayo y error para saber qué partes trabajan efectivamente para la comunicación de diseños de modelos de datos; con este objetivo se han diseñado herramientas para la generación semiautomática de diagramas para geobases. La estructura interna de una geobase consiste en la manera en que las clases características están organizadas en conjuntos de datos característicos, en el modo en que las clases relacionadas pueden llegar a través de la geobase y cómo los datos relacionados espacialmente pueden organizarse en topologías y redes.

El requerimiento para documentar eficientemente muchos modelos de datos, ha llevado al desarrollo de un proyecto de Visual Basic implementado como un ArcCatalog, con las instrucciones de automatizar la generación de gráficos; este comando del ArcCatalog (Geodatabase Diagrammer) usa ArcObjects para preguntar a los elementos de la geobase acerca de sus propiedades, para luego crear un documento Microsoft Visio que contenga los elementos gráficos que describan el esquema de la geobase de datos. Los diagramas de los modelos de datos se terminan en el Ilustrador de Adobe con gráficos conceptuales y mapas exportados de ArcMap.

Cuando se documenta un modelo, se debe tomar el tiempo suficiente para hacer diagramas conceptuales de los aspectos claves, así como de las relaciones entre los distintos elementos; también se pueden aumentar estos aspectos con diagramas de ejemplo mostrando tablas y valores registrados y sus relaciones.

4.2 Modelos jerárquicos de clasificación de la información

El diseño de bases de datos geográficas representa un término medio, ya que el modelo de datos adecuado tiene que encontrar el balance entre los requerimientos de la organización para la que fue diseñado y la integridad de los datos, la producción cartográfica y el acceso a la información. La efectividad de los modelos de datos depende de las limitaciones de los presupuestos y del uso de los datos adecuados.

Hay decisiones que surgen al momento de desarrollar modelos de datos, tales como:

- a) Series de datos característicos: Una vez que se tiene una lista de clases características, clases relacionadas y tablas, se debe decidir como agruparlas en series de datos característicos; generalmente, si los rasgos tienen relaciones geométricas o temáticas similares, se organizan en la misma serie de datos,
- b) Subtipos: Los subtipos de clases características y tablas son una gran técnica de modelado para preservar modelos generales, provechosos para mostrar el rendimiento, el procesamiento geográfico y la administración de datos, mientras permiten muchas formas de comportamiento para los rasgos y objetos.
- c) Relaciones: Una vez que se han agotado las capacidades espaciales y topológicas de un SIG para formar relaciones, hay varias maneras para implementar asociaciones generales para rasgos y objetos, dependiendo de los requerimientos de la representación.
- d) Topología: La integridad topológica se refuerza en ArcGIS definiendo reglas de topología como parte del esquema de la geobase y trabajando con una serie de herramientas topológicas de edición que hacen cumplir estas reglas; hay un gran medio para descubrir y corregir los errores topológicos.
- e) Redes: Para conectar las redes, las redes geométricas ofrecen una interfaz basada en las características para ejecutar trazos en un modelo lógico subyacente de redes; se pueden modelar

Hay muchas razones para agrupar las clases características en series de datos característicos, mediante la agrupación de rasgos que participan en topologías y redes, en un conjunto común de datos característicos; esto se realiza así porque cuando se trabaja con reglas que especifican cómo los rasgos entran en contacto, coinciden, se intersectan o se contienen uno al otro, deben estar en la misma referencia espacial. Además, cuando se editan clases características, todas las clases características en un conjunto de datos característicos están abiertas para la edición también, es por eso que deben agruparse para editarse de manera conjunta. Finalmente, se pueden utilizar conjuntos de datos característicos para agrupar temáticamente clases características similares.

Los conjuntos de datos característicos son una manera de organizar las clases características; éstos se usan también como contenedores para conjuntos de características espaciales relacionadas; cada conjunto de datos tienen una referencia espacial definida común a todas sus clases características, y así es como la geobase hace cumplir la conectividad y topología de los rasgos que entran en contacto, coinciden, se superponen, se cubren y se intersectan entre ellos. Hay tres ejemplos para conjuntos de datos característicos de varios modelos de datos: el conjunto de datos de Canal contiene una red geométrica; el conjunto de la Base de Tierra contiene clases características relacionadas temáticamente; y los Rasgos para determinar áreas de cultivos contienen una topología específica.

Un conjunto de datos característicos es un contenedor para las clases características que comparten la misma referencia espacial, además de clases relacionadas, redes geométricas y topologías de la base de datos geográficos. Estos conjuntos de datos son necesarios cuando se quieren construir topologías de las geobases y redes geométricas; deben usarse para agrupar clases que se editan simultáneamente y pueden usarse para agrupar las clases características temáticamente.

Hay varias reglas que optimizan el agrupamiento de clases características en conjuntos de datos característicos:

- Las clases características editadas juntas en ArcMap pueden ser agrupadas en un conjunto de datos característicos.
- Las clases que regularmente no se editan juntas deberían ser separadas en diferentes conjuntos de datos o diferentes bases de datos geográficos.
- Las clases que participan en una red geométrica o topología deben agruparse en el mismo conjunto de datos.
- Una clase característica no puede participar en más de una topología o red.

4.2.1 Subtipos, Relaciones y Topologías

Los modelos de datos bien diseñados contienen conjuntos de clases características que son manejables; los subtipos son una forma de limitar el número de clases que se requerirán en un modelo de datos, mientras generan una serie de reglas para asegurar la integridad de los atributos, las relaciones, las redes y la topología. Cuando se escoge entre definir un conjunto de clases características similares o una clase característica con el mismo número de subtipos, se deben escoger subtipos a menos que la serie de atributos o tipo de geometría sean diferentes.

Una tabla es un conjunto de objetos que tienen los mismos atributos; una clase característica es una tabla de rasgos con la misma serie de atributos y columna de geometría (punto, línea o polígono). Las tablas son fundamentales para las bases de datos relacionadas, pero surge una duda en el modelado de datos: si es mejor separar un conjunto de rasgos en diferentes clases características o agruparlos en una sola clase; la respuesta provendrá de observar los conjuntos de atributos de rasgos similares, pudiéndose tolerar algunos atributos inusuales para ciertos rasgos.

Un factor importante es el tipo de geometría, ya que para datos vectoriales, generalmente se escoge entre punto, línea o polígono para cada rasgo, obligando a crear distintas clases características, ya que no se pueden agrupar rasgos con tipos de geometría diferentes en la misma clase, por lo que no se pueden crear subtipos. Los subtipos proporcionan un mecanismo para agregar cierto comportamiento a subconjuntos de rasgos en una clase característica, así como permiten aplicar un sistema de clasificación dentro de una clase característica y controlar el comportamiento de ésta mediante reglas.

Los subtipos son una gran herramienta para el modelado de datos porque permiten el control de cada comportamiento configurable en la base de datos geográficos: reglas de atributo, reglas de relaciones, reglas de redes y reglas de topologías, sin tener que crear más tablas; el resultado es un modelo basto excelente para el rendimiento de bases de datos, con comportamientos de objetos discriminados.

Tabla 4.2 Características de los subtipos comparadas con las características de múltiples clases

	Subtipos en una clase característica	Múltiples clases características
Colecciones	Definen colecciones de rasgos dentro de una sola clase característica	Guardan colecciones de rasgos en la geobase
Comportamiento	Se puede controlar el comportamiento	También se puede controlar el comportamiento
Beneficio	Reducen el número de clases	Dan una completa flexibilidad para modelar
Reglas	Definen dominios de atributos, valores de atributos por defecto, políticas de separación y fusión, reglas de conectividad, reglas de relaciones, reglas de redes y reglas de topología.	Definen dominios de atributos, valores de atributos por defecto, políticas de separación y fusión, reglas de conectividad, reglas de relaciones, reglas de redes y reglas de topología.
Atributos	Los rasgos deben tener los mismos atributos	Pueden tener atributos variados
Tipos de geometría	Deben compartir el mismo tipo de geometría (punto, línea, polígono)	Pueden tener distintos tipos de geometría
Pros	Proporcionan flexibilidad para aplicar reglas a colecciones de rasgos sin necesitar una clase por separado. Pocas clases resultan en menos dudas para dibujar y editar las bases de datos	Permiten diferentes atributos para colecciones de rasgos. También permiten diferentes participaciones en topologías, redes, y clases relacionadas
Contras	No pueden ser usados cuando hay distintos atributos, tipos de rasgos o reglas topológicas entre las colecciones de rasgos	Las clases adicionales incrementan el número de consultas requeridas para operaciones como el dibujado, la edición y la validación topológica
Recomendaciones	Usar subtipos libremente para reducir el número de clases características en un modelo de datos	Usar clases características cuando se necesite más flexibilidad para definir atributos o tipos de geometría

Un SIG integra espacialmente la información; cuando se diseñan relaciones entre rasgos, el SIG sirve para descubrir relaciones espaciales, como el contacto, superposición, intersección y cubrimiento de los rasgos. Cuando no se pueden usar las relaciones espaciales, ArcGis soporta muchas maneras de implementar asociaciones, como el rompimiento de la geometría en la edición, las clases relacionadas, relaciones sobre la marcha y las uniones.

Hay muchas maneras de asociar rasgos entre ellos por medio de una base de datos geográfica; los modeladores de datos deben encontrar el método que represente el comportamiento asociado a los datos y la integridad espacial en el SIG; para modelar relaciones hay que usar los SIGs para administrar las relaciones espaciales inherentes entre rasgos, como en los siguientes ejemplos:

- Para encontrar un rasgo o característica asociados, se hace un trazo en la red; una red es un conjunto de relaciones entre bordes y cruces, como en un sistema eléctrico con transformadores, polos y aparatos.
- Se puede manejar la Geografía anidada en un censo con la topología; las reglas de la topología se pueden definir para hacer cumplir las relaciones espaciales, como el modo en que los bloques censales se dividen en grupos de bloques, y éstos en tractos censales.

- Algunos rasgos pueden asociarse por proximidad, contenido u otra relación; se pueden usar operadores geoespaciales para agregar rasgos dentro de otros rasgos y resumir valores característicos.

Cuando se modelan relaciones espaciales, se tiene que pensar primero en cómo usar las topologías de la geobase de datos, las redes geométricas, la edición compartida y los operadores geoespaciales en el modelo de datos, para así ganar eficiencia en la creación de datos y en los costos de mantenimiento. También hay muchas asociaciones que requieren relaciones de atributo definidas; se pueden tener asociaciones entre un rasgo geográfico (por ejemplo, un área de cultivo) y un rasgo no geográfico (tal como uno o más dueños de parcelas).

También se necesitan capturar las relaciones entre rasgos que estén cercanos en cuanto a la proximidad, pero desde el contexto espacial solamente, donde hay ambigüedad acerca de la asociación. Para este caso y el anterior se tienen opciones adicionales para representar las asociaciones; las clases relacionadas permiten navegar fácilmente en los rasgos y objetos relacionados en ArcMap; las relaciones sobre la marcha y las uniones se usan para optimizar la edición y el rendimiento del dibujado.

Los avances en el desarrollo de la tecnología permiten una implementación de topología nueva y mejorada como una colección de clases características con rangos y reglas topológicas, que ofrecen un conjunto más rico y configurable de reglas y permiten cualquier número de clases características para compartir geometría y participar en una topología.

La topología en un SIG se usa para asegurar la integridad de las relaciones espaciales entre rasgos que comparten geometría; algunos ejemplos de reglas topológicas en uso son:

- Distritos electorales deben ser cubiertos por condados.
- Los estados no deben superponerse.
- Los bloques censales empalman los grupos de bloques.

La topología puede ser considerada como un tipo especial de relación entre los rasgos; el modelo de datos será más eficiente si se pueden asociar rasgos por su topología mejor que si se asocian con una clase relacionada. Hay dos tipos de topologías en ArcGis: las topologías de bases de datos geográficas, que se almacenan en la base de datos geográfica como un conjunto de clases características clasificadas y como un conjunto definido de reglas topológicas; las topologías de los mapas son temporales, definidas por la duración de una sesión de edición y permiten una edición que puede compartirse de manera más rápida.

Una topología de una geobase es el agrupamiento de clases características junto con un conjunto de reglas topológicas que definen el comportamiento para una geometría característica; cuando se edita una topología, un gráfico topológico compuesto por bordes, nodos y vértices se usa para controlar la edición de la geometría y descubrir errores.

Una topología de mapa simple se puede aplicar en rasgos sencillos en un mapa durante la sesión de edición, y permite editar simultáneamente rasgos que se superponen o tocan entre ellos usando las herramientas de la barra de herramientas topológica; estos rasgos pueden estar en una o más clases características y pueden tener diferentes tipos de geometría. Los rasgos lineales y las líneas exteriores de rasgos poligonales se convierten en bordes topológicos cuando se crea una topología de mapa. Los rasgos puntuales, los puntos finales de las líneas y los lugares donde los bordes se intersectan, se convierten en nodos.

Tabla 4.3 Características de las diferentes topologías

	Topología de Geobase	Topología de Mapa
Descripción	Administra una serie de clases características que comparten la geometría; se usa para integrar geometría característica, validar rasgos, controlar la edición y definir las relaciones entre rasgos	Administra una serie de clases simples características que comparten la geometría; se usa para integrar la geometría característica y controlar las herramientas de edición
Alcance	Clases características en un conjunto de datos característicos	Las clases características en múltiples conjuntos de datos característicos o archivos de shapes en un fólder
Definición	Objeto en un conjunto de datos característicos con reglas topológicas	Creado según la duración de la sesión de ArcMap
Reglas	El usuario impone cualquiera de varias docenas de reglas topológicas	Reglas como la coincidencia, cubrimiento y cruce
Validez	Las reglas se evalúan cuando la topología se valida	Validación compartida aplicada durante las ediciones
Reporte de errores	La simbología para errores de los modelos está fijada en la capa topológica	Los errores no se pueden crear usando la herramienta de edición topológica
Corrección de errores	La interfaz del usuario para localizar y corregir los errores	Los errores no se pueden crear usando la herramienta de edición topológica
Pros	Administran una serie de reglas y errores asociados con las violaciones de esas reglas. Definen relaciones espaciales válidas entre rasgos	Las clases características participantes pueden estar en conjuntos de datos característicos diferentes. Las topologías de mapa pueden usarse con archivos shape. No incurrir en gastos elevados de edición
Contras	Puede incurrir en gastos elevados de edición y problemas de trabajo considerables	No tienen reglas ni errores. Se definen durante una sesión de ArcMap, no en el modelo de datos de la geobase
Recomendaciones	Usarlas cuando se quiera aplicar un conjunto en la organización de las reglas topológicas	Usarlas cuando se quiera representar rápidamente la edición compartida de punta

4.2.2 Redes lineales, Clasificaciones y Dominios

Una red es un sistema de bordes y uniones que transportan objetos y recursos, como carros, electricidad y agua; las redes geométricas son un mecanismo para representar la conectividad entre bordes (como las líneas) y las uniones donde se conectan. Se pueden definir reglas de conectividad en la red, que pueden limitar cuántos bordes pueden ser conectados en una unión, así como validar combinaciones características en una red.

Una geobase tiene una representación dual de sistemas lineales: la red geométrica y la red lógica; la primera es un conjunto de rasgos que participan en un sistema lineal y está asociada con una red lógica, un gráfico de red puro consistente en bordes y uniones. Cuando se edita la red geométrica, la red lógica se actualiza; los rasgos de red simples se asocian con un elemento de la red lógica.

La razón para crear redes geométricas es para llevar a cabo tareas de trazado rápidas en grandes redes; la utilidad de las tareas de las redes incluye el establecimiento de la dirección de los flujos, el trazado hacia la fuente, la localización de secciones aisladas y otras operaciones que se benefician al tener un gráfico de conectividad. Las reglas de redes de conectividad restringen el número y tipos rasgos de la red que pueden ser conectados; en la mayoría de las redes, no todos los tipos de borde pueden conectarse a todos los tipos de uniones.

Ciertos tipos de redes, como las de transporte, emplean un sistema de medición de rutas; la segmentación dinámica es el proceso de computar la forma de la ubicación de las rutas a través de la calibración de rasgos lineales los cuales tienen mediciones de distancia disponibles. Una ruta es un rasgo

lineal calibrado con valores medidos y un identificador. Se pueden asociar múltiples atributos a las rutas con eventos puntuales (por ejemplo, señales de tráfico y ubicación de accidentes) y a eventos lineales (como son las condiciones del pavimento y los límites de velocidad). La segmentación dinámica trabaja en redes lineales independientemente de las redes geométricas; se puede definir un sistema de segmentación dinámica para cualquier clase característica en ArcGIS.

Muchos SIGs implementan una taxonomía compleja para clasificar los rasgos usando múltiples atributos característicos; cuando las reglas de integridad de los datos necesitan tener combinaciones válidas de múltiples valores de atributos, se debe considerar usar tablas de valores válidos, para mantener a un modelo simple y limpio aunque capaz de modelar cualquier sistema descriptivo.

Las agencias que crean mapas usan sistemas de clasificación de rasgos altamente detallados para fines cartográficos y analíticos; en algunos casos, el valor de un atributo característico puede determinar que otros atributos de este tipo son parte de una descripción completa de características. Cuando se implementa este sistema en el SIG, algunos usuarios crean una clase característica separada para cada tipo de rasgo, de los que puede haber cientos, siendo una carga para la administración y consulta, ya que presenta dificultades en la interfaz del usuario.

El esquema de clasificación no se necesita para el modelo físico de datos, ya que una extensión nueva de los SIGs se desarrolló para agregar a un número pequeño de tablas, la implementación de un esquema específico de clasificación hecho por el usuario. Estas tablas, junto con el software del cliente, permite a los usuarios observar la geobase y acceder por completo al sistema de clasificación que elijan, para después poder crear consultas y asignar simbología basada en campos dentro de las tablas de clasificación, realizando consultas como: seleccionar todos los caminos que se designen como autopistas estatales con cuatro carriles y construcción de concreto. Las herramientas personalizadas se requieren para traducir entre el identificador de tablas de valores válidos para cada rasgo y la serie de códigos descriptivos.

La mayoría de los esquemas de clasificación cuentan con un número de atributos pequeño para categorizar cada rasgo; cuando una clasificación necesita tener en cuenta las combinaciones de múltiples valores de atributo, se debe considerar el uso de tablas de valores válidos para aumentar la integridad de los datos y mantener la calidad de edición.

Tabla 4.4 Características de los dominios de atributos

	Dominios de atributos	Sistemas de códigos complejos
Descripción	Controlan el rango permisible o conjuntos de valores para un atributo de un rasgo o clase de objeto y sus subtipos	Permiten el almacenamiento eficiente y la consulta de códigos característicos complejos
Tipos	Rango y series de valores codificados	Tipos personalizables, especialmente conjuntos de valores múltiples
Definición	Una lista de valores válidos en la geobase	Una serie de tablas de validación que se crean con uniones
Reglas	Las reglas de atributo aplican dominios de atributos a clases características y subtipos	El usuario implementa las reglas como una extensión de clase en coordinación con las tablas de validación
Pros	Fácilmente configurables y no requieren códigos personalizados	Pueden manejar dominios complejos y codifican sistemas
Contras	Pueden expresar valores de atributos simples solamente	Requiere personalización y codificación de ArcMap
Recomendaciones	Usarlos para validar rangos y series de valores codificados para atributos	Usarlo si el sistema de códigos característicos es complejo e impacta en los modelos de datos. Pueden reducir el número de clases características a un nivel manejable

4.3 Uso del Geoposicionador para su integración en un SIG

Todo trabajo de investigación que se apoye en material cartográfico debe contar con una base que sirva de marco contenedor de la información, a través de la cual se refleje la ocurrencia de los procesos tanto naturales como antrópicos. Esto da paso a la generación de mapas base, donde la información recabada será vertida, analizada y representada. Más adelante se presentará un caso de estudio donde se ejemplificará el proceso de integración.

Los SIGs pueden manejar, analizar y representar una amplia variedad de tipos de datos geográficos, generados desde fuentes diversas; desde la perspectiva del proceso de creación de las bases de datos geográficos, es conveniente clasificar a las fuentes en primarias y secundarias. Las primarias son las que se utilizan en un SIG mediante métodos directos de medición de los objetos registrados (imágenes satelitales, fotografías aéreas, registros topográficos y los sistemas de posicionamiento global, GPS), mientras que las secundarias son datos capturados para otro propósito y necesitan ser convertidos para ser usados en el proyecto de un SIG (documentos y mapas impresos integrados como bases de datos del SIG mediante procesos de creación de archivos vectoriales o raster).

Los GPS son uno de los avances más importantes en la navegación y en las actividades relacionadas con el posicionamiento geográfico; su funcionamiento se basa en receptores móviles sobre la Tierra que capturan las señales electromagnéticas que emiten en una constelación de 21 satélites en órbita, los receptores GPS calculan su posición tridimensional mediante una operación trigonométrica con base en la señal de cuando menos cuatro satélites a la vez. Finalmente, mediante un proceso de triangulación, el receptor determina su posición con un margen de error promedio de 10 metros.

La tecnología GPS es usada principalmente como una herramienta para determinar la localización exacta de un lugar sobre la superficie terrestre, pero además puede proporcionar información sobre tiempo y velocidad de objetos en movimiento, lo que le permite actuar también como un sistema de navegación por radio. Los receptores usan los datos transmitidos para calcular posiciones tridimensionales (latitud, longitud y altitud) de la antena del receptor.

Es un sistema de recepción pasiva para posicionamiento y navegación; los satélites transmiten información a los usuarios en tierra pero no reciben información proveniente de los usuarios, esto significa que los satélites no funcionan como enlace de comunicación entre el usuario y alguna estación base; también significa que no hay suscripción o cuotas a pagar por el acceso a las señales GPS, y que no hay límite en cuanto al número de usuarios que puedan aprovecharlas, esto porque se originó con fines bélicos, pero paulatinamente se ha convertido en una herramienta de aplicaciones civiles en todo el mundo.

Tabla 4.5 Aplicaciones de la tecnología GPS

Fenómeno	Etapas en la gestión del riesgo	
	Prevención	Alertamiento y emergencia
Sismos	Movimientos de la corteza terrestre, ubicación de vivienda, infraestructura educativa, de salud y de comunicaciones	Rutas de evacuación, ubicación de refugios temporales y centros de acopio, evaluación de daños, zonificación de áreas afectadas, apoyo en la elaboración de planes de emergencia
Erupción volcánica	Medición de deformaciones en la estructura volcánica, elaboración de modelos digitales del terreno, inventarios de equipamiento urbano, infraestructura educativa, de salud y de comunicaciones	Sistemas de monitoreo y alertamiento, rutas de evacuación, ubicación de refugios temporales y centros de acopio, evaluación de daños, zonificación de áreas afectadas, apoyo en la elaboración de planes de emergencia
Deslizamiento de laderas	Mediciones muy precisas del desplazamiento de una ladera, elaboración de modelos digitales del terreno, inventarios de	Sistemas de monitoreo y alertamiento, evaluación de daños, zonificación de áreas afectadas

	equipamiento urbano, infraestructura educativa, de salud y de comunicaciones	
Hundimientos	Elaboración de modelos digitales del terreno, ubicación precisa de los hundimientos, ubicación de infraestructura	Sistemas de monitoreo y medición en tiempo real de los desplazamientos verticales en las zonas de estudio
Tsunamis	Elaboración de modelos digitales del terreno, inventarios de equipamiento urbano, vivienda, infraestructura educativa, de salud y de comunicaciones	Sistemas de monitoreo y alertamiento, ubicación de refugios y centros de acopio, evaluación de daños, levantamiento de áreas afectadas
Inundaciones	Elaboración de modelos digitales del terreno, inventarios de equipamiento urbano, vivienda, infraestructura educativa, de salud y de comunicaciones	Sistemas de monitoreo y alertamiento, ubicación de refugios temporales y centros de acopio, evaluación de daños, zonificación de áreas afectadas, apoyo en la elaboración de planes de emergencia
Ciclones tropicales	Elaboración de modelos digitales del terreno, determinación de la línea de costa, inventarios de equipamiento urbano, vivienda, infraestructura educativa, de salud y de comunicaciones	Sistemas de monitoreo y alertamiento, ubicación de refugios temporales y centros de acopio, evaluación de daños, zonificación de áreas afectadas, apoyo en la elaboración de planes de emergencia
Incendios forestales	Obtención de puntos de control para análisis de imágenes para la determinación del tipo de suelo, levantamiento de información sobre biodiversidad	Evaluación de daños, levantamiento de áreas afectadas, apoyo en la elaboración de planes de emergencia
Almacenamiento y transporte de sustancias peligrosas	Seguimiento del transporte de sustancias peligrosas, distribución y estudios de tránsito, ubicación de estaciones de servicio e industrias	Evaluación de daños, levantamiento de áreas afectadas, apoyo en la elaboración de planes de emergencia

La estructuración de la información en capas temáticas o coberturas permite selectivamente la consulta, sobre posición y despliegue gráfico de las mismas, así como la visualización y análisis de la distribución territorial de los atributos; es decir, se pueden manejar todos los elementos contenidos en las bases de datos, o bien, seleccionar el objeto de estudio a partir de su identificador.

4.3.1 Mapa base: Topografía y Planimetría

Contiene la información correspondiente a las características de elevación del relieve y de los elementos físicos y antropogénicos que los conforman. La topografía es una forma de representación de la superficie terrestre mediante curvas de nivel que son líneas de igual altura sobre el nivel medio del mar (INEGI, 1998). También comprende los límites de costa y los valores de pendiente del terreno como una manera de cuantificar las características del relieve; este tipo de información permite medir formas, tamaños, distancias y ángulos, así como valores de perímetros y áreas que se requieren como datos adicionales para la zonificación primaria.

La Topografía comprende los temas de:

- a) **Curvas de nivel:** Las curvas de nivel son las líneas con la misma altura respecto al nivel del mar, que representan el relieve terrestre; se utilizan para representar las características generales del relieve terrestre y para la georeferencia de información relativa de peligros y riesgos naturales y antropogénicos con cambios de pendiente o de topografía abrupta. Las líneas tienen como atributo el valor de la altura en metros, en un campo de número de 4 dígitos; se representa con una línea punteada de color sepia y de un punto de grosor.

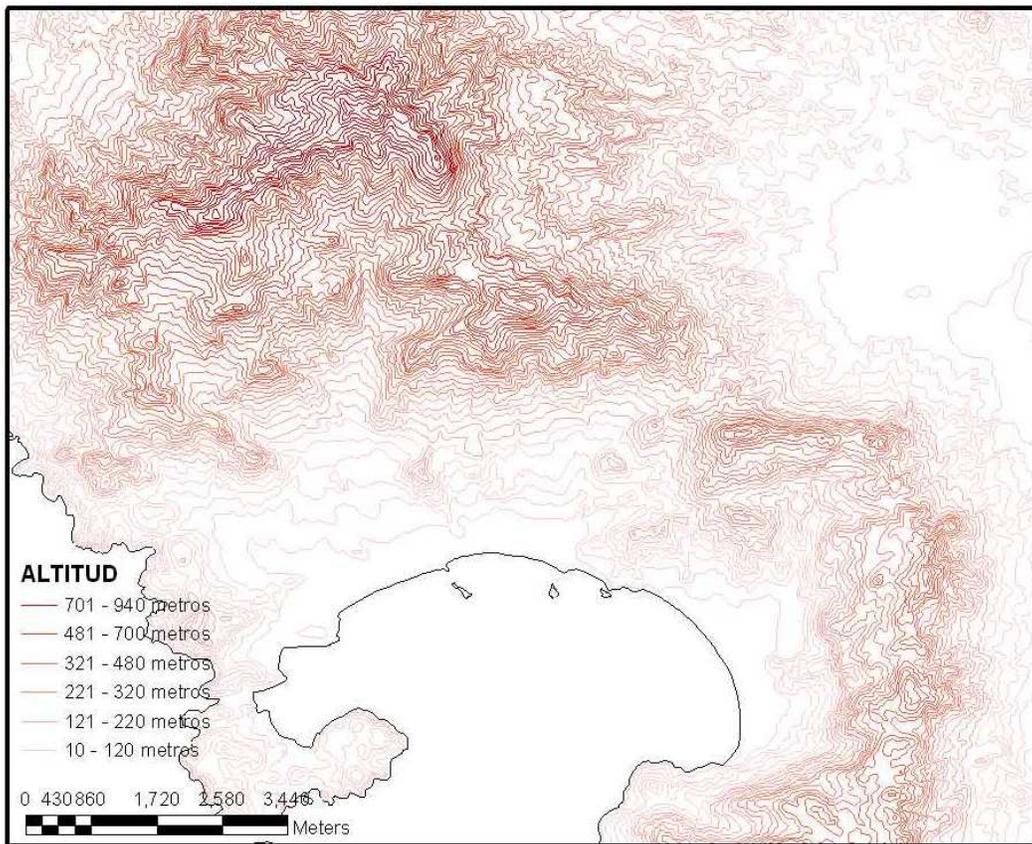


Figura 4.4 Ejemplo de la representación del relieve por medio de las curvas de nivel

- b) Límite de costa: Si el proyecto de peligrosidad de una ciudad se encuentra en una zona costera o cerca de la costa se usa el mapa de límite de la costa, que representa la línea de límite entre el continente y el océano, con un valor altimétrico de cero metros sobre el nivel del mar; se representa con una línea negra, sólida, de dos puntos de grosor.

La Planimetría comprende los temas de:

- a) Ríos y cuerpos de agua: En el tema de ríos y arroyos se representa con líneas a las corrientes fluviales que escurren por el terreno en la superficie terrestre; tiene como atributos el orden de río con un campo numérico de un dígito, la clase con una definición de texto de un ancho de 15 bites y el nombre con una definición de texto de un ancho de 45 bites. Así, una corriente fluvial tiene el atributo del número de orden respecto a una red de drenaje de una región, la clase, que considera si un río es perenne o intermitente y el texto de un nombre propio. Se representa con una línea continua de color azul oscuro y un ancho de 1 punto.

El tema de cuerpos de agua (lagos, lagunas y embalses) tiene como atributo el tipo de cuerpo de agua en un campo de texto de 15 bites y el nombre en un campo de 45 bites. Se representa con figuras cerradas o polígonos de color azul obscuro, sin línea de borde o perímetro; para el caso de ciudades en zonas de costa, los océanos deberán tener un color azul y sólido para efectos de representación cartográfica.

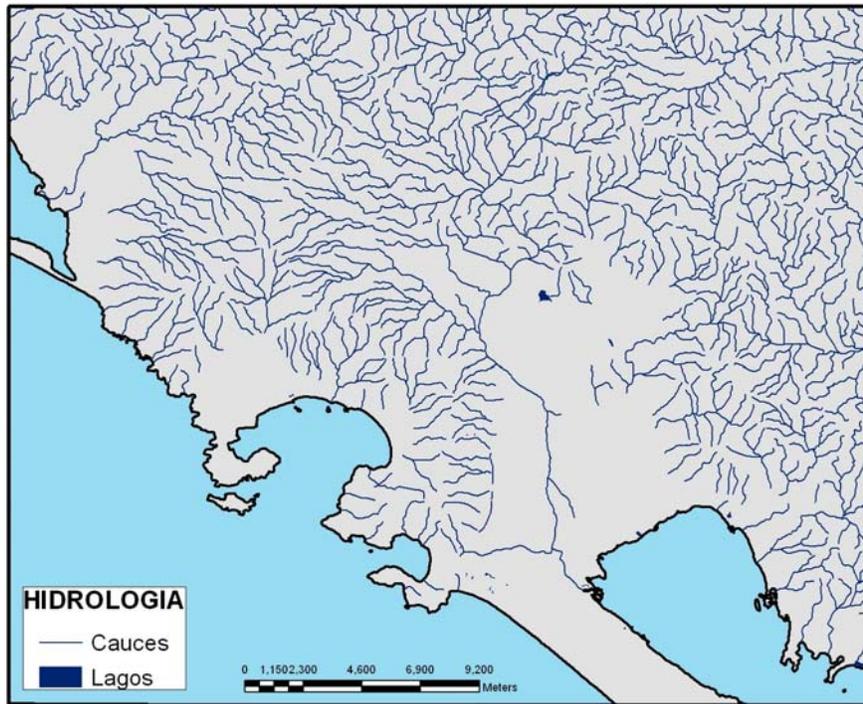


Figura 4.5 Representación de los cauces y cuerpos de agua, incluyendo los límites de costa

- b) Carreteras: El tema de carreteras comprende las líneas que representan todas las líneas de comunicación, en la zona urbana y en la zona periférica; se obtiene de la integración de un archivo digital de líneas o bien de la digitalización de mapas de carreteras correctamente georeferido. Tiene como atributos el tipo de vía con un valor numérico de un dígito, la clase con una definición de texto de un ancho de 45 bites y el nombre con una definición de texto del mismo ancho. Se representa con una línea sólida doble de color rojo con un ancho de medio punto.

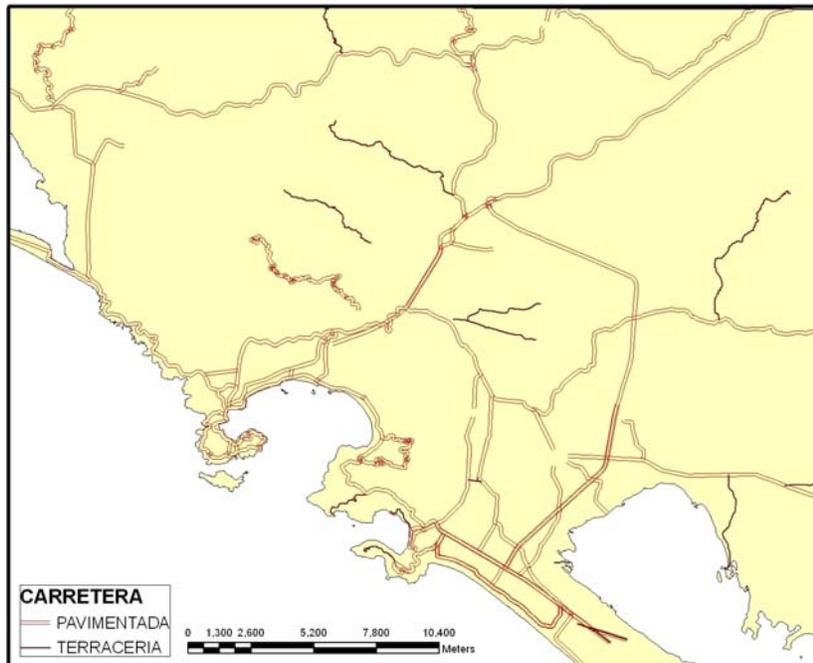


Figura 4.6 Representación de las carreteras

- c) Localidades y poblados: Este tema consiste de puntos que representan poblados, casas aisladas obtenidas del XII Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2000); se representa con un punto de color rojo, de un tamaño de 8 puntos. Tiene como atributos los valores de longitud con un número de 9 dígitos y 4 decimales; la latitud con un número de 7 dígitos y 4 decimales si la posición está en coordenadas geográficas.
- d) Límite de zona urbana: Se representa el límite de crecimiento de un año; en especial es útil para los modelos de zonas de riesgo mitigables y no mitigables, así como de los modelos de escenarios de riesgos naturales y antropogénicos. Se obtiene de la imagen de la carta topográfica, de fotografías aéreas o de una imagen de satélite correctamente georeferida y relacionada a un año en especial, y si es posible, a la fecha de la toma, el día y el mes. Tiene como atributo el valor de la superficie cubierta por la extensión urbana en metros cuadrados, así como el valor del perímetro en unidades de metros; se representa con figuras cerradas o polígonos de color amarillo claro, sin línea de borde. Para el caso del límite de otro año disponible se usa el color amarillo oscuro, también sin borde, y de ahí el naranja, el rojo y así sucesivamente, de acuerdo al número de años disponibles.
- e) Traza urbana al nivel de predios o manzanas: Consiste de polígonos que representan límites de predios o manzanas; el uso de este nivel de información depende de la disponibilidad de información digital de catastro que es útil para la definición de riesgos en la zona urbana. Se representan con polígonos de borde color negro y sin relleno.

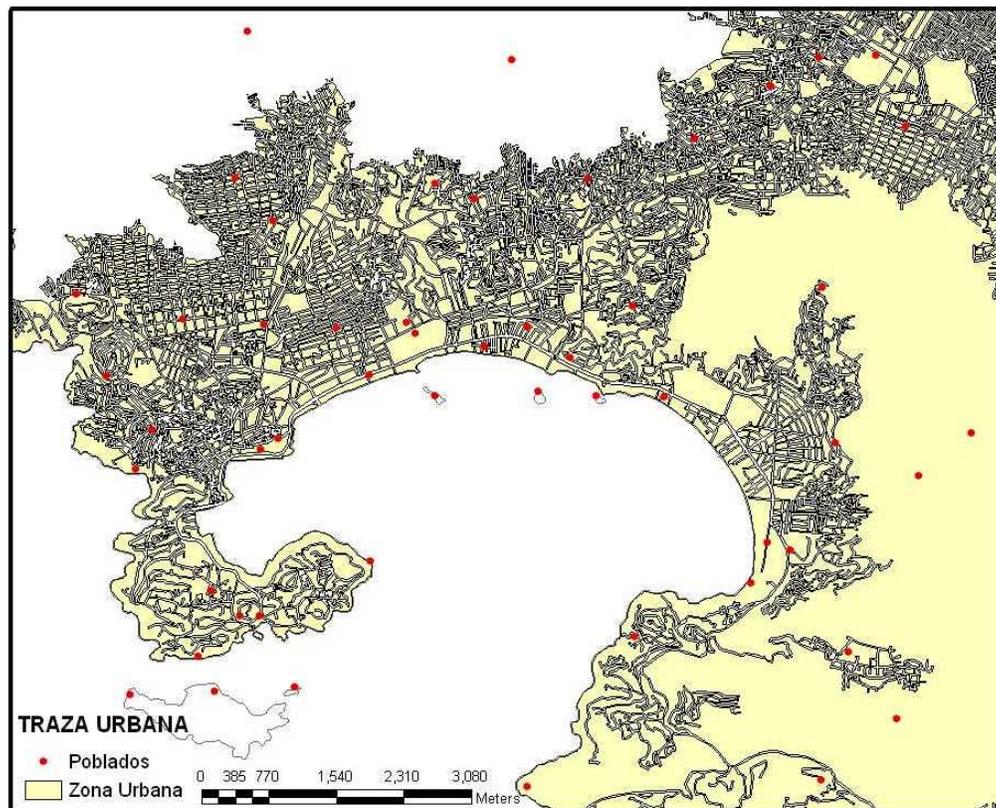


Figura 4.7 Representación de las localidades, límite de zona urbana y traza a nivel de manzanas

4.3.2 Mapas temáticos de Geología y Geomorfología

En esta sección se emplea a la litología, la cual considera tipos de rocas sin sus edades ni formaciones, como una capa de información básica para entender el registro geológico de una región en donde se encuentra asentada una ciudad o centro urbano. Los tipos de roca son definidos en clases de acuerdo a su composición (rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas); otras clases pueden ser consideradas si se conoce la posición estratigráfica y el tiempo geológico durante el cual se formaron las rocas. Para su integración se dispone de información impresa y digital del Consejo de Recursos Minerales y del INEGI, en escala 1:50,000 y 1:250,000, y es recomendable seguir la simbología de estos mismos documentos cartográficos. Se requiere también contar con los temas de pendiente del terreno y la erosión vertical y horizontal o disección del terreno para comprender los factores que contribuyen a definir los riesgos naturales potenciales de una región en la que se encuentra una zona urbana.

4.3.3 Litología

Los límites litológicos representan tipos de rocas diferentes que contribuyen en la definición del riesgo geológico den una zona o región; se representan con polígonos y tienen los atributos como son: roca, tipo, clase y edad. Es útil para la definición de riesgos relacionados a los tipos de roca que contribuyen al deslizamiento de terreno, hundimientos, erosión y la inestabilidad de laderas. La simbología utilizada depende del tipo de roca que representan los polígonos, que en general varía poco en una zona urbana; en función de los tipos de roca, se debe recurrir a la simbología de la cartografía geológica del Consejo de Recursos Minerales y del INEGI; se obtiene mediante la fotointerpretación geológica de fotografías, ortofotos o imágenes, y mediante la verificación del trabajo de campo; también puede ser obtenida a partir de información cartográfica disponible.

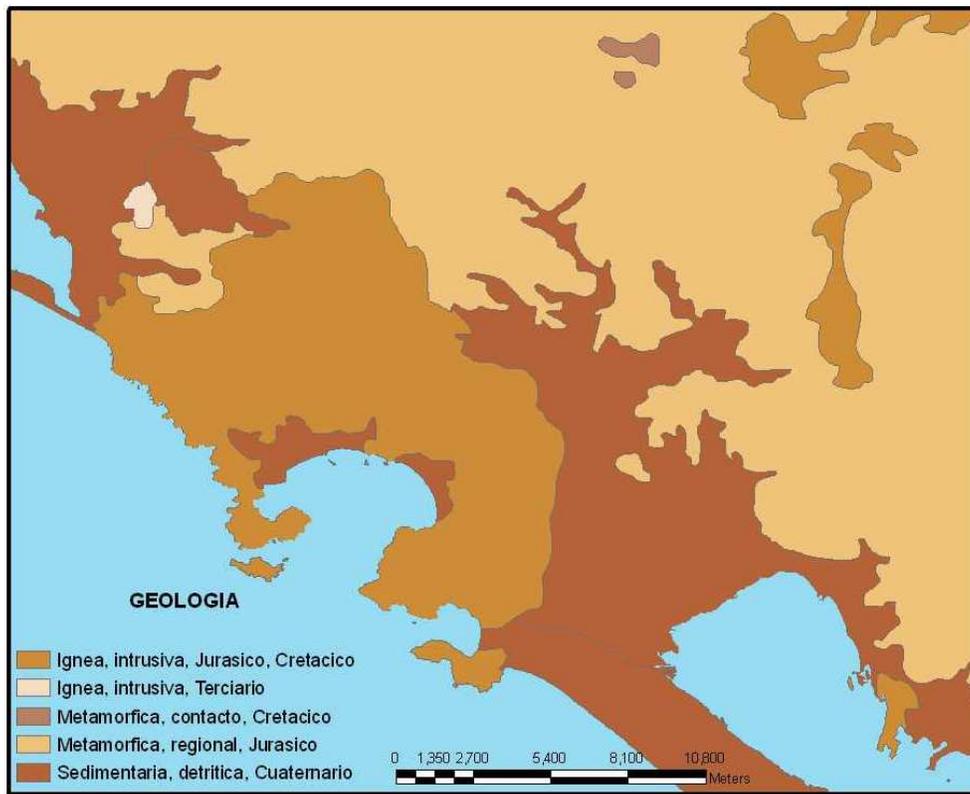


Figura 4.8 Ejemplo de mapa litológico

4.3.4 Vetas

Las vetas son cuerpos de rocas mineralizadas que se distribuyen en el interior de la Tierra y se expresan en superficie como líneas o regiones muy alargadas; su ubicación es muy importante porque conllevan un riesgo potencial en zonas urbanas debido a que son planos de debilidad que favorecen el riesgo por deslizamiento o caída de rocas y materiales, o contribuyen al hundimiento del terreno en zonas urbanas, como es el caso de las ciudades de Zacatecas y Pachuca. Algunas veces estas estructuras están asociadas a fallas geológicas que se observan en superficie como líneas que resultan de la intersección de un plano de veta con la superficie terrestre.

Estas se representan con una línea discontinua de tipo raya y punto, de color lila, de 2 puntos de grueso; tiene los atributos de azimut (3 dígitos), inclinación (2 dígitos) y rumbo. Se obtiene mediante la fotointerpretación de fotografías aéreas, ortofotos e imágenes de satélite, y mediante la verificación de trabajo de campo; también se obtiene del estudio de mapas antiguos de zonas mineras o zonas mineralizadas, requiriéndose de mucho cuidado para ubicar en un mapa georeferido la posición aproximada de las vetas, sobre todo en las zonas antiguas de las ciudades que es donde mayor peligro representa.

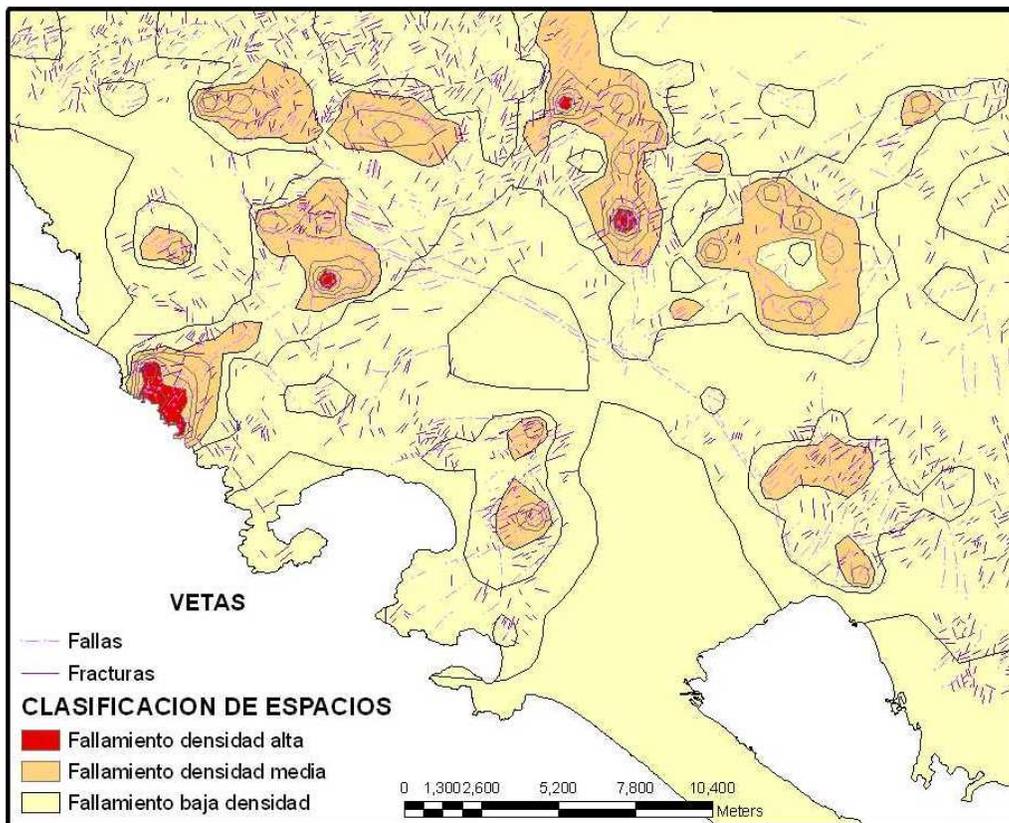


Figura 4.9 Ejemplo de un mapa que incluye fallas y fracturas, y espacios clasificados

4.3.5 Disección vertical del terreno

El tema representa la disección vertical del relieve terrestre en orden de metros por kilómetro cuadrado o kilómetros por kilómetro cuadrado, y representa unidades de montañas, lomeríos y llanuras de

fuerte a escasamente diseccionadas. Las características morfológicas del relieve deben ser consideradas porque el relieve es resultado de un proceso de cientos o miles de años y está en evolución constante, por lo que implica un peligro en las zonas urbanas; se obtiene a partir de las diferencias de altura entre curvas de nivel dentro de una unidad de superficie o kilómetro cuadrado.

Se representa con figuras cerradas o polígonos de color variable, dependiendo del valor de la disección, en una escala de colores que va del amarillo claro al rojo oscuro; de acuerdo a los tipos de disección se debe recurrir a la simbología del Instituto Nacional de Ecología (INE). Tiene los atributos de número, disección y campo.

4.3.6 Pendiente del terreno

Comprende la característica del declive del terreno en función del valor de la pendiente geométrica expresado en porcentaje o en valores de ángulos. Se representa con polígonos que describen el valor angular de una parte del terreno de la superficie terrestre en una gama de colores que va del amarillo al rojo oscuro; para pendientes de 0° a 3°, 3° a 6°, 6° a 12°, 12° a 18°, 18° a 30° y más de 30°, expresados en una gama secuencial de colores del amarillo al rojo oscuro o café. Este criterio puede cambiar dependiendo de las condiciones topográficas locales del área urbana. Se obtiene a partir del modelo digital de elevación (INEGI, 2001); tiene el atributo del valor del ángulo o porcentaje.

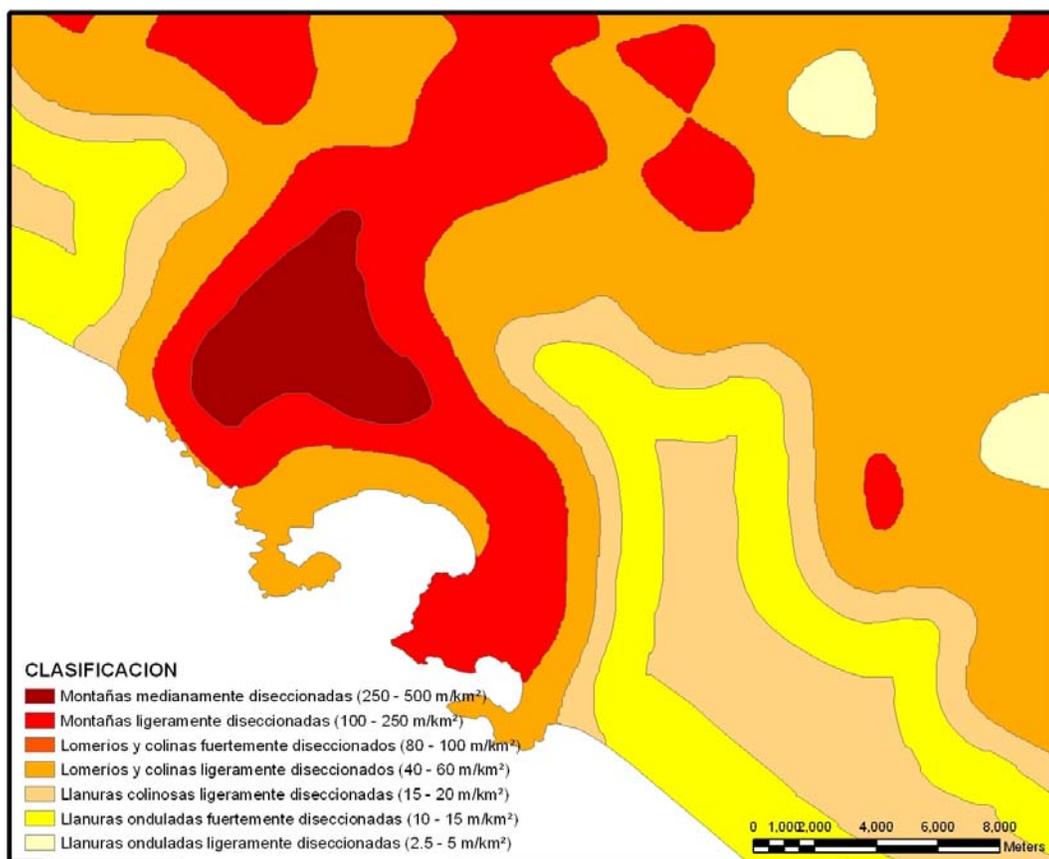


Figura 4.10 Mapa de la disección vertical del terreno

4.3.7 Mapas temáticos de Hidrometeorología

Comprende aquellos temas básicos de climatología, meteorología e hidrometría que se requieren integrar al proyecto de atlas de riesgos de una zona urbana; comprende básicamente los temas siguientes:

- a) Isoyetas e isotermas: Consisten en líneas de igual valor de precipitación pluvial y se representa con líneas sólidas azul oscuro con el atributo del valor de la precipitación en milímetros; de manera complementaria se consideran las isoyetas para determinar las zonas de mayor precipitación de una región. La distribución de las isoyetas indican las zonas factibles de presentar un riesgo potencial por inundación si se considera que las líneas son el resultado de la precipitación media anual de la región. Su distribución es un indicador indirecto de la presencia de agua pluvial en una zona urbana.

El tema de isotermas consiste en líneas de igual valor de temperatura y se representa con líneas sólidas en rojo con el atributo del valor de la temperatura en grados Celsius; la distribución de líneas es el resultado de la integración de la temperatura media anual de una región. Son un indicador indirecto para determinar la distribución de temperaturas y permiten analizar las zonas de mayor concentración de temperaturas que pueden ser un riesgo en una zona urbana.

- b) Estaciones meteorológicas: Consiste de puntos que representan los sitios en donde se encuentran estaciones climatológicas y meteorológicas; se representan con puntos de círculo sólido de color rojo, con el atributo del nombre de la estación, el valor de temperatura media anual y el año de medición. Su importancia radica en conocer la distribución de datos climatológicos, fundamentalmente temperatura, precipitación en cantidad y duración en tiempo, velocidad y dirección del viento, y evaporación, y relacionarla con la posible afectación en una zona urbana.

- c) Estaciones hidrométricas: Consiste en puntos de los sitios en donde se mide la velocidad y el gasto de los ríos; se representa con puntos de círculo sólido de color azul con el atributo de nombre de la estación, el valor de la precipitación total anual y el año de medición. Este tema complementario es útil para conocer el comportamiento de los ríos; la identificación de las estaciones y su localización permiten contar con información complementaria para evaluar el volumen de escurrimiento fluvial que se presenta en una región. Son un indicador indirecto de la cantidad de agua fluvial que puede concentrarse en una zona, que puede implicar un riesgo potencial en una zona urbana.

4.4 Elementos de Percepción Remota para la obtención de datos

4.4.1 Métodos básicos de fotogrametría y fotointerpretación

El estudio científico para establecer medidas precisas y crear mapas detallados a partir de las imágenes aéreas se denomina Fotogrametría y consiste en la utilización de técnicas, sistemas y procesos de análisis de imágenes por personal capacitado, para dar información segura y detallada acerca de los objetos naturales o artificiales contenidos en la superficie cuya imagen se analiza, y determinar los factores que implican la presencia, condición y uso de ellos.

La interpretación de fotografías aéreas u ortofotos (fotografías rectificadas digitalmente con propiedades de escala cartográfica) representa una herramienta de gran utilidad para el levantamiento de mapas, los estudios ambientales y/o ayudar a la planificación del crecimiento de las ciudades.



Figura 4.11 Ejemplo de fotografía aérea del INEGI, de Tapachula (2005)

Dentro de los elementos básicos a considerar para llevar a cabo la identificación y clasificación de peligros naturales, es necesario considerar aquellas características presentes en la imagen, que colaboran o sirven de evidencia para la diferenciación de objetos y su identificación. Entre ellas se indican como fundamentales el análisis de:

- 1) La forma de la estructura espacial de un objeto, es determinada para su identificación:
 - El valor de la forma para la interpretación radica en que se permite delimitar la clase de objetos observados, permitiendo identificaciones concluyentes, ayudando a la comprensión de su significado y función, es decir, es necesario señalar las pequeñas diferencias de configuración requeridas.
 - Las formas del terreno y del drenaje, y la repetición de éstas en un patrón, están asociadas a un tipo de relieve determinado por un tipo de formación geológica. El fenómeno de desplazamiento radial, hace que se deba tener cuidado en el análisis de este elemento para objetos de dimensión vertical importante. La forma de la imagen de un mismo objeto varía dependiendo de su ubicación: en el centro de la fotografía (vertical) o cercana a los bordes del mismo (levemente oblicua).

- 2) El tamaño de un objeto es uno de los indicios más útiles que llevan a su identificación.
 - Por la medida de un objeto, se pueden determinar gran parte de sus características; a partir del conocimiento de la escala y la estimación del tamaño se pueden determinar las diferencias entre objetos similares. Tomando en cuenta que el tamaño se debe considerar aún en la tercera dimensión, podrá ser necesario realizar medidas con barra de paralaje o de longitud de sombras para determinar la altura de ciertos objetos, ayudando a su identificación.
 - Con las sombras frecuentemente se determina el tamaño o forma de los objetos por la observación que de ellos arrojan. En el caso de las sombras presentes en las fotografías aéreas, muchas veces ayudan al intérprete, proveyendo de representaciones en perfil de los objetos de su interés.
 - Las fotografías aéreas de propósito general, son tomadas en un intervalo de dos horas antes o después del medio día, a efectos de que se presente el mínimo de sombras y no obstaculicen la observación general del terreno. En zonas urbanas se busca fotografiar cuando hay cubierta

de nubes sobre la altura de vuelo del avión, de forma que el terreno se encuentre iluminado por luz difusa, eliminando las sombras densas.

- 3) La percepción del tono, color y textura son elementos importantes en la identificación e interpretación de objetos en la superficie terrestre. Los tonos de las imágenes fotográficas se encuentran influenciados por una multitud de factores, lo que provoca que los tonos de objetos que puedan ser familiares no correspondan con la percepción de ellos en la naturaleza. Las fotografías que serán destinadas a uso general son tomadas con una combinación de película pancromática y filtro que elimine la interferencia de la bruma atmosférica; muchos trabajos especializados de fotointerpretación son realizados más eficientemente con otras combinaciones de película y filtro.
- 4) Los patrones espaciales de los objetos son otro elemento que puede contribuir en la identificación de los fenómenos naturales. Puede definirse como el arreglo espacial de un conjunto de objetos o asociaciones de objetos similares, así como la repetición sistemática de formas, en los estudios de ciencias de la Tierra, siempre se ha puesto énfasis en el patrón como indicio importante de la función, del origen o de ambos, de aquellos elementos que lo determinan.

Durante el impacto de fenómenos de cierta intensidad, el flujo de información para la toma de decisiones adquiere especial relevancia, en específico para la atención de emergencias y para las labores relacionadas con el retorno a la normalidad. Desde hace algunos años el INEGI ha aportado información geográfica y estadística; anteriormente se enfocaba a la toma de fotografía aérea, pero en la actualidad construye sistemas de información geográfica para las zonas impactadas a través de información referenciada geoespacialmente integrada en un sistema, en este caso el IRIS.

Por ejemplo, para un análisis visual de los daños en la vivienda, por medio de fotografía aérea, se deben tomar en cuenta los siguientes criterios:

1. La extensión del análisis puede llevarse a cabo por escena; para la selección de la escena se buscan las imágenes donde mejor se observan visualmente los daños.
2. El área debe ser representativa de la densidad de vivienda existente en la zona.

Es importante mencionar que la interpretación visual de las imágenes resulta complicada, ya que se requiere de conocimientos en materia de fotointerpretación y de tratamiento de imágenes. Para la interpretación se utiliza generalmente una combinación de bandas RGB 321 (color verdadero), ya que constituye la combinación más próxima a la visión del ser humano.

Sin embargo, de varios análisis realizados, el número de escenas utilizadas como muestra es reducido, por lo que no es posible establecer una tendencia estadística en el número de daños, debido a que el tamaño de la muestra es reducido por la necesidad de llevar a cabo un reconocimiento rápido; debe tomarse en cuenta que ampliando en número de escenas se podrá mejorar la estimación de las densidades de daños establecidas en los modelos, y a partir de ahí generar un grupo de datos lo suficientemente amplio para poder estimar con mayor certidumbre los daños.

Si bien la interpretación de imágenes fotográficas aéreas puede ayudar a establecer con cierta precisión los daños, esta deberá ser acompañada de entrenamiento en la fotointerpretación, y en el desarrollo de técnicas específicas para el procesamiento digital de imágenes y en un análisis detallado de las mismas. Es importante llevar a cabo apoyo de trabajo en campo, con lo cual el reconocimiento de los elementos de evaluación en la fotografía pueda ser confirmada, elevando la confiabilidad del análisis.

Existen algunas recomendaciones para el uso de imágenes para la determinación de daños, que son las siguientes:

- A la par de la obtención de la imagen fotográfica aérea, es importante hacer un levantamiento en campo de la infraestructura dañada y obtener su georeferenciación, esto permitirá validar o ajustar los datos obtenidos por percepción remota.
- En cuanto a las imágenes, es importante no solo obtener una georeferenciación simple, ya que dificulta el análisis y la asociación de datos geoespaciales vectoriales.
- Consolidar el uso de la información georeferenciada, asociándola con fotografías y video con el fin de establecer mecanismos que permitan muestrear daños a la infraestructura, así como determinar su nivel de afectación para que, inmediato al impacto de un fenómeno, se tenga información confiable y válida.

4.4.2 Imágenes fotogramétricas y satelitales de apoyo

Es muy importante considerar al menos dos periodos de imagen o al menos dos sensores de satélite para estudiar las variaciones que han ocurrido con el paso de los años y cómo los fenómenos antropogénicos como la deforestación, la erosión de suelo agrícola, los cambios de uso de suelo de rural a urbano, entre otros, han contribuido al desarrollo de los riesgos en las zonas urbanas y su impacto en el futuro; el conocimiento de estos cambios es indispensable para dar soporte a la información existente.

El uso de las imágenes está en función del tipo de peligro o riesgo a identificar y de la cantidad de información que de ellas puede extraerse, ya sea una interpretación analógica o bien una interpretación digital; depende también de las características del proyecto de una región en especial si se tienen zonas poco accesibles y se requiere una interpretación para regionalización de variables de peligros y riesgos.

Igualmente, el uso de las imágenes estará en función de las capacidades de los especialistas y de los medios para extraer información, así como de su precio y disponibilidad; de preferencia deben estar georreferidas en la proyección UTM, con los mismos parámetros definidos para la carta topográfica. La siguiente tabla resume las características de las imágenes más accesibles.

Tabla 4.6 Características generales de las imágenes de satélite y ortofotos

Imagen	Formato Digital	Resolución	Cobertura	Costo aproximado en dólares (2003)	Disponibilidad
Ortofotos	Tif	4m	20km ²	\$175.00	Buena
Carta topográfica	Tif	2m	1000 km ²	\$10.00	Media
Modelo de elevación	Binario simple	90m	1000 km ²	\$50.00	Buena
Modelo de relieve	Tif	90m	1000 km ²	\$50.00	Buena
Landsat TM	Bil, bsq, tif	27m	120 km ²	\$500.00	Buena
Ikonos	Bil, bsq, tif	2.5m	20 km ²	\$2,000.00	Media
Spot	Bil, bsq, tif	20m	60 km ²	\$1,000.00	Buena
Quick Bird	Bil, bsq, tif	0.6cm	10 km ²	\$3,000.00	Media

4.4.3 Ortofoto Digital

Consiste de una imagen de una fotografía aérea de vuelo alto con dos metros de resolución espacial, rectificadas, disponible en formato “bil” (banda intercalada por línea); tiene un archivo de encabezado estándar “blw” que contiene la dimensión del píxel o celda sobre el terreno de la superficie terrestre y el valor de la coordenada en metros de la esquina superior izquierda en la proyección UTM. Para la

cobertura de una ciudad pueden requerirse varias imágenes de ortofotos o bien para cubrir una carta 1:50,000 se requiere un mosaico de 6 ortofotos.

4.4.4 Carta topográfica digitalizada

Consiste de una imagen de la carta topográfica con 10 metros de resolución espacial disponible en formato “tif” (tag image format), del grupo 4 o mayor, sin comprimir; tiene un archivo de encabezado que contiene la dimensión del píxel o celda sobre el terreno de la superficie terrestre y el valor de la coordenada en metros de la esquina superior izquierda en la proyección UTM. La utilidad de la carta es la extracción de información georreferida mediante las herramientas de Sistemas de Información Geográfica o bien de un sistema de dibujo y diseño.

4.4.5 Modelo digital de elevación

El modelo de elevación está en formato binario simple, en donde cada línea contiene los valores X, Y y Z; tiene un archivo de encabezado que contiene la dimensión del píxel o celda sobre el terreno de la superficie terrestre y el valor de la coordenada en metros de la esquina superior izquierda en la proyección UTM; para la escala 1:50,000 el tamaño del píxel es de 30 metros, que equivale en valor angular a 1 segundo de arco. Otros modelos de mayor resolución pueden ser integrados para complementar el proyecto y detallar zonas de interés; el modelo digital de elevación también permite la definición de la perspectiva de tres dimensiones, que es útil para evaluar las zonas de riesgo desde múltiples puntos de observación, con la finalidad de obtener mayor información relativa al relieve.

4.4.6 Modelo digital del terreno

El modelo digital de relieve es un producto obtenido del modelo digital de elevación, con base en una iluminación artificial de 315 grados de azimut y 45 grados de elevación, lo que simula el relieve terrestre iluminado por el Sol a las 10 de la mañana. Esta imagen se compone de renglones y columnas donde el píxel tiene un valor de la escala de gris; por lo tanto se representa como una imagen en dos dimensiones y en escala de grises. Tiene un archivo de encabezado que contiene la dimensión del píxel o celda sobre el terreno de la superficie terrestre y el valor de la coordenada en metros de la esquina superior izquierda en la proyección UTM. Es muy útil para interpretar las características del relieve en zonas de fuerte pendiente, zonas de inundación en zonas planas, identificación de estructuras geológicas como fracturas y fallas, entre otras cosas.



Figura 4.12 Modelo digital de relieve de Huixtla

4.4.7 Imagen de satélite Landsat

La imagen de satélite Landsat del sensor mapeador temático o “TM”, se integra como una imagen de formato binario “bil” (banda intercalada por línea) o bien el formato “tif”, o incluso algún otro formato que pueda ser leído con herramientas de Sistemas de Información Geográfica o bien de un sistema de dibujo y diseño. La resolución espacial del sensor es de 28 metros y se utilizan las bandas de infrarrojo (banda 7, 5, 4) y/o las bandas visibles (bandas 3, 2, 1) para tener la representación de la energía reflejada por los objetos de la superficie terrestre; este compuesto de bandas es útil para la extracción de información de forma analógica o bien mediante algoritmos de clasificación.

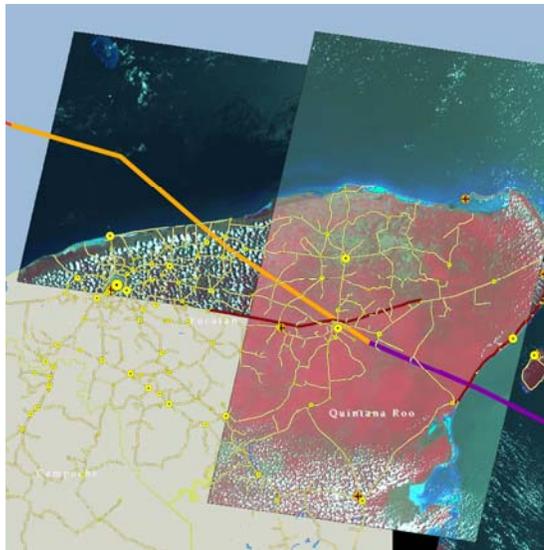


Figura 4.13 Imágenes del satélite Landsat de la Península de Yucatán (2006)

4.4.8 Imagen de satélite Ikonos

La imagen de satélite del sensor “Ikonos” se integra como una imagen de formato binario “bil” o bien de formato “tif”, “geotif”, o incluso algún otro formato que pueda ser leído con herramientas de SIGs o de un sistema de dibujo y diseño. La resolución espacial del sensor es de 4 metros y se utilizan las bandas de infrarrojo (bandas 4, 3, 2) y la banda del visible (banda 1) para tener la representación de la energía reflejada por los objetos de la superficie terrestre.



Figura 4.14 Imagen del satélite Ikonos de la ciudad de Pachuca

4.4.9 Imagen de satélite Spot

La imagen de satélite del sensor “Spot” se integra como una imagen de formato binario “bil” o de formato “tif”, “geotif” o algún otro formato que pueda ser leído con herramientas de SIGs o de un sistema de dibujo y diseño. La resolución espacial máxima del sensor es de 10 metros y se utilizan las bandas de infrarrojo (bandas 4, 3, 2) y la banda del visible (banda 1) para tener la representación de la energía reflejada por los objetos de la superficie terrestre.

4.4.10 Imagen de satélite Quick Bird

La imagen de satélite del sensor “Quick Bird” se integra como una imagen de formato binario “bil” o de formato “tif”, “geotif” o algún otro formato que pueda ser leído con herramientas de SIGs o de un sistema de dibujo y diseño. La resolución espacial del sensor es de 2 metros y se utilizan las bandas de infrarrojo (bandas 4, 3, 2) y la banda del visible (banda 1) para tener la representación de la energía reflejada por los objetos de la superficie terrestre. La banda visible tiene resolución de 60 centímetros y puede ser utilizada para la extracción de información de predios o manzanas.



Figura 4.15 Imagen del satélite Spot de la ciudad de Tijuana (incluye San Diego)



Figura 4.16 Imagen del satélite Quick Bird de Villahermosa

CAPÍTULO V
EJEMPLO DE INTEGRACIÓN, CIUDAD DE ACAPULCO

CAPÍTULO V: EJEMPLO DE INTEGRACIÓN, CIUDAD DE ACAPULCO

5.1 Introducción

Un atlas de peligros de una zona urbana es una compilación de mapas de peligros y riesgos naturales de un área urbana y su entorno geográfico. Sin embargo, la disponibilidad de información en un medio digital, bajo un ambiente de sistema de información geográfica, permite el uso rápido y accesible de información temática con sus atributos dentro de una base de datos. El atlas de peligros de la zona urbana de Acapulco de Juárez es más que una compilación porque está estructurado como una base de datos de peligros y riesgos de la cual se puede analizar y extraer información de utilidad para los planes y programas de mitigación de riesgos, así como de ordenamiento territorial. Se basa en el documento “Guía metodológica para la elaboración de atlas de peligros naturales a nivel de ciudad, identificación y zonificación” que propone las bases para integrar, manipular, administrar y modelar la información disponible de riesgos naturales.

El propósito del Atlas de Riesgo es la integración de la información disponible de peligros y riesgos, tanto naturales como antropogénicos, que afectan la zona urbana de Acapulco de Juárez, en el estado de Guerrero. Sus objetivos particulares son: la identificación de los peligros geológicos, geomorfológicos e hidrometeorológicos, la interpretación de las zonas de riesgos mediante la regionalización de las variables de peligros y su relación de extensión geográfica con respecto a la traza urbana o el límite de crecimiento urbano, así como la propuesta de acciones y obras en zonas identificadas como mitigables, y los criterios para la determinación de zonas no mitigables.

El atlas de peligros no está circunscrito al límite de crecimiento urbano actual y considera el crecimiento urbano a corto plazo con el propósito de establecer ambientes de modelos de riesgo futuro o escenarios con los cuales se busca proponer planes y programas de mitigación, prevención, financiamiento, desarrollo social y desarrollo urbano.

Los antecedentes utilizados para la integración del atlas de peligros de la ciudad de Acapulco son los temas elaborados previamente por otras instituciones (Secretaría de Gobernación y la SEDESOL), y mapas de riesgos de inundación y de deslizamientos que elaboró de Protección Civil. Existen algunos trabajos y reportes técnicos publicados (CENAPRED UNAM, 2001), que se utilizan como fundamento para los temas tratados de riesgos naturales, así como reportes y registros de desastres históricos que han ocurrido en la bahía y en la ciudad de Acapulco.

El atlas de peligros de la zona urbana de Acapulco se basa en las actividades de recopilación bibliográfica, cartográfica y en el análisis de la misma, con el propósito de utilizar los datos que llevan a la identificación de los peligros naturales y antropogénicos, que son aquellos fenómenos cuya ocurrencia en el tiempo y en el espacio ha sido cuantificada, calificada y referida con base en los desastres de vidas y actividades humanas ocurridos al menos en los últimos 20 años. Se utilizaron métodos básicos de interpretación de los sensores remotos disponibles como son las imágenes de satélite, ortofotos, fotografías aéreas y el modelo digital de elevación para extraer información relativa a la expresión regional de los peligros naturales y en la definición de las zonas de riesgos en zonas urbanas o microzonificación, y con trabajo en campo.

Se utilizaron también los criterios fotogeológicos para definir las zonas de riesgo mitigables y no mitigables, y se proponen acciones y programas para disminuir los efectos de desastres en las zonas

mitigables. Finalmente la información expresada en los mapas de peligros y riesgos se integró dentro de un sistema de información geográfica para el despliegue y consulta, en donde cada mapa tiene sus propios atributos de acuerdo a un diccionario de datos. El arreglo ordenado de la información de los mapas y sus atributos definen una base de datos y en ese sentido conforma un atlas digital de peligros de la zona urbana de Acapulco.

El área de estudio comprende la zona urbana de Acapulco, que se ubica al sur del Estado de Guerrero y en la carta topográfica E14C57. El formato cartográfico para el atlas de peligros de la zona urbana de Acapulco es el sistema cartográfico nacional de la escala 1:50000, ya que la ciudad queda comprendida en la carta E14C57 (INEGI, 2000), que tiene las siguientes características:

- 15 minutos de latitud.
- 20 minutos de longitud.
- Superficie de 1,000 kilómetros cuadrados.

Los límites cartográficos son:

- 99 grados 40 minutos y 100 grados 00 minutos de longitud oeste.
- 16 grados 45 minutos y 17 grados 00 minutos de latitud norte.

La proyección cartográfica utilizada es la Universal Transversa de Mercator (UTM), en la zona 14 con las siguientes características:

- Unidades en metros.
- Zona definida cada 6 grados de longitud.
- Datum NAD27.
- Elipsoide de Clarke de 1866.
- Origen de coordenadas en x: 500,000 metros.

La escala de trabajo para el ingreso de información básica es 1:50,000 o mayor, como 1:10,000 o 1:20,000, como es el caso de la información que tiene la definición de calles, predios y manzanas. El formato de salida es 1:10,000, y esta escala no está limitada excepto la escala de origen y el dispositivo periférico de impresión como puede ser una impresora o un graficador (plotter).

El conjunto de mapas de temas de peligros y riesgos naturales se encuentran ordenados dentro de una base de datos en un sistema de información geográfica y sigue la definición de las capas de información con base en el trabajo de campo, sus atributos de acuerdo a un diccionario de datos y la descripción básica de los metadatos para cada una de la capas de información que se han definido en el SIG (INEGI, 1998) que se integran en el texto. El sistema permite el despliegue y la consulta de los mapas y sus atributos de una manera sencilla y rápida, y puede ser actualizada con datos obtenidos por Protección Civil del Estado de Guerrero.

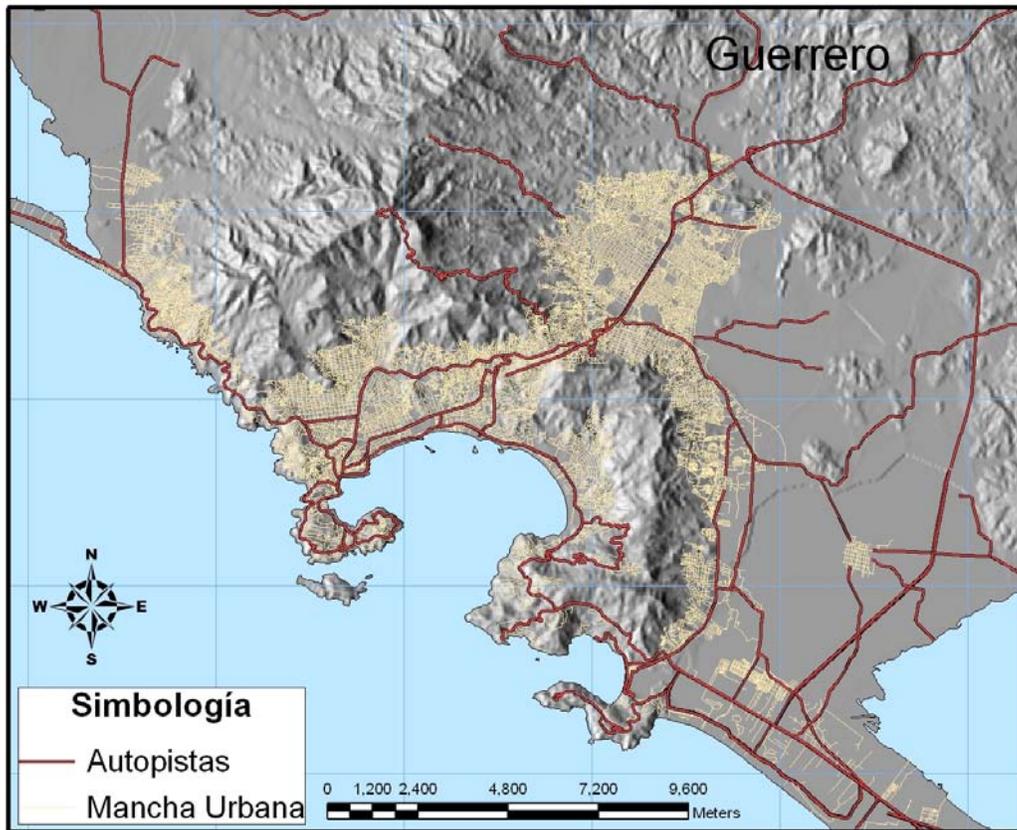


Figura 5.1 Localización de la zona de estudio del área urbana de Acapulco, al sur del estado de Guerrero, ubicada en la Bahía del mismo nombre. Nótese la mancha urbana en amarillo con su crecimiento hacia el parque nacional El Veladero (INEGI, 2003)

5.2 Estructura Cartográfica

La estructura cartográfica es la base para la representación de la información espacial del proyecto que comprende el canevas, la cuadrícula y la gradícula. Sobre ella se definen los temas y se construyen de acuerdo al tipo de elementos gráficos requeridos como son puntos, líneas, polígonos o celdas. Una vez construido, cada mapa temático tiene una estructura de sus atributos y en su conjunto conforman una base de datos de acuerdo a la estructura de un SIG (ESRI, 1999).

El canevas es el límite de la carta topográfica dentro de la cual se encuentra la zona urbana de Acapulco, y está definida por las siguientes coordenadas geográficas:

- ❖ 99 grados 40 minutos de longitud oeste.
- ❖ 100 grados 00 minutos de longitud oeste.
- ❖ 16 grados 45 minutos de latitud norte.
- ❖ 17 grados 00 minutos de latitud norte.

En el sistema de coordenadas en metros de la proyección UTM, las coordenadas son:

- ❖ x mínima: 393,405.
- ❖ y mínima: 1,852,064.
- ❖ x máxima: 428, 990.

❖ y máxima: 1,879,553.

Este es el tema base porque a partir de él se construye y georefiere toda la información de mapas temáticos digitales. Se representa con una línea continua en rojo y tienen los atributos asociados de área y perímetro en kilómetros; cubre una superficie de 982 km².

La cuadrícula es una subdivisión regular de la superficie dentro del cuerpo de una carta topográfica y consiste en líneas paralelas que están separadas cada 5,000 metros en X y en Y. Para su definición se utiliza el Datum NAD27 y el elipsoide de Clarke 1886; para la carta de Acapulco se tienen siete líneas en X y cinco en Y. Se representa con una línea sólida en color azul oscuro, con el atributo de su longitud en kilómetros. La cuadrícula ITRF es una división regular en unidades de metros, definida de la misma manera que la cuadrícula, pero utiliza como definición el datum internacional denominado ITRF que se utiliza en América Latina; se representa con una línea discontinua de color azul claro y tiene el atributo de la longitud de la línea en kilómetros.

La gradícula para la carta de Acapulco consiste de nueve marcas en X y siete en Y, con un total de 63 puntos; la simbología es de una cruz de color negro, mientras los atributos asociados a cada punto son las coordenadas X y Y, en grados y decimales de grado.

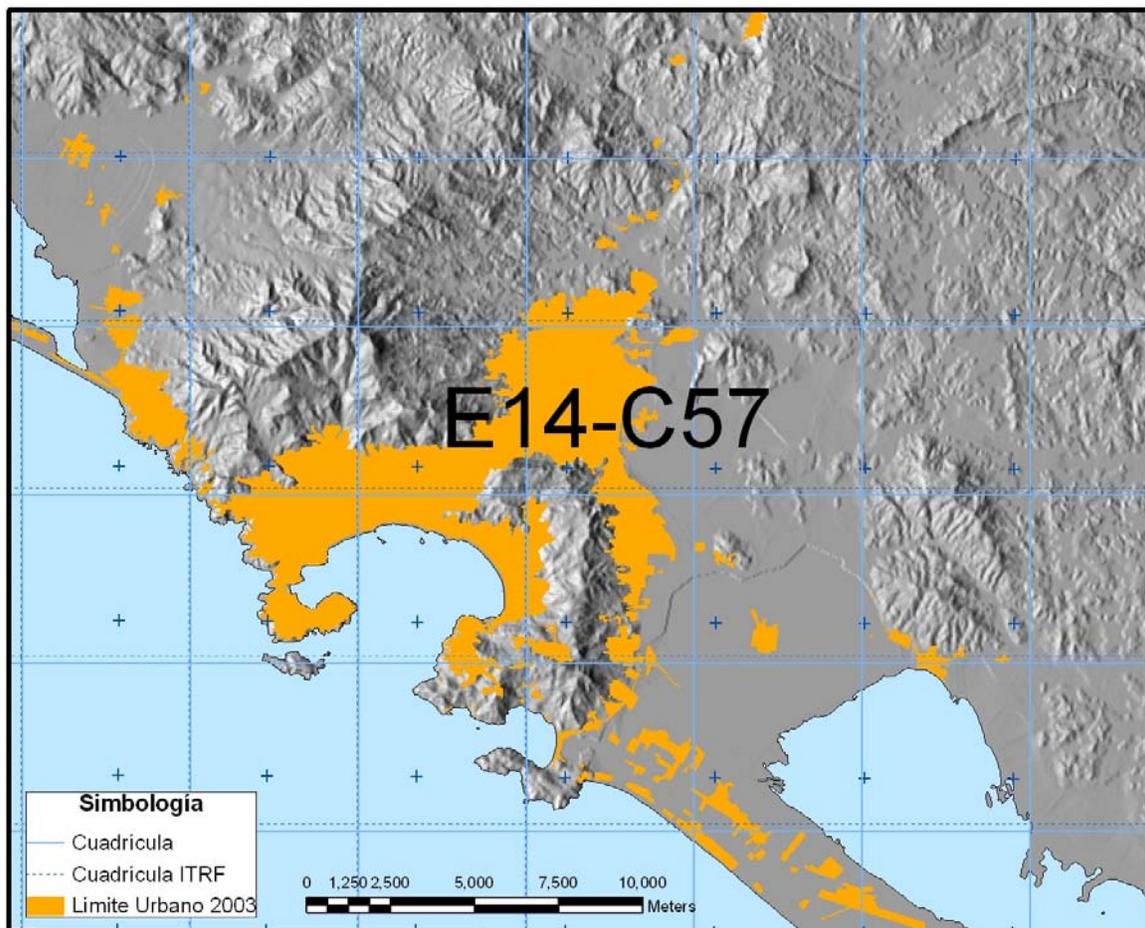


Figura 5.2 Estructura cartográfica del proyecto, comprendiendo el caneavá, la cuadrícula y la gradícula con base en el índice cartográfico nacional, dentro de la carta topográfica "Acapulco" con clave E14-C57, de la escala 1:50,000, en la proyección UTM de la zona 14.

El atlas de peligros considera la información topográfica como un medio para comprender la distribución de los recursos naturales, la actividad humana, la infraestructura y la ubicación espacial de riesgos naturales y antropogénicos. La estructura cartográfica es indispensable para la georeferencia de la información digital y consiste de la altimétrica y la planimétrica, que permiten medir formas, tamaños, distancias, ángulos y valores de coordenadas, así como valores de perímetros y áreas que se requieren como datos adicionales en la definición de las zonas de riesgo.

La altimetría comprende la información que describe el relieve de la superficie terrestre, y está definida por las curvas de nivel, el límite de la costa y la batimetría. Las curvas de nivel son las líneas que representan puntos y lugares de la superficie terrestre con la misma altura respecto al nivel del mar; se representa con líneas sólidas de color marrón y tienen el atributo del valor de la altura en metros, y se han utilizado para producir el modelo digital de relieve en colores de acuerdo a la altimetría.

El tema de límite de costa se obtuvo de los datos vectoriales de la carta 1:50,000 de Acapulco, E14-C57 de INEGI; la línea de costa delimita la zona continental con una línea sólida y no tiene atributos asociados, sin embargo, como capa es muy útil para recortar o hacer recortes con la información digital disponible para temas que comprenden a la parte continental; a partir de este tema toda la información ha sido georeferida y se toma como un elemento importante de la estructura cartográfica del proyecto.

La batimetría representa líneas con la misma profundidad bajo el nivel medio del mar; para la zona de estudio se utilizó la carta náutica de la Secretaría de Marina (Secretaría de Marina, 2002) y se representa con polígonos de color azul claro a azul oscuro, con valores mínimos de 5 metros a 220 metros de profundidad. Esta información ha sido muy útil para el análisis de los peligros y riesgos por tsunami en la zona de la costa de la bahía de Acapulco.

La planimetría es una información básica de referencia espacial de los diferentes tipos de peligros y riesgos que para este estudio comprende:

- a) Ríos.
- b) Lagos y cuerpos de agua.
- c) Vías de comunicación.
- d) Localidades y poblados.
- e) Límite de zona urbana.
- f) Traza urbana al nivel de calles.
- g) Traza urbana al nivel de manzanas.

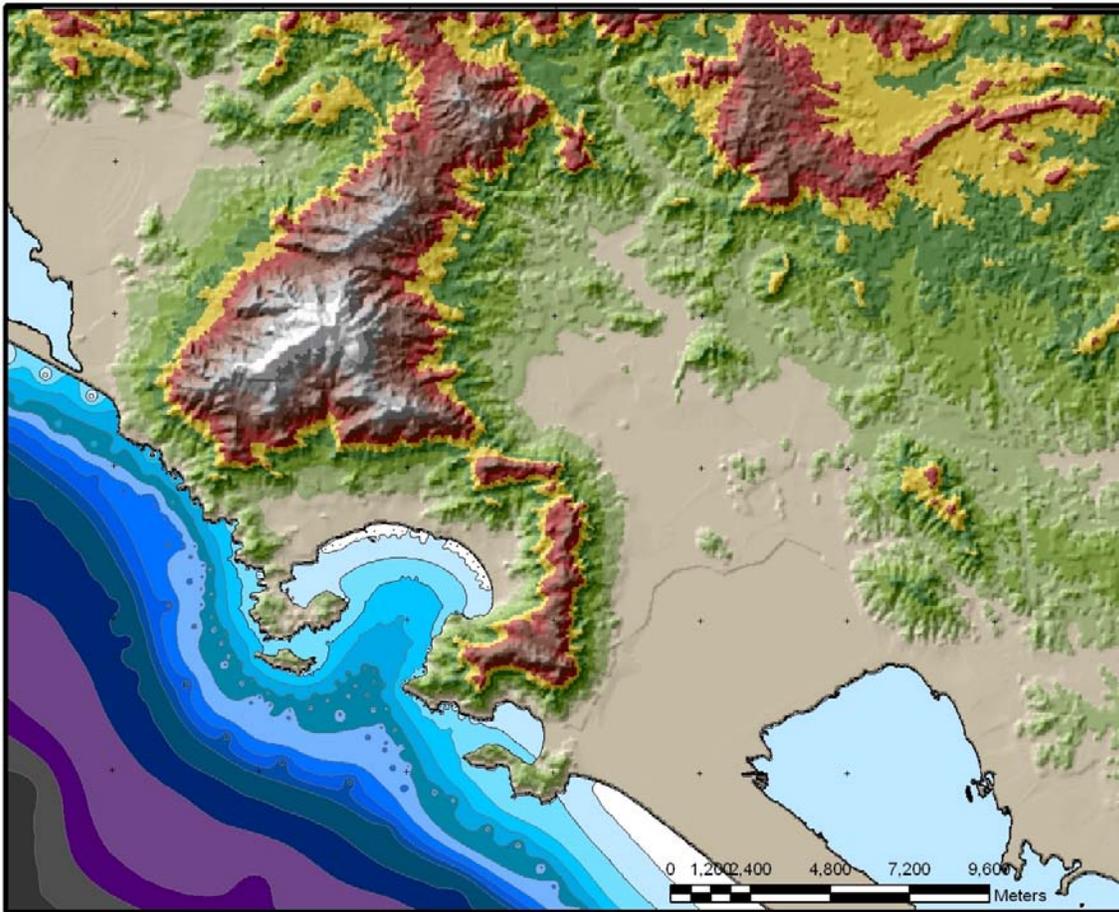


Figura 5.3 Altimetría del proyecto, comprende las curvas de nivel, el límite de costa y la batimetría, teniendo las curvas de nivel en tonos sepia, la topografía de tonos verdes a grises, el límite de costa en negro y la batimetría en tonos azules

5.3 Riesgos Geológicos y Geomorfológicos

Los peligros geológicos y geomorfológicos son aquéllos generados en el interior o en la superficie terrestre; su origen está determinado por procesos naturales de tipo endógeno, que son los que tienen lugar en el interior de la Tierra y generan fenómenos como los sismos, los tsunamis y los volcanes, y los de tipo exógeno, que son los que se presentan en la superficie terrestre debido a las acciones del aire, el Sol, la lluvia y otros factores que contribuyen, como son los tipos de rocas y suelos, la vegetación, el relieve, la pendiente del terreno, así como aquéllos producidos por la actividad humana, como excavaciones, deforestación, sobreextracción de agua, que producen hundimientos, derrumbes y agrietamientos del terreno.

La identificación de los peligros naturales se ha llevado a cabo mediante una metodología que ha permitido determinar la ubicación y las características de los eventos naturales aislados y su agrupación en un mapa temático que contiene atributos descriptivos únicos de cada tema, que describen a los elementos espaciales representados; su ordenamiento dentro de un SIG ha llevado a la definición de una base de datos de peligros naturales para su consulta y despliegue de una forma rápida y sencilla. Comprende los temas de: peligros y riesgos por sismos y tsunamis, así como los deslizamientos, desprendimientos e inestabilidad de las laderas y los flujos de lodo. La identificación de los peligros como eventos o

fenómenos individuales y aislados, permite la interpretación y regionalización de zonas de riesgo mitigables o no mitigables.

5.3.1 Peligro Sísmico

La costa del estado de Guerrero se encuentra dentro de la zona conocida como “Cinturón de Fuego del Océano Pacífico”, caracterizado por ser una zona con alta sismicidad, producto de la actividad entre los límites de las placas tectónicas de Cocos y Norteamérica en la Fosa de Acapulco, que es una porción de la Trinchera Mesoamericana. El reacomodo de estas placas libera energía que se manifiesta a través de los sismos.

Para elaborar el tema de peligros por sismicidad se recurrió a la información disponible de los boletines del Servicio Sismológico Nacional para el periodo 1990-2000; a partir de la ubicación de los epicentros sísmicos generados en ese periodo, se elaboró un mapa de puntos que representa éstos, y se construyó una tabla de atributos que comprende los conceptos de latitud, longitud, magnitud, profundidad y foco, fecha, hora, intensidad y región sísmica.

Con base al atributo de magnitud en la escala Richter se ha obtenido un mapa que representa una simbología de círculos con valores que van de 2.5 a 4.8 grados de la escala Richter; de esta distribución de epicentros se observa que de los epicentros sísmicos corresponde a la zona de fallas que van del Parque Nacional El Veladero, la cuenca del río La Sabana y la laguna de Tres Palos. Esta distribución también fue comparada con la imagen del campo magnético total de la misma zona, en donde se observa que los valores magnéticos más altos están ubicados en el Parque Nacional El Veladero, correspondiendo a la respuesta magnética de cuerpos ígneos intrusivos graníticos y granodioríticos de la Bahía de Acapulco y en la zona costera Pie de la Cuesta hasta Punta Diamante. Una respuesta similar se encuentra en la Sierra que se localiza al noreste de la población de Tres Palos; entre esas dos regiones comentadas hay un bajo magnético que se relaciona con la traza de zonas de fallas. El campo magnético total soporta la interpretación del movimiento lateral para esta zona de fallas y definen que esta región actúa como una zona sísmica y tectónica activa, que afecta a los cuerpos ígneos intrusivos del terciario y el basamento metamórfico del Jurásico-Cretácico del Complejo Xolapa.

Con base en las características del basamento metamórfico y la relación de intrusión de las rocas ígneas, así como su cercanía con la zona de interacción de placas tectónicas de la fosa de Acapulco y la distribución regional de los epicentros, se ha determinado que se trata de un corredor sísmico y tectónico que define una región de riesgo sísmico alto en las zonas de Tres Palos y La Sabana.

En la Figura 5.4 se presenta el mapa de ubicación de epicentros en la zona de estudio; se puede observar la distribución de los epicentros sísmicos de la región de la bahía de Acapulco: la distribución de sismos de magnitud mayor a 4.3 grados Richter al noreste de la zona urbana.

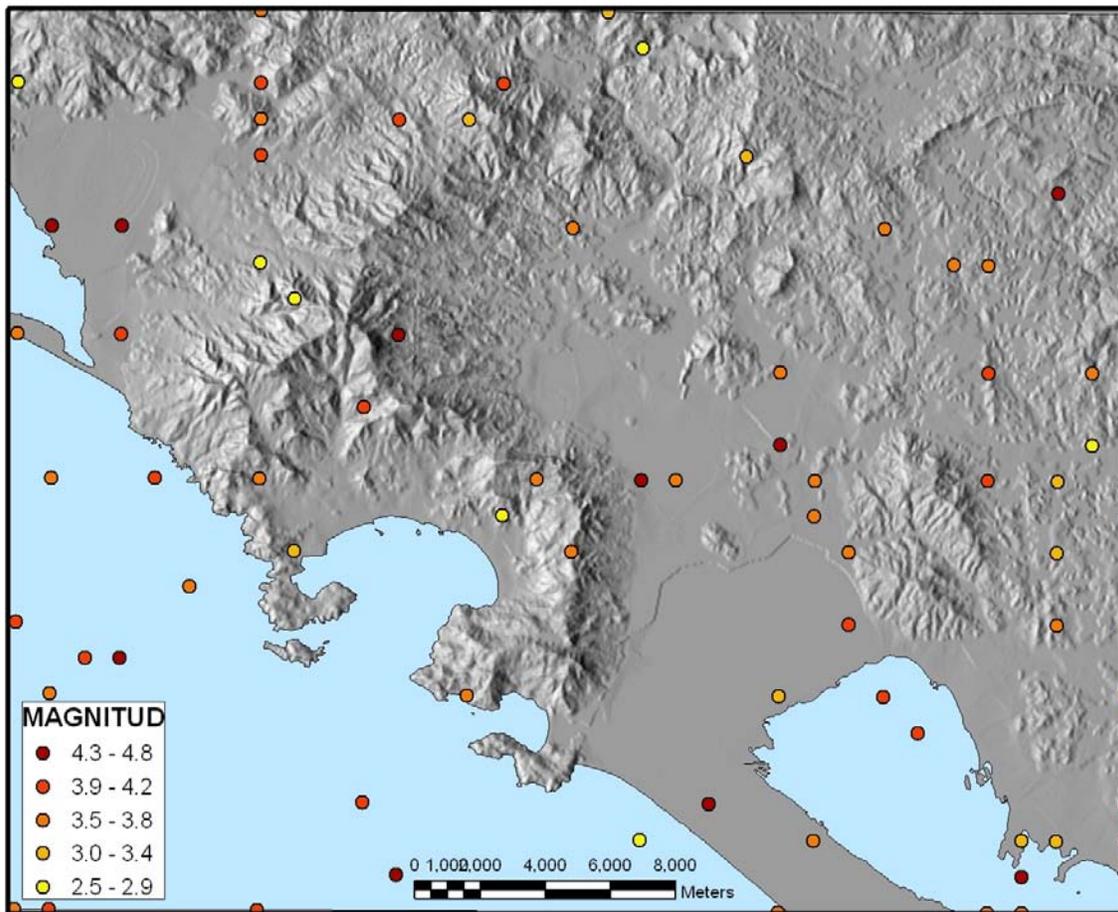


Figura 5.4 Mapa de epicentros sísmicos en la zona de estudio

5.3.1.1 Microzonificación de peligros por sismos

Para el análisis de la microzonificación del peligro sísmico se utilizó un modelo geométrico de distribución de energía sísmica relacionada a cada epicentro; se elaboró una matriz que considera la magnitud, obteniendo con este análisis un radio de afectación que va de los 2.5 a 50 kilómetros, considerando tres rangos: alto, medio y bajo (Tablas 5.1 y 5.2).

Tabla 5.1 Matriz de datos para la regionalización de peligro por sismicidad

Profundidad	0 - 30 km	30 - 60 km	60 - 300 km
Magnitud			
0.0 - 4.4	10 / 2	5 / 3	2.5 / 3
4.5 - 5.9	15 / 2	10 / 2	5 / 3
6.0 - 7.0	25 / 1	15 / 1	10 / 2
7.1 - 8.5	50 / 1	25 / 1	15 / 1

Tabla 5.2 Matriz de datos para la asignación de nivel de peligro

Descripción	
Clase	Rango
Alto	1
Medio	2
Bajo	3

Debido a que la magnitud es una variable discreta y cuantitativa de la energía liberada, se consideró el uso de la intensidad sísmica de la escala de Mercalli, para obtener un modelo de la cuantificación de los efectos sísmicos debido a la energía disipada de los epicentros sísmicos. Este modelo matemático se procesó mediante una interpolación de tipo kriging del atributo de la intensidad sísmica; el modelo resultante es una regionalización de una variable cualitativa como lo es la intensidad sísmica. El modelo demuestra que la Bahía de Acapulco, la zona urbana y la zona de los cerros del Parque Nacional El Veladero, se encuentran dentro de una zonificación de riesgo bajo, con valores de la escala Mercalli que van de 3 a 5 grados; por esta razón toda la zona urbana de Acapulco se encuentra dentro de una zona de microzonificación de riesgo bajo.

Con base en la microzonificación de riesgo por sismos, y para el caso específico del área de estudio, se determinó el número de áreas geoestadísticas que se encuentran dentro de la microzonificación; en la tabla 5.3 se muestra la estimación del porcentaje del área de Ageb contenida dentro de la microzonificación.

Tabla 5.3 Microzonificación del peligro sísmico al nivel Ageb (Area Geoestadística Básica)

Ageb	Porcentaje	Clase
477-0, 514-4, 459-2, 458-8	100	Bajo
452-0	75	
439-5, 045-8	45	
516-2	30	
115-5	10	
044-3	2	
031-6	80 y 5	Medio Bajo
344-8	60 y 30	
025-0	40 y 40	
345-2	30 y 70	
s/n	20 y 10	Medio
348-6, 347-1, 349-0, 350-3, 352-2, 284-4, 282-5, 281-0, 285-9, 280-6, 279-3, 359-4, 457-3	100	
151-1, 138-6, 286-3, 360-7, 278-9	95	
338-2, 358-A	80	
255-8	70	
341-4, 339-7, 351-8, 351-8, 440-8, 137-1, 274-0, 363-0, 176-1	60	
143-7	50	
379-1	45	
373-4, 353-7, 500-1, 377-2, 036-9, 334-4, 092-2	40	
346-7, 414-5, 158-3, 415-A, 136-7, 089-0, 361-1, 211-5	30	
283-A, 267-0	25	
134-8, 416-4	20	
148-A	15	
181-2, 225-7, 009-1	10	
152-6, 375-3, 144-1	5	

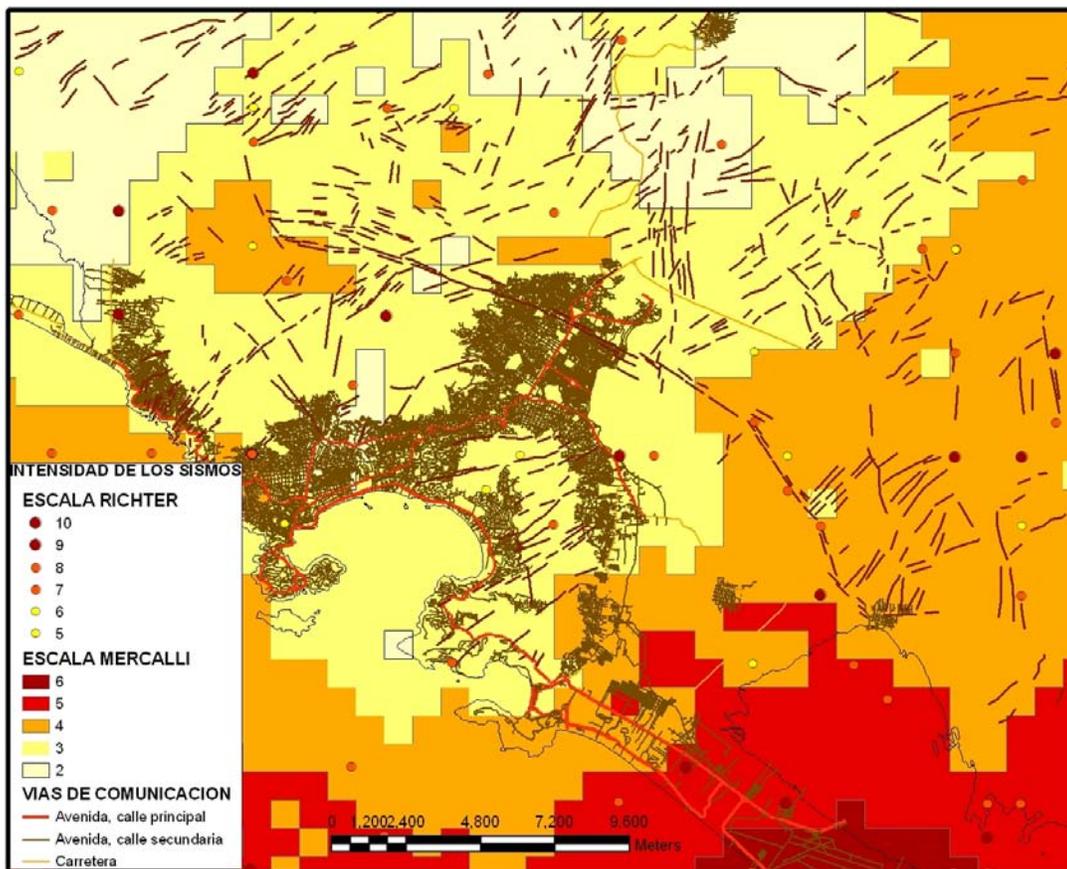


Figura 5.5 Mapa de microzonificación por riesgo de sismos

5.3.2 Peligros por flujos de lodo

Los deslizamientos, desprendimientos de rocas y flujos de lodos son algunos de los procesos geológicos más comunes en la superficie de la Tierra, que debido a su expresión superficial y a la definición del relieve terrestre son un peligro de tipo geomorfológico muy especial. La erosión y la gravedad son factores que actúan constantemente para transportar materiales de las zonas más altas hacia abajo. La parte alta y algunos sectores medios de la región del anfiteatro de Acapulco presentan grandes bloques de roca expuesta por erosión, lo que ha generado la formación de materiales de bloques, gravas, arena, limo y arcilla; estos materiales geológicos, debido a la presencia de agua pluvial, se saturan y por efecto de la pendiente favorece los flujos de lodo. Estos materiales sin consolidar y saturados de agua son arrastrados por los lechos de los ríos con dirección a la parte baja de anfiteatro, convirtiéndose en agentes de gran devastación y desastre: en el año de 1997, las lluvias producidas por el huracán Paulina produjeron flujos de lodo que destruyeron construcciones de todo tipo en las zonas de barrancas y cauces de arroyos y ríos.

Entre las colonias que tienen un riesgo elevado a este fenómeno son aquellas que se ubican en los cauces de ríos o en cañadas de la parte alta del anfiteatro, entre las más relevantes sobresalen por su grado de vulnerabilidad las colonias Palma Sola, Francisco Villa, Santa Cruz y FOVISSSTE; estas colonias se encuentran en una zona de gran conflicto por lo estrecho de los cauces y las pendientes fuertes que circundan los canales de dos grandes corrientes que descienden hacia la Progreso y hacia Ejido. En algunos casos hay una separación mínima entre ambos cauces, de unos 150 metros, lo cual muestra lo endeble de la dinámica del terreno en caso de fuertes presiones por corrientes en ambos lados, como fue el caso durante el huracán Paulina.

En circunstancias normales de precipitación existe otra serie de cauces que muestran puntos de conflicto, por lo estrecho del cauce, incluso están delineados por fallas del terreno, lo cual se detecta por lo asimétrico del perfil del relieve como se observan en la confluencia de los arroyos de Mozimba y Ejido. El tema de peligros por flujos de lodo se obtuvo mediante la interpretación fotogeológica de los sensores remotos en las zonas de barrancas que se encuentran en la zona urbana de Acapulco. También se utilizó el modelo digital de elevación; con estos elementos se cruzó la información disponible de los temas de litología, vegetación, pendientes y traza urbana.

Se determinó que las rocas expuestas durante miles o millones de años al intemperismo y la erosión han generado materiales finos como arena, limo, gravas y arcillas, los cuales saturados de agua durante la época de lluvias o algún evento extraordinario de lluvias, fluyen pendiente abajo a lo largo de cañadas y barrancas, favorecido por factores como: la deforestación, los cambios de uso de suelo (de agricultura a uso urbano), la pérdida de suelo por erosión hídrica laminar y la fuerte pendiente del terreno. Gran parte de las líneas o cauces de flujos de lodo están en los cerros del Parque Nacional El Veladero y se extienden hacia la zona costera de Pie de la Cuesta, la zona de playa de la Bahía de Acapulco y la zona de la planicie aluvial del Río la Sabana. Hacia el noroeste de la zona urbana, en la región de Pie de la Cuesta, se han identificado 23 líneas importantes de cauces naturales con peligro por flujo de lodo; en la parte urbana de la Bahía de Acapulco se han identificado 62 líneas importantes que definen zonas de peligro; la mayoría de ellas de forma natural y por efecto de la pendiente del terreno cruzan la zona urbana.

Hacia el noreste de la zona urbana se identificaron 27 líneas importantes (hacia el oriente hay 16 líneas de peligro con las mismas condiciones descritas a continuación) con peligro por flujo de lodo que conducen de manera natural materiales finos como arcillas o arenas saturadas de agua, de los cerros de El Veladero, hacia la planicie aluvial del río La Sabana. Gran parte de la zona urbana se localiza en terrenos de fuerte pendiente; en esa región se localizan cañadas y barrancas que favorecen los flujos de lodo por el trazo de las calles y avenidas, así como por la pérdida de vegetación y la erosión hídrica laminar, las rocas y los materiales geológicos fracturados, disgregados y sin consolidación, los cambios de uso de suelo de pastizales inducidos y cultivados a uso de suelo urbano.

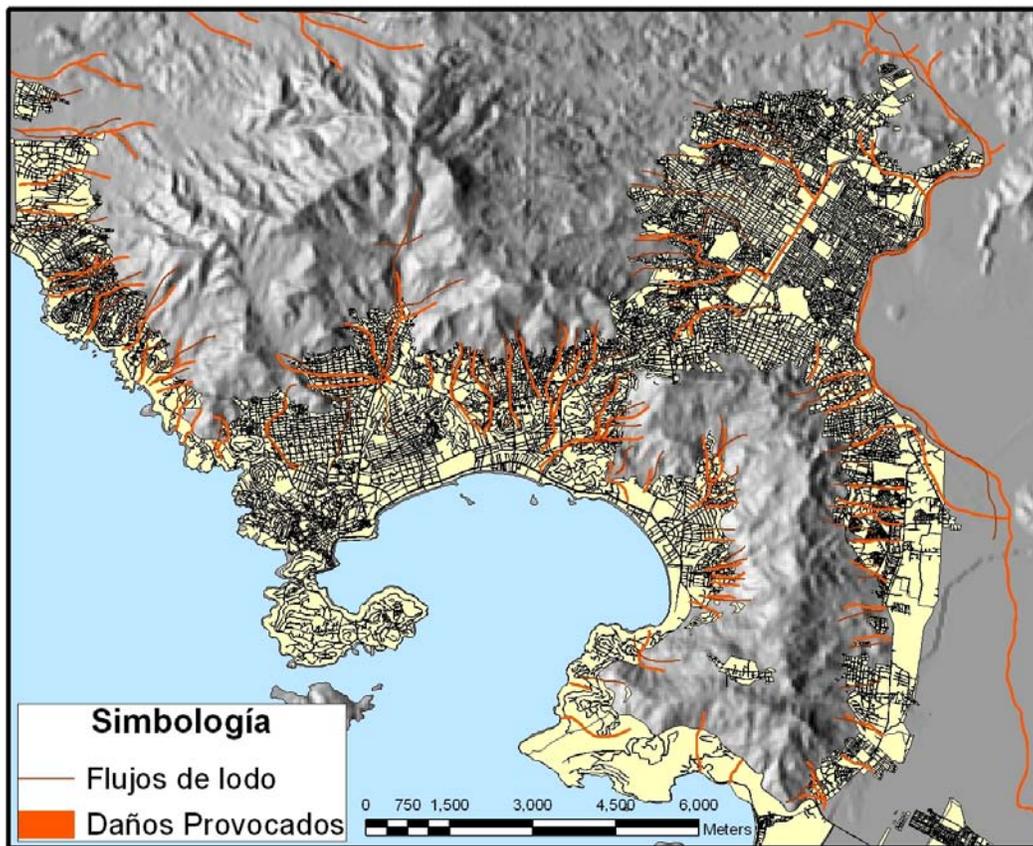


Figura 5.6 Mapa de daños provocados por los flujos de lodo en la zona de Acapulco. Nótese la cantidad cauces de flujos de lodo y de daños dentro de la zona urbana de Acapulco

5.3.2.1 Microzonificación de riesgos por flujos de lodo

En circunstancias normales de precipitación, existen otra serie de cauces que muestran puntos de conflicto, por lo estrecho del cauce; en algunos casos incluso están delineados por fallas del terreno, lo cual se detecta por lo asimétrico del perfil del relieve como se observan en la confluencia de los arroyos de Mozimba y Ejido. Al noroeste se identificaron 23 áreas de riesgo en las colonias y localidades: El Pedregoso, San Isidro y Pie de la Cuesta; hacia la zona urbana de la Bahía de Acapulco, las zonas de riesgo identificadas afectan a las colonias: Fraccionamiento Mozimba, La Mira, Santa Cruz, Universidad Autónoma de Guerrero, Cuauhtémoc, La Garita, Adolfo Ruíz Cortines, Las Cumbres, Costera Miguel Alemán, Industria Militar, Costa Azul y Base Naval Icacos.

Hacia el noreste de la zona urbana, las zonas de riesgo afectan a las colonias Industrial, El Quemado, El Paraíso, El Renacimiento, Parota y Las Cruces, Villa Guerrero, La Libertad y Frontera. Hacia la región oriental, las zonas de riesgo comprenden las colonias 5 de mayo, La Máquina, Cayacos, Tuncingo, Piedra Roja, Amate Coloso, Solidaridad, Navidad de Llano Largo, Vista Alegre y Puerto Marqués.

5.3.3 Peligros por Deslizamientos

Este tema se obtuvo mediante el análisis de los modelos digitales de elevación y del relieve, así como de los temas de litología, vegetación y drenaje, y los modelos propuestos por otros autores (Alcántara y Echavarría, 2001). También se ha integrado información disponible de desastres históricos de movimientos de terreno proporcionados por la Unidad de Protección Civil del Estado de Guerrero. Con base en el modelo de elevación se determinaron las zonas de cambio de pendiente fuerte, desde las partes topográficas altas del parque El Veladero, y hasta la base de los cerros, en los límites con la zona urbana.

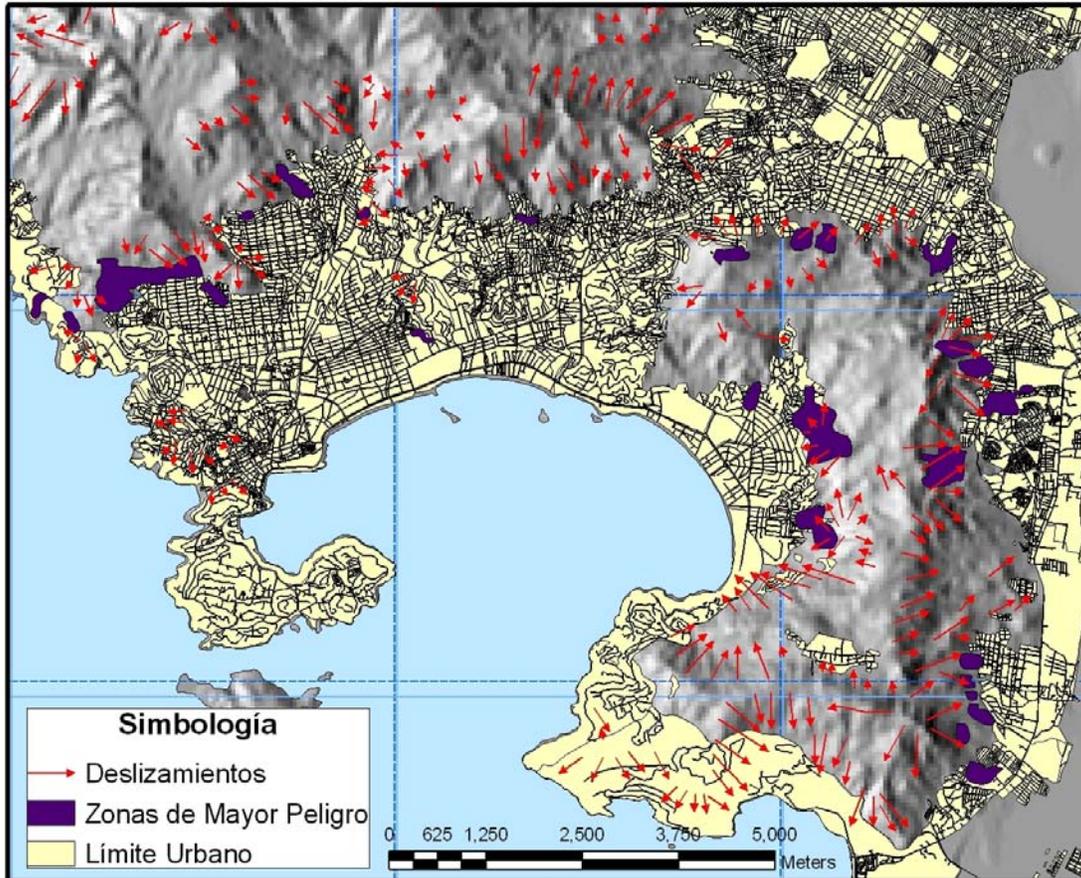


Figura 5.7 Mapa de peligros por deslizamientos

En esta zona se determinó que los factores que contribuyen a los deslizamientos de bloques y la caída de materiales sin consolidar son: la pérdida de la vegetación primaria, el cambio de uso de suelo de zona de selva a zona urbana, la presencia de rocas ígneas graníticas y granodioríticas afectadas por fracturas, fallas, erosión e intemperismo y la red natural de drenaje con patrones detríticos densos. Estos factores han generado, a lo largo de miles o millones de años, bloques de centenas de metros que están expuestos en la superficie, en zonas de pendiente fuerte y en donde la urbanización ha favorecido la pérdida de la vegetación y de los suelos. Muchos de estos bloques son una de las características que permiten definir el riesgo por deslizamientos en la zona urbana de Acapulco y principalmente en las zonas de crecimientos urbanos recientes e irregulares. En la Figura 5.8 se presenta el mapa de riesgo por deslizamientos, con zonas definidas de acuerdo a la información de desastres históricos de la región. Los

sitios de peligro son aquéllos ubicados en zonas de pendiente pronunciada, de acuerdo al modelo de pendientes en relieve.

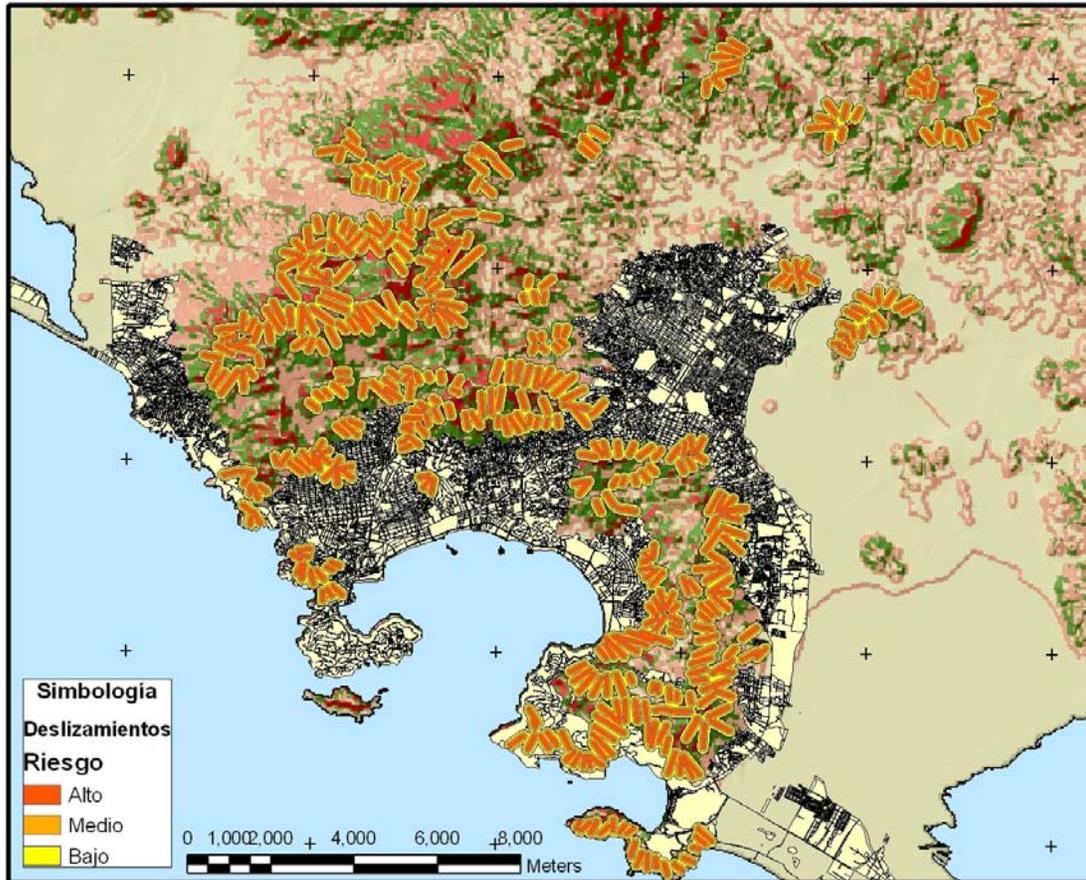


Figura 5.8 Mapa de riesgo por deslizamientos

5.3.4 Peligros por Tsunamis

Un tsunami es una ola de gran altura, superior a las ordinarias registradas en una zona de costa; conlleva el peligro de penetración tierra adentro por lo que puede causar daños en obras, bienes y servicios, así como la pérdida de vidas humanas en una zona urbana cercana a la costa. El uso de suelo para urbanización a lo largo del litoral del municipio de Acapulco de Juárez es intenso y en algunos lugares presenta asentamientos irregulares; debido a la infraestructura turística-urbana y a la densidad de población, tanto permanente como flotante, la zona costera de Acapulco es vulnerable, en diferentes grados, a la acción de peligros naturales como son tormentas tropicales, huracanes, sismos, tsunamis y otros peligros secundarios, los cuales afectan a la zona costera produciendo la erosión de las playas, azolve súbito, derrumbes e inundaciones. La probabilidad de que ocurran estos fenómenos es alta y en algunos casos es periódica, por lo que representa un peligro serio para la población en general.

La morfología costera del estado de Guerrero es muy irregular, se presentan regiones de planicies costeras angostas, que incluyen lagunas y deltas con playas extensas y alternan con regiones de pendientes fuertes en donde existen salientes rocosas con acantilados altos y entrantes de dimensiones diversas, que forman bahías y caletas con playas extensas o pequeñas; esta morfología costera presenta dos cuerpos de agua principales, la Bahía de Acapulco y la Bahía de Puerto Marques, y tanto al noreste como al sureste,

se han desarrollado playas de barrera extensas que encierran las lagunas de Coyuca en el noroeste y la de Tres Palos en el sureste. La plataforma continental de Guerrero es angosta, cortada por cañones submarinos, que son la continuidad de la traza de fracturas. Su amplitud promedio es de aproximadamente 10 km, con una pendiente que oscila entre 0° 15' como mínima y 1° 54' como máxima. Su borde se localiza a profundidades variables de 100 a 220 metros. Es posible que dada la actividad tectónica producida por la subducción de la placa de Cocos bajo la placa Americana, la morfología de esta plataforma esté controlada por un sistema de bloques de falla.

Los procesos que ocasionan ascensos en el nivel del mar y que pueden representar un peligro para las poblaciones o actividades que se desarrollan a lo largo de los litorales, son: los maremotos, las mareas de tormenta y el ascenso lento del nivel del mar por cambio climático. De estos procesos, los más peligrosos son los maremotos, también llamados “tsunamis”, que pueden tener tiempos de arribo a la línea de costa del orden de segundos.

Un tsunami (del japonés “tsu”: puerto o bahía, y “nami”: ola) es una ola o serie de olas que se producen en una masa de agua al ser empujada violentamente por una fuerza que la desplaza. Estas olas pueden ser ocasionadas por terremotos locales o por terremotos ocurridos a distancia; los primeros son los que producen daños más devastadores debido a la falta de tiempo suficiente para evacuar la zona. Un tsunami se produce entre 10 y 20 minutos después de un terremoto; los maremotos son comunes en las costas del sur y sureste de México debido a dos procesos: el primero es local y se debe a la gran actividad sísmica de la región, y el segundo es distante, originado por la actividad sísmica de todas las regiones alrededor del Océano Pacífico, pues los tsunamis tienen la facilidad de desplazarse a miles de kilómetros de distancia desde el lugar donde se originan.

Los maremotos son ocasionados por el arribo de una ola de grandes dimensiones a la línea de costa; los tsunamis son generados por la ocurrencia de sismos bajo el lecho marino, que deben tener una gran magnitud lo suficientemente alta (mayor a 6.5) y una duración mayor a 20 segundos. Para el caso de Acapulco, los tsunamis locales son producidos en la región de la Fosa Mesoamericana, y de acuerdo a la velocidad de desplazamiento, puede arribar a Acapulco en menos de una hora. El sismo formado en la Fosa Mesoamericana frente a Michoacán el 19 de septiembre de 1985, generó un tsunami que tardó 30 segundos en llegar a Lázaro Cárdenas y 23 minutos a Acapulco.

Por otra parte, los tsunamis lejanos o remotos son generados por sismos que ocurren en las márgenes del Océano Pacífico, en lugares tan alejados como Japón, Chile y Nueva Zelanda; en Acapulco, la mayoría de los tsunamis lejanos han provocado olas menores de 0.5 metros, y pocos han alcanzado alturas mayores a 1 metro. Con base en el análisis de registros de desastres históricos, se ha elaborado una tabla de datos de tsunamis registrados que han llegado a Acapulco, conteniendo 10 datos de tsunamis de origen lejano desde 1957.

Tabla 5.4 Tsunamis registrados en México, en la región de Acapulco Guerrero; los primeros 10 registros corresponden a los tsunamis de origen lejano

Fecha	Epicentro del sismo	Zona del sismo	Magnitud del sismo	Lugar registrado	Altura de las olas (m)
09 marzo 1957	51.3° N, 175.8° W	Aleutianas	8.3	Acapulco	0.6
22 mayo 1960	39.5° S, 74.5° W	Chile	8.5	Acapulco	1.9
20 nov. 1960	6.8° S, 80.7° W	Perú	6.8	Acapulco	0.1
13 octubre 1963	44.8° N, 149.5° E	Islas Kuriles	8.1	Acapulco	0.5
28 marzo 1964	61.1° N, 147.6° W	Alaska	8.4	Acapulco	1.2
04 febrero 1965	51.3° N, 179.5° E	Aleutianas	8.2	Acapulco	0.4
16 mayo 1968	41.5° N, 142.7° E	Japón	8.0	Acapulco	0.4
29 nov. 1975	19.4° N, 155.1° W	Hawaii	7.2	Acapulco	0.3
14 enero 1976	29.0° S, 178.0° W	Kermandec	7.3	Acapulco	0.2

12 dic. 1979	16.0° S, 79.4° W	Colombia	7.9	Acapulco	0.3
25 febrero 1732	No definido	Guerrero	X	Acapulco	4.0
01 sep. 1754	No definido	Guerrero	X	Acapulco	5.0
04 mayo 1820	17.2° N, 99.6° W	Guerrero	7.6	Acapulco	4.0
10 marzo 1833	No definido	Guerrero	X	Acapulco	N/D
11 marzo 1833	No definido	Guerrero	X	Acapulco	N/D
07 abril 1845	16.6° N, 99.2° W	Guerrero	X	Acapulco	N/D
04 dic. 1852	No definido	Guerrero	X	Acapulco	N/D
14 abril 1907	16.7° N, 99.2° W	Guerrero	8.0	Acapulco	2.0
30 julio 1909	16.8° N, 99.8° W	Guerrero	7.4	Acapulco	N/D
14 dic. 1950	17.0° N, 98.1° W	Guerrero	7.3	Acapulco	0.3
28 julio 1957	16.5° N, 99.1° W	Aguascalientes	7.9	Acapulco	2.6
11 mayo 1962	17.2° N, 99.6° W	Guerrero	7.0	Acapulco	0.8
19 mayo 1962	17.1° N, 99.6° W	Guerrero	7.2	Acapulco	0.3
23 agosto 1965	16.3° N, 95.8° W	Oaxaca	7.3	Acapulco	0.4
30 enero 1973	18.4° N, 103.2° W	Colima	7.5	Acapulco	0.4
25 octubre 1981	17.8° N, 102.7° W	Guerrero	7.3	Acapulco	0.1
19 sep. 1985	18.1° N, 102.7° W	Michoacán	8.1	Acapulco	1.1
21 sep. 1985	17.6° N, 101.8° W	Michoacán	7.5	Acapulco	1.2

Para una descripción sencilla y rápida de la zonificación de riesgo por tsunami, se ha subdividido la zona de playas de Acapulco a fin de hacer una descripción breve de las costas y sus características generales que determinan el riesgo por tsunami:

- a) Playa Pie de la Cuesta: Se localiza en la parte más al noroeste del área de estudio y es parte de la barrera arenosa que encierra a la Laguna Coyuca; el área de la playa es de pendiente moderada, arena media y presenta cúspides, asociados a corrientes de resaca, evidencia de una alta energía de oleaje en la playa. Esta parte de la barrera arenosa es muy estrecha (200m), tiene una altura menor a un metro sobre la berma de la tormenta, con construcciones permanentes de casas habitación y restaurantes sobre la trasplaya, a menos de 50m de la cara de la playa. El riesgo por tsunami en esta playa es alto, debido a la poca altura de la barrera arenosa, siendo de 3 a 4 metros sobre el nivel del mar.
- b) Pie de la Cuesta – La Quebrada: En esta área, la línea de costa es muy irregular, con acantilados de 60 metros de altura; la población de Pie de la Cuesta y la ladera del cerro La Mira se encuentran densamente poblados, con colonias de recursos económicos escasos, donde existen asentamientos irregulares y cimentación débil. El riesgo por tsunami es muy bajo debido a que existe muy poca infraestructura en alturas menores a 5 msnm.
- c) La Quebrada – Punta Piedra Elefante: Compreendida por una sierra baja, con alturas de hasta 100m y una topografía de pendientes fuertes y acantilados que continúan por debajo del nivel del mar; la densidad de población es baja, ya que es una zona residencial con construcciones bien cimentadas. Las pendientes de las laderas son muy fuertes y los acantilados varían de 40 a 50 metros de altura. El riesgo es muy bajo, existen muy pocas construcciones en alturas menores a 5 msnm.
- d) La Angosta, Caletilla y Caleta: La Angosta está expuesta a una mayor energía de oleaje, debido a que está abierta a los efectos del Pacífico, mientras que Caleta y Caletilla están parcialmente protegidas por la isla Roqueta. El riesgo es muy alto en las tres playas; en Caleta y Caletilla la berma es baja y hay construcciones en la trasplaya, en alturas menores a los 3 msnm. La playa Angosta está expuesta al oleaje de mar abierto y se encuentra en la parte más interna con forma de embudo, lo cual magnificaría el riesgo por acumulación de agua en exceso.
- e) Punta Piedra Diamante – Club de Yates: En esta área el oleaje es de baja energía; la línea de costa es rocosa, pero no hay acantilados activos, en su lugar sólo se observa una ladera de pendiente fuerte. El riesgo es bajo, pues existen pocas construcciones en la franja por debajo de 5 msnm.
- f) Club de Yates – Puerto Internacional Tte. José Azueta: La línea de costa está dominada por playas de pendiente suave, separadas una de la otra por obras civiles, enrocamientos y muros

del malecón. El riesgo es muy alto, la altura de la infraestructura está desde menos de 2 msnm y existen áreas bajas, como el centro histórico de la ciudad que ya ha sido inundado durante la ocurrencia de maremotos. Este margen también es vulnerable a ascensos súbitos del nivel del mar por onda de tormenta, que junto con el oleaje de alta energía, el impacto podría tener grandes consecuencias.

- g) Puerto Internacional Tte. José Azueta – Punta Morro Chico: Esta área está conformada por un bloque rocoso y sedimentos de todos tamaños, amontonados al pie del muro del malecón; en este segmento la arena no es estable, ya que la orientación de la línea de costa es casi paralela al arribo del oleaje, lo que permite que el transporte litoral sea el máximo y remueva el sedimento fino, llevándolo hacia el norte, hacia Playa Hornos. El muro del malecón tiene una altura menor a 1.5 msnm; el nivel de energía del oleaje se incrementa de oeste a este, debido a la exposición al oleaje que arriba al interior a través de la boca. La altura del malecón y de calles que desembocan a la playa es de un metro, además de que algunos muros de hoteles, restaurantes y comercios de artesanías están sobre la parte activa de la playa. El riesgo es muy alto debido a que la trasplaya no es muy alta y el nivel de las calles es inferior a 1.5 metros sobre la misma; los efectos de onda de tormenta junto con oleaje de alta energía, podrían causar daños severos.
- h) Punta Morro Chico – Playa Condesa: Debido a que está frente a la boca de la bahía, recibe oleaje de mar profundo desde el sur, el cual penetra a través de la boca y avanza directamente hacia estas playas, siendo el oleaje de mayor energía de la bahía, por lo que la cara de la playa tiene una pendiente empinada, con arena gruesa, una berma muy alta de 4 metros y un ancho promedio de 30 metros. La altura de las calles que desembocan en la playa es de 1 metro, además los muros de los hoteles y distintos comercios están construidos en la parte activa de la playa, por lo que están sujetos a erosión de oleaje y como parte de este lugar está bordeado por una planicie estrecha, con mucha infraestructura, aquellas áreas con altura menor a 5 metros son vulnerables a inundaciones por ascenso súbito del nivel del mar. El riesgo es muy alto, aunque la playa es alta, existen edificios y desembocaduras de calles que tienen alturas menores a 1 metro sobre la berma, por lo que tsunamis y ondas de tormenta representan un gran peligro si se presentan con oleaje de alta energía y marea alta.
- i) Playa Icacos: La energía del oleaje disminuye gradualmente, de la misma manera que la altura de la playa, la pendiente y el tamaño de la arena. La transición de alta a baja energía se hace más notoria a partir de la playa frente a la Plaza España; frente a la base naval, las condiciones de energía son muy bajas, similares a las de la Bahía de Santa Lucía, ya que la península Las Brisas protege a esta parte del arribo del oleaje de mar abierto. El ancho de la playa es de unos 40 a 50 metros, con algunos muros de hoteles o restaurantes que reducen este ancho. El riesgo es muy alto, debido a que existen áreas de poca altura sobre el nivel medio del mar, aunque la franja con alturas menores a 5 metros es estrecha.

Este nivel se obtuvo mediante la interpretación analógica de sensores remotos, tales como ortofotos, imágenes de satélite, información digital del área, trabajo de campo, la cartografía de la batimetría y la información de desastres históricos (tabla 5.5). El mapa se compone de líneas que representan el peligro por tsunamis, con los atributos de sección, nombre, riesgo, intensidad, tipo y fecha.

La intensidad fue dividida en alta, media y baja; con base en los valores de la batimetría de la zona costera, se ha determinado que las playas Club de Yates, Punta Morro Chico e Icacos se encuentran en una batimetría de 5 a 10 metros bajo el nivel del mar. En la figura 5. Se muestra el mapa de peligros por tsunami en la costa de la zona urbana de Acapulco; en ella se muestra cómo las costas donde se tiene la industria hotelera, se encuentran en zonas de peligro alto; en las zonas de las playas Icacos y Hornitos entre otras, se ha definido un riesgo alto, mientras que en las playas de Punta Caleta y Punta Diamante entre otras, se encuentran en riesgo medio y bajo.

Tabla 5.5 Secciones de estudio de las playas por peligro de tsunami

Sección	Nombre	Intensidad	Tipo	Fecha
01	Playa Pie de la Cuesta	Alta	Tsunami cercano	21 septiembre 1985
02	Pie de la Cuesta – La Quebrada	Baja	Cercano	21 septiembre 1985
03	La Quebrada – Punta Piedra Elefante	Baja	Cercano	21 septiembre 1985
03 ^a	La Angosta, Caletilla y Caleta	Alta	Cercano	21 septiembre 1985
04	Punta Piedra Diamante – Club de Yates	Baja	Cercano	21 septiembre 1985
05	Club de Yates – Puerto Internacional Tte. José Azueta	Alta	Cercano	21 septiembre 1985
06	Puerto Internacional Tte. José Azueta – Punta Morro Chico	Alta	Cercano	21 septiembre 1985
07	Punta Morro Chico – Playa Condesa	Alta	Cercano	21 septiembre 1985
08	Playa Icacos	Alta	Cercano	21 septiembre 1985
09	Península Las Brisas	Media	Cercano	21 septiembre 1985
10	Playa Pichilingue – Puerto Marqués	Alta	Cercano	21 septiembre 1985
11	Península Diamante	Baja	Cercano	21 septiembre 1985
12	Playa Revolcadero	Alta	Cercano	21 septiembre 1985

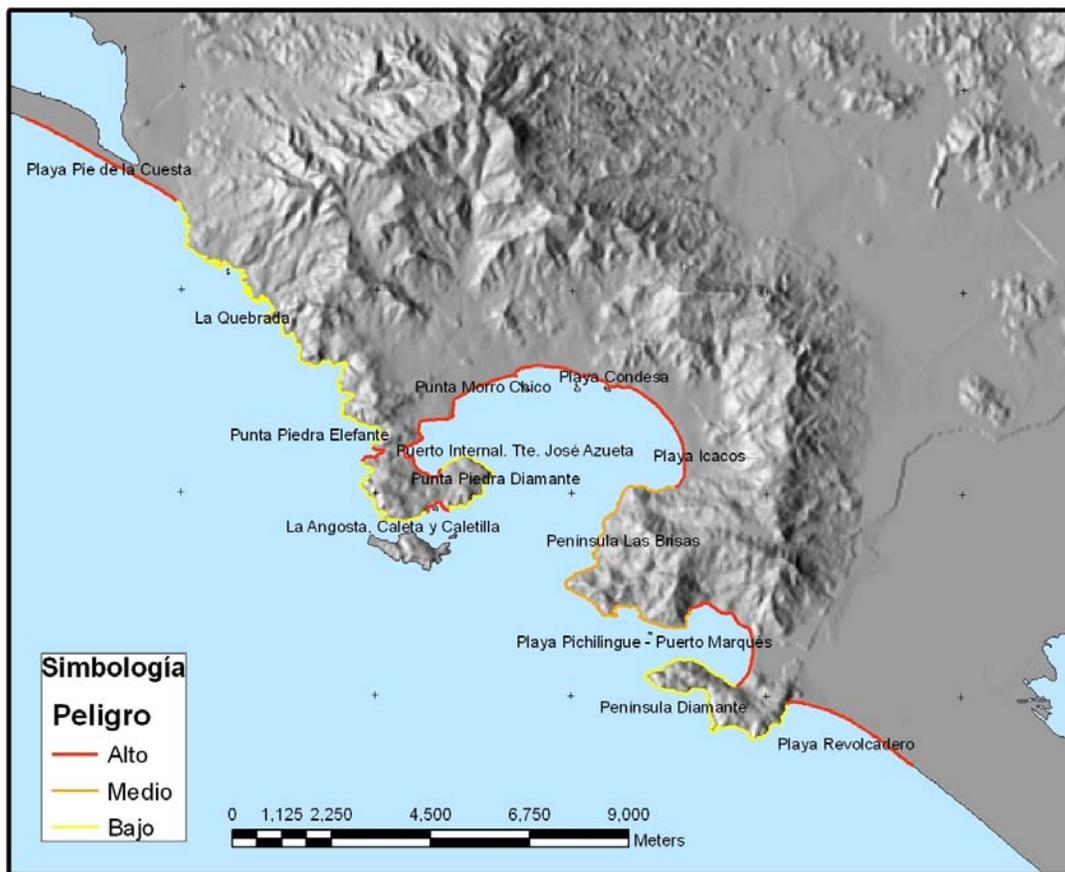


Figura 5.9 Mapa de peligros por tsunami en la zona costera de Acapulco. Nótese las zonas de estudio y la definición de peligro alto para las zonas de las bahías de Acapulco y Puerto Marqués, en rojo

5.3.4.1 Registros históricos de peligros por Tsunamis

El municipio de Acapulco presenta con mucha frecuencia el oleaje de los maremotos, tanto de origen local como regional o lejano; de los peligros por tsunami de origen local cabe mencionar el del sismo generado en la Fosa Mesoamericana frente a las costas de Michoacán, el 19 de septiembre de 1985, tardó sólo 23 minutos para llegar a Acapulco. De entre los originados regionalmente o de origen lejano,

cabe mencionar el relacionado al sismo en la costa de Colombia el 12 de diciembre de 1979 que provocó un maremoto que tardó 4 horas para llegar a Acapulco.

Tabla 5.6 Tiempos de propagación de maremotos transpacíficos desde su origen hasta su arribo a Acapulco

Fecha	Origen	Tiempo de viaje (horas:minutos)
09-03-1957	Islas Aleutianas	10:51
22-05-1960	Chile	09:49
13-10-1963	Islas Kuriles	15:22
28-03-1964	Alaska	09:29
16-05-1968	Japón	16:31
29-11-1975	Hawaii	08:11
14-01-1976	Kermandec	14:02
12-12-1979	Colombia	04:

De acuerdo con su ubicación geográfica, en las costas mexicanas del Océano Pacífico, la vulnerabilidad ante la presencia de tsunamis es de categoría alta, lo que se confirma con los registros históricos, donde aparece como una zona fuertemente afectada, ya que muchos de los sismos fuertes que se originan en la zona, producen olas de mayor tamaño que el normal, las cuales inundan las partes bajas del municipio y pueden ser potencialmente riesgosas. La frecuencia de este fenómeno en el municipio es la más alta del país, ya que de los 119 tsunamis que han afectado las costas mexicanas de 1732 a 1996, tanto de origen lejano como local, han arribado 28 a Acapulco, equivaliendo a más del 23% del total registrado al que se hace referencia.

En caso de que un maremoto azotara las costas del municipio, el puerto y la extensa zona hotelera de la bahía de Acapulco podrían presentar daños considerables, en especial las playas Hornitos, Marquesa e Icacos, así como también los asentamientos situados en los alrededores de la avenida Insurgentes. Cabe mencionar que este fenómeno impactará directamente sobre la actividad económica principal del municipio. Otros registros históricos de tsunamis se tienen a partir de 1950 (tabla 5.7), en particular para la región del municipio de Acapulco, que son un argumento sólido para soportar la interpretación de peligros por tsunamis.

Tabla 5.7 Eventos relevantes en el municipio de Acapulco

Tipo	Fecha	Descripción
Tsunami	1907, abril, 14	Temblor violentísimo, se retiró el mar unos 30m de la playa; 12 horas más tarde volvió embistiendo con una enorme ola, que causó fuertes daños.
	1907, abril, 14 y 15, 23:10 horas	Temblor fuerte que inició a las 23:10 horas y duró 5 minutos con ruidos subterráneos, se retiró el mar y a la media hora volvió con una ola muy violenta que inundó la parte baja del puerto. Siguió una serie de temblores de menor intensidad, hasta la madrugada del 15 de abril.
	1907, abril, 15, 12:30 horas	Penetró el agua hasta el jardín público y la Plaza de Alvarez, ocasionando fuertes pérdidas.
	1909, julio, 30	Sismo regular, se retiró el mar y volvió lentamente a su nivel.
	1909, julio, 30, 4:30 horas	Al mismo tiempo del temblor se retiró el mar unos 50m; volvió a su nivel normal lentamente en el transcurso de muchos días.
	1909, julio, 30, 4:30 horas	Trepidatorio que se inició a las 9:30 horas con fuertes ruidos subterráneos y se retiró el mar unos 50m, volvió lentamente en el transcurso de muchos días a su nivel, destechando casi todas las casas en tiempos de agua, con saldo de 2 niños muertos.
	1909, julio, 31	Se repitió el sismo y se retiró algo el mar. No pudo apreciarse el regreso a su nivel normal.

5.3.4.2 Microzonificación de riesgos por Tsunami

El tema se obtuvo mediante la interpretación analógica de los sensores remotos, tales como las ortofotos, imágenes de satélite, trabajo de campo y el análisis de la batimetría y el cruce con los polígonos de las áreas geostadísticas básicas del censo del año 2000 (AGEB), así como las calles de la zona urbana del año 2003. El nivel de microzonificación de riesgos por tsunami, está definido por polígonos, los cuales representan la zonificación del riesgo, con los atributos de la sección o porción de la costa de estudio, intensidad de riesgo, nombre de la costa y tipo de riesgo; los índices obtenidos del 1 al 3 se relacionan con los tipos de riesgo alto, medio y bajo, y la clase en mitigable y no mitigable.

La microzonificación muestra que las zonas de las playas Hornos, Hornitos, Caleta e Icacos tienen una zonificación de riesgo alto, con una extensión de 50 metros a partir de la línea de costa y dentro de la zona de playa. En Hornitos e Icacos, la extensión de las zonas de riesgo bajo se extienden 320 metros adentro de la zona de playa. De igual manera se ha sobrepuesto a las ortofotos digitales que tienen una buena definición de los detalles de calles, manzanas y predios; en estas dos zonas se ha determinado en estado mitigable si se realizan obras de muros de contención, bloques de concreto o postes de hormigón, programas de capacitación de riesgos por huracanes y en medida de lo posible, la reubicación de pequeños comercios. Por otro lado se propone que se tomen acciones de divulgación de riesgo por tsunami en la población y sobretodo a la industria hotelera.

La microzonificación se ha sobrepuesto a los límites de los polígonos de AGEB para determinar aquéllos que se encuentran afectados por riesgo de tsunami. El resultado se muestra en la siguiente tabla para hacer más sencilla la descripción; del total de los 349 AGEB de la zona urbana de Acapulco, el 7% presenta riesgo por tsunami y el 93% no presenta ningún riesgo.

Tabla 5.8 Microzonificación por AGEB del 2000 que presentan riesgo por tsunami

AGEB	Porcentaje de área afectada	Tipo de riesgo
092-2	70	Alto – Medio – Bajo
143-7	10	Bajo
418-3	30	Bajo
218-7	10	Alto – Medio – Bajo
225-7	1	Alto
225-7	3	Alto – Medio – Bajo
009-1	1	Alto – Medio – Bajo
275-5	0.5	Alto
286-3	4	Alto – Medio – Bajo
049-6	1	Alto – Bajo
289-7	1	Alto – Medio – Bajo
290-A	11	Alto – Medio – Bajo
286-3	8	Alto – Medio – Bajo
283-A	16	Alto – Medio – Bajo
127-8	45	Alto – Medio – Bajo
129-7	27	Alto – Medio – Bajo
040-5	15	Alto – Medio – Bajo
287-8	25	Alto – Medio – Bajo
051-3	30	Alto – Medio – Bajo
052-8	1	Alto
353-7	4	Alto – Medio
354-1	75	Alto – Medio – Bajo
161-5	2	Alto
162-A	10	Alto – Medio – Bajo
494-4	18	Alto – Medio – Bajo
500-1	30	Alto – Medio – Bajo

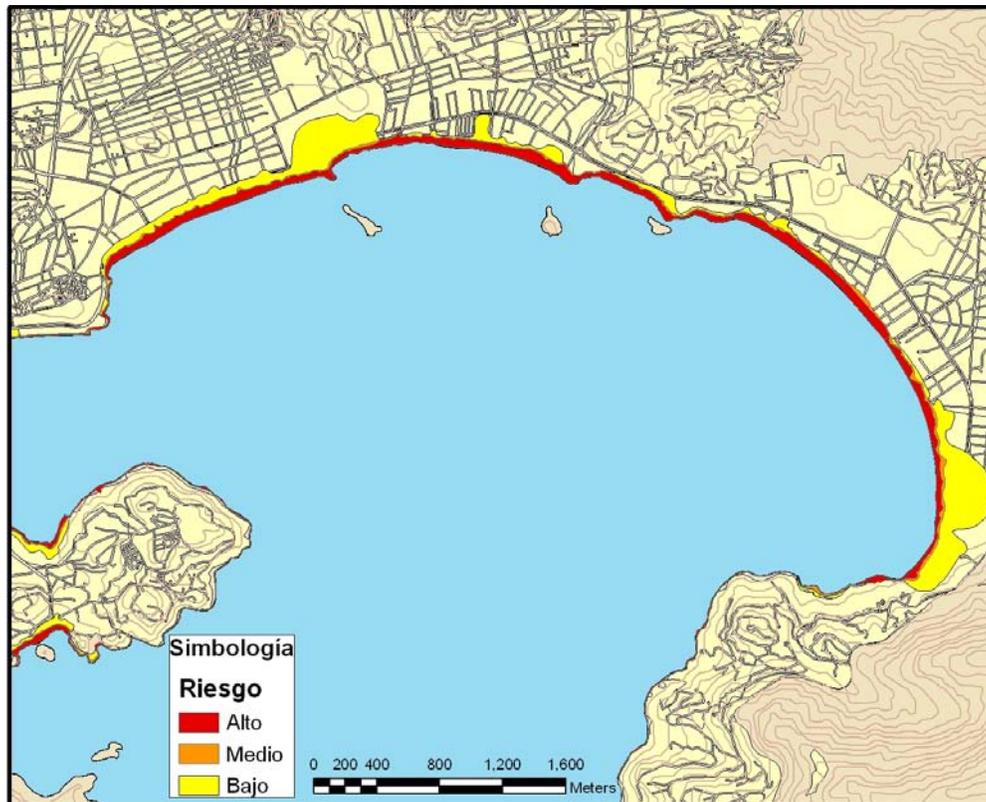


Figura 5.10 Microzonificación de riesgo por tsunami. En rojo, zonificación de riesgo alto, en naranja el riesgo medio y en amarillo el bajo

5.4 Riesgos Hidrometeorológicos

5.4.1 Riesgos por Inundación

Las inundaciones son una de las catástrofes que producen mayor número de víctimas a nivel mundial; las causas principales de estos fenómenos son: exceso de precipitación y falta de infiltración, no pudiendo almacenar tal cantidad de agua, escurriendo por la superficie y subiendo el nivel de los ríos, causando desbordamientos; rotura de presas, cuando se rompen, toda el agua almacenada es liberada bruscamente y se forman grandes inundaciones; actividades humanas que favorecen los efectos de las inundaciones, como sucede al asfaltar cada vez una mayor superficie del terreno, lo que impide que el suelo absorba el agua de lluvia y favorece que llegue a los cauces de los ríos a través de desagües y cunetas; también se debe a la tala de bosques y los cultivos que desnudan al suelo de su cobertura vegetal, por lo que llegan a los ríos grandes cantidades de materiales en suspensión que incrementan los efectos de la inundación.

Hacia el norte de la bahía de Acapulco, el parteaguas tiene una elevación máxima de 900msnm al norte, disminuyendo hacia el sur con 500 msnm, por lo que la distancia horizontal a la línea de la costa es de 4,500m. De lo anterior se ha determinado que la pendiente media de la cuenca es de 20%, con lo que se tiene una respuesta rápida a la precipitación, es decir, los escurrimientos llegan a las partes bajas en menos de una hora después de iniciada la tormenta.

De acuerdo al análisis de la información de desastres históricos, se han detectado zonas que han sido afectadas por precipitaciones torrenciales; un ejemplo son las zonas que hoy ocupan la colonia el Terrero, donde la morfología muestra un depósito grueso de material proluvial, cerca de un cauce amplio que en el pasado inmediato ha mostrado huellas de desbordamiento. En la ciudad de Acapulco se tienen identificados sitios con graves problemas de inundación pluvial, sobretodo hacia la parte oriental de la misma; otra área identificada es la zona ubicada entre La Zanja y Laguna Negra. Ambas zonas tienen una topografía plana y presentan dificultad de drenar aguas excedentes por los estrangulamientos de los cauces naturales así como puentes y drenajes para obras de equipamiento. Así mismo, la zona hotelera, situada a lo largo de la bahía de Acapulco, es vulnerable a inundaciones, lo que afectaría al eje de la actividad económica de la localidad y por tanto al municipio en general.

Las precipitaciones anuales promedio en Acapulco son del orden de los 1,403 mm, alcanzando su máximo nivel en el mes de septiembre con 389.2 mm. Cuando la precipitación supera la capacidad de absorción del suelo, puede dar origen a las inundaciones, deslaves, desbordamiento de ríos, presas, entre otros, como ocurrió al paso del huracán Paulina en 1998. En la Figura 5.11 se presentan las áreas en color azul, que corresponden a las zonas de inundación de acuerdo a los registros históricos de desastres en la zona de Acapulco; en amarillo claro se muestra el crecimiento urbano del año 1993 y en naranja el crecimiento para 2003.

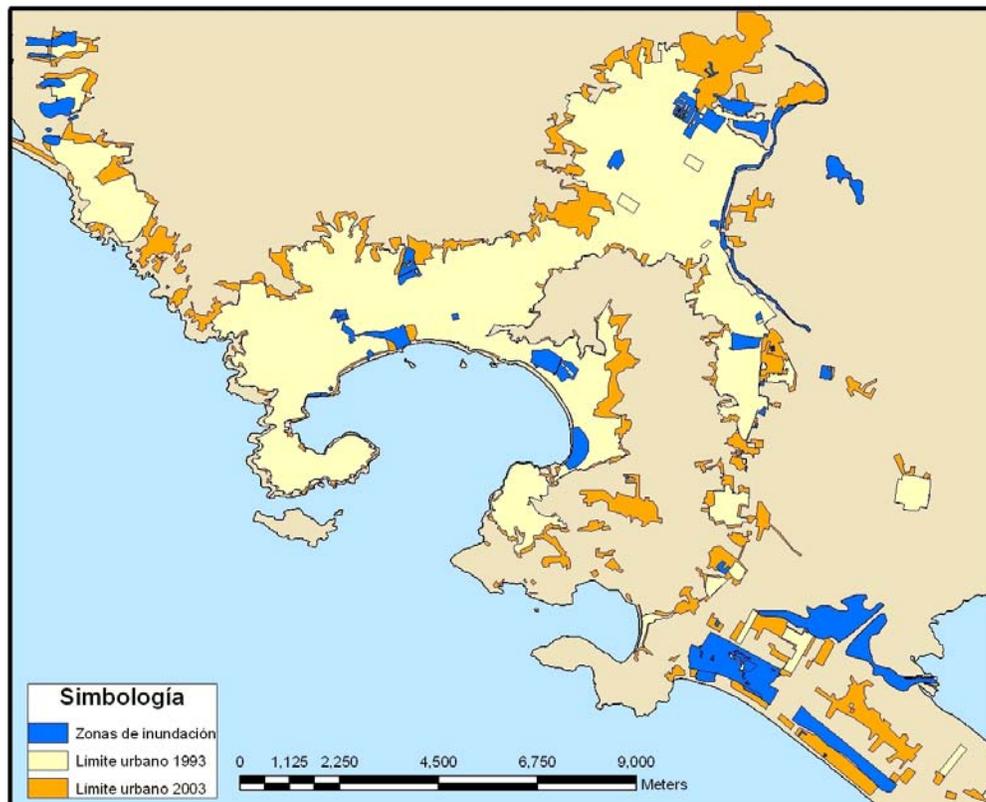


Figura 5.11 Mapa de zonas de peligro por inundación

El tema de peligros por inundación se construyó a partir de los registros históricos proporcionados por la unidad de Protección Civil del Gobierno del Estado de Guerrero, y comprende 62 grandes áreas o polígonos a los que se les ha agregado el atributo de peligro de zona inundable. En la región de Pie de la Cuesta se localizan 8 regiones con peligro por inundación entre las localidades del Pedregoso, San Isidro y

Pie de la Cuesta en su parte norte. Durante la época de lluvias y en periodos extraordinarios de lluvia, los ríos y arroyos de las laderas de barrancas y cañadas, conducen grandes cantidades de agua, la cual se acumula antes de la zona de playa, porque en esta región se encuentra la zona de equilibrio hidrológico de acuíferos subterráneos.

En la parte urbana central del municipio de Acapulco se localizan 15 grandes áreas de peligros por inundación que se localizan principalmente en las zonas de Puerto Internacional, Parque Papagayo, Universidad Autónoma del Estado de Guerrero, campo de golf y Puerto Base Naval de Icacos. Hacia el noreste de la zona urbana se encuentra otra zona con peligros por inundación; comprende 10 grandes áreas que se ubican principalmente en la zona de la subestación eléctrica El Quemado. Al oriente y sureste de la zona urbana, durante la época de lluvias, los arroyos intermitentes definen zonas de peligro por inundación debido a la falta de vegetación natural, la erosión antropogénica y la falta de drenaje y pavimentación del corredor urbano. Hacia el sur de Puerto Marqués y rumbo al Aeropuerto Internacional se encuentran 10 grandes zonas de peligro por inundación, las principales afectan a las colonias Luis Donald Colosio, Laguna Negra, Revolcadero y Costera de las Palmas.

5.4.1.1 Microzonificación de riesgo por Inundación

Con base en el uso del modelo digital de elevación, la cobertura de vegetación, el mapa de litología, el análisis de pendientes, red de drenaje de ríos y arroyos, así como el trabajo de campo, se obtuvo el tema de microzonificación de riesgo por inundación. Hacia el noroeste de la zona urbana se ubica una zona de inundación importante que afecta a las localidades de El Conchero y Coyuca, en un rango de riesgo alto; a las localidades de Cerrito de Oro, La Pochota, San Isidro y Pie de la Cuesta, en un riesgo bajo; y en la parte de la bahía de Acapulco se localizan zonas importantes de riesgo medio que afectan las colonias de Santa Cruz, Universidad Autónoma, Constituyentes, Hornitos, Costera Miguel Alemán y los fraccionamientos las Cumbres Costa Azul y Base Naval. Otra zona de riesgo alto se encuentra entre el Parque Papagayos y la Playa Hornos; en estas últimas zonas también se han considerado los cauces entubados proporcionados por Protección Civil, de tal manera que uno de los factores que contribuyen a definir estas zonas de inundación es el entubamiento de cauces naturales.

Una propuesta de mitigación podría ser la construcción de nuevas obras de entubamiento y drenaje de estas zonas urbanas que han rebasado su capacidad; también podrían proponerse planes y programas de capacitación de la población para evitar el asolve por basura arrojada a la vía pública. Otra zona importante se localiza entre la localidad de los órganos de San Agustín, la Venta, Tuncingo, la Sabana, Tres Palos y Laguna Negra; esta región comprende microzonificación principalmente media y alta. Dentro de la zonificación de riesgo alto, se encuentran las localidades los Organos, la Venta, la Frontera, 5 de mayo, Tuncingo, la Sabana, Luis Donald Colosio y Laguna Negra; estas colonias y fraccionamientos se encuentran dentro de la zona de influencia natural del cauce del río la Sabana; es una zona de riesgo no mitigable, por lo que estas zonas están ubicadas en zonas de alto riesgo.

Las localidades de la Venta, Colonia Industrial, El Quemado, López Portillo, El Paraíso, Ciudad Renacimiento, las Cruces, Cinco de mayo, La Máquina, Mariano Molina, Callacos, Tuncingo, Piedra Roja, Amate, Coloso, Solidaridad, Navidad de Llano Largo, Miramar, Puerto Marqués, se ubican entre las zonas de riesgo medio. Esta zona corresponde a la planicie de inundación natural y terrazas aluviales antiguas del río la Sabana, por lo que aún tratándose de una zona de riesgo medio ha sido clasificada como zona no mitigable.

Las localidades de Alta Sinaí, El Quemado, El Paraíso, Las Cruces, la Mica, la Testaruda, Mariano Molina, el Salto Tres Palos, Nicolás Bravo, Diez de abril, San Pedro, las Playas, la Zanja, Costera de las Palmas, Guerrero 2000, el parque ecológico Viveristas, el Caracol y Juan Álvarez, se localizan dentro de la zona fluvial lacustre del río la Sabana, la Laguna Tres Palos y las playas Revolcadero y Aeromar; la microzonificación de riesgo bajo está definida como riesgo mitigable porque se trata en gran medida de terrenos permeables de fase física areno-limosa y de usos de agricultura de riesgo temporal. Con base en la microzonificación de riesgo por inundación se determinó que la zona oriente es la que presenta mayor riesgo por inundación, ya que por esta zona corre el cauce del río La Sabana, que es el más grande en extensión. En la Figura 5.12 se presenta la zonificación de riesgos por inundación, incluyendo el límite urbano; el riesgo más alto se encuentra en la parte oriental de la zona urbana, siendo el cauce del río Sabana, junto con su planicie de inundación en la zona de riesgo medio.

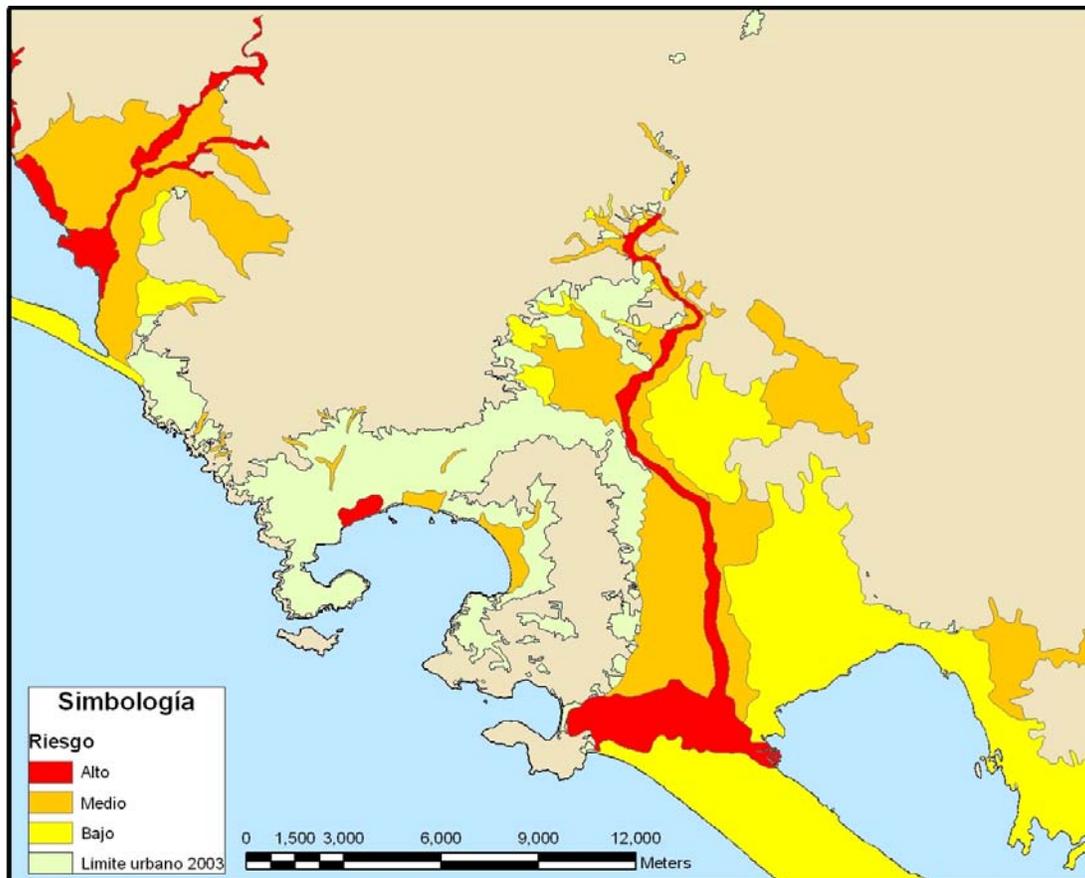


Figura 5.12 Mapa de microzonificación de riesgos por inundación

5.4.2 Peligros por Huracanes

El huracán es un tipo de ciclón tropical, término que se usa para cualquier fenómeno meteorológico que tiene vientos en forma de espiral y que se desplaza sobre la superficie terrestre; generalmente corresponde a un centro de baja presión atmosférica y de temperatura más alta que la que hay alrededor. Tiene una circulación cerrada alrededor de un punto central; los ciclones tropicales se clasifican de acuerdo a la velocidad de sus vientos en: depresión tropical (menos de 65 km/h), tormenta tropical (de 65 a 110 km/h) y huracán (más de 110 km/h) (Tabla 5.9).

Tabla 5.9 Escala de Huracanes Saffir-Simpson

Número en la Escala (Categoría)	Vientos Sostenidos (mph)	Daños	Marejadas
1	74-95	Mínimos: Casa móviles sin fijar, vegetación y rótulos.	1.22-1.52 m
2	96-110	Moderados: Todas las casas móviles, techos, embarcaciones pequeñas, inundaciones.	1.83-2.44 m
3	111-130	Extensos: Edificios pequeños, carreteras a bajo nivel arrasadas por el agua.	2.74-3.66 m
4	131-155	Extremos: Techos destruidos, árboles caídos, calles arrasadas por el agua, casas móviles destruidas, casas de playa inundadas.	3.96-5.49 m
5	>155	Catastróficos: La mayoría de los edificios destruidos, vegetación destruida, carreteras principales bajo el agua, hogares inundados.	>5.49 m

Los huracanes pueden producir lluvias torrenciales extensas y las inundaciones son el resultado de éstas; las lluvias excesivas también pueden provocar derrumbes de tierra o corrimientos de lodo, especialmente en las regiones montañosas. Las inundaciones repentinas pueden ocurrir debido a la intensa precipitación de lluvia; las inundaciones de ríos y arroyos pueden persistir por varios días o más después de la tormenta. La velocidad de la tormenta y las características del terreno que se encuentra bajo la tormenta son los principales factores con respecto a la cantidad de lluvia producida; las tormentas que se desplazan lentamente y las tormentas tropicales que se mueven hacia regiones montañosas, tienden a producir más lluvia.

El tema de peligros por huracanes se basa en los registros históricos de desastres naturales por los fenómenos hidrometeorológicos de huracanes y ciclones. En especial para la zona urbana de Acapulco se consideró la trayectoria del huracán Paulina ocurrido en 1998; esta trayectoria siguió su paso de SE a NW en la parte norte de la zona urbana de Acapulco. La trayectoria de este fenómeno causó diversos tipos de daños, que en su conjunto afectaron toda la zona urbana.

Según cifras históricas de ciclones tropicales que penetraron en territorio nacional por el Pacífico en el periodo de 1949 a 1996, en el estado de Guerrero, se tienen registrados 28 eventos de los cuales el más intenso fue Madeline, de categoría 4, afectando seriamente la costa del estado de Guerrero y afectó a toda la ciudad de Acapulco. De acuerdo al análisis hecho para el periodo de 1960 a 1998, la región de Acapulco tiene la presencia de varios ciclones que han impactado directamente en el área del municipio de Acapulco (tabla 5.10).

Tabla 5.10 sistemas ciclónicos que han influenciado la región de Acapulco entre 1960 y 1998

Sistema	Categoría	Vientos (km/h)	Día	Mes	Año
Madeline	Huracán 4	231	8	10	1976
Andrés	Huracán 1	148	4	6	1979
Cosme	Tormenta Tropical	40	22	6	1989
Boris	Huracán 1	120	29	6	1996
Douglas	Huracán 2	167	31	7	1996
Pauline	Huracán 4	139	9	10	1997
Lester	Huracán 2	157	19	10	1998

En el análisis de las trayectorias de los ciclones entre 1960 y 1998 se observa que 12 han sido los sistemas que han tenido mayor influencia en esta zona, 4 de ellos han impactado directamente y entraron a tierra en esta zona; de éstos uno alcanzó la categoría 2, uno la categoría 1 y dos de tormenta tropical. Otros sistemas ciclónicos también tuvieron influencia en la zona aún cuando no entraron directamente a tierra en la bahía de Acapulco.

En el periodo analizado han sido 8 los que han afectado el área; el mes más frecuente para la presencia de estos eventos ha sido junio (4), seguido de mayo (2), julio (2) y octubre (2). Algunos ciclones que han entrado a tierra en la zona de Acapulco han alcanzado la categoría 4, como en el caso de Pauline, con vientos de más de 130km/h. La falta de condiciones y características constructivas y de funcionamiento de la infraestructura que proporcione mayor resistencia a los efectos del huracán, especialmente del sistema de energía eléctrica, ya que las torres y las líneas aéreas de conducción de energía eléctrica son las más vulnerables ante un huracán. El registro histórico demuestra el peligro por huracanes que se presenta en la región del municipio de Acapulco. En la Figura 5.13 se presenta el mapa de peligro por el huracán Paulina; la línea azul muestra la trayectoria aproximada de su paso por la parte continental en 1998, y su proximidad con la zona urbana de Acapulco.

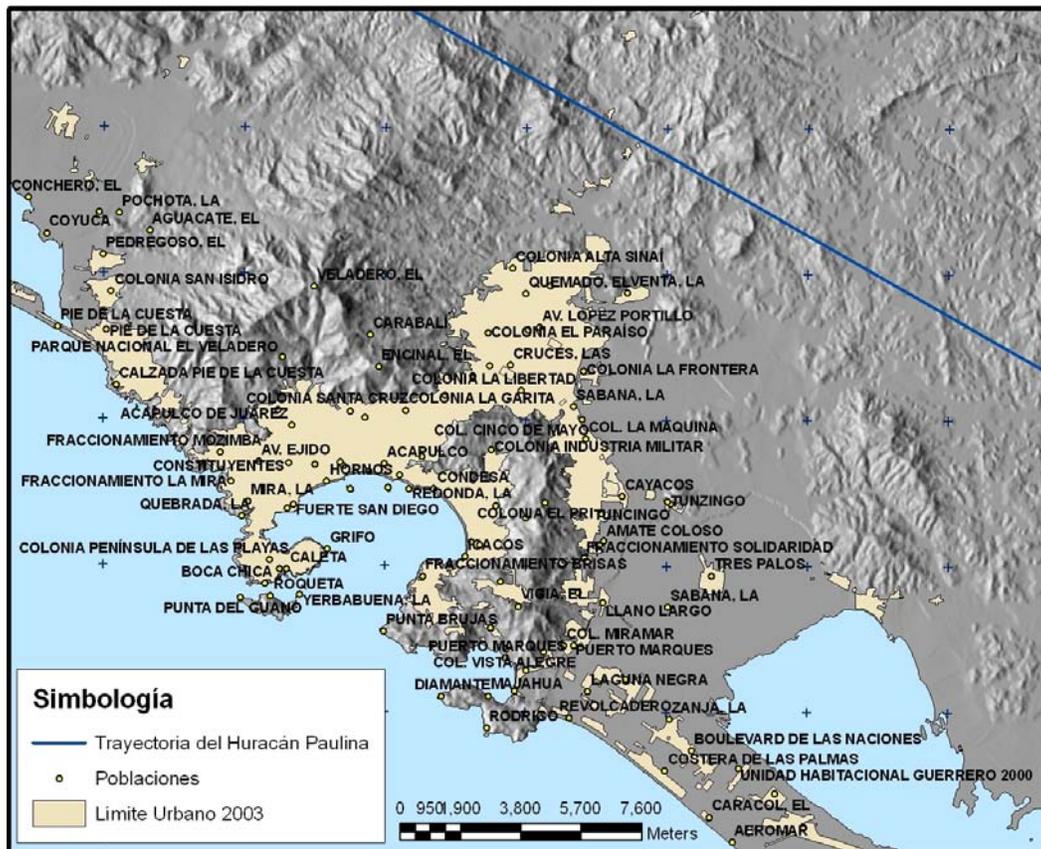


Figura 5.13 Mapa de peligros por la presencia de fenómenos de huracanes como el Paulina

5.4.2.1 Microzonificación de riesgo por Huracanes

El tema de la microzonificación se obtuvo del análisis de la información disponible de los desastres históricos ocurridos en la zona urbana de la consideración de las líneas de trazo aproximado de los centros de huracanes disponibles por el CENAPRED. De este análisis se determinaron dos grandes regiones: la región continental considerada como riesgo alto mitigable, y la región media considerada como de riesgo medio y no mitigable. La consideración de la zona de riesgo algo mitigable es propuesta así, si se consideran planes y programas de sensibilización y ayuda a la población en caso de desastres por huracanes, así como las ayudas técnicas, asesorías y apoyos económicos para mejora o ampliación de viviendas construidas con materiales rústicos, adobe, paja, tela, madera y sin cimentación.

La microzonificación de huracanes se realizó mediante la interpretación analógica de imágenes de satélite, ortofotos, así como trabajos de campo, para el desarrollo de este nivel fue importante considerar datos históricos, para determinar las zonas de influencia con el análisis de esta información se dividió en dos zonas, la mitigable y la no mitigable, y obteniéndose también los índices de riesgos, con un rango de alto a medio. El nivel de huracanes, representado en formato digital por una línea, la cual representa la ruta por donde pasan los huracanes, dicho nivel cuenta con una base de datos, como son la presión y la velocidad, así como los daños.

La Figura 5.14 muestra la zonificación de riesgo por huracanes, resaltando la zonificación alta y mitigable en color rojo, en la parte continental, y la zonificación de nivel medio y no mitigable en amarillo, en la parte marítima y en la laguna litoral de Tres Palos. Cabe mencionar que en la porción marítima existe un riesgo para las embarcaciones que bajo diversas circunstancias pueden encontrarse en muelles, marinas, anclados, etc., junto al litoral, o que transiten por ahí, de manera circunstancial, buques, yates y otras embarcaciones, durante el embate de un ciclón tropical.

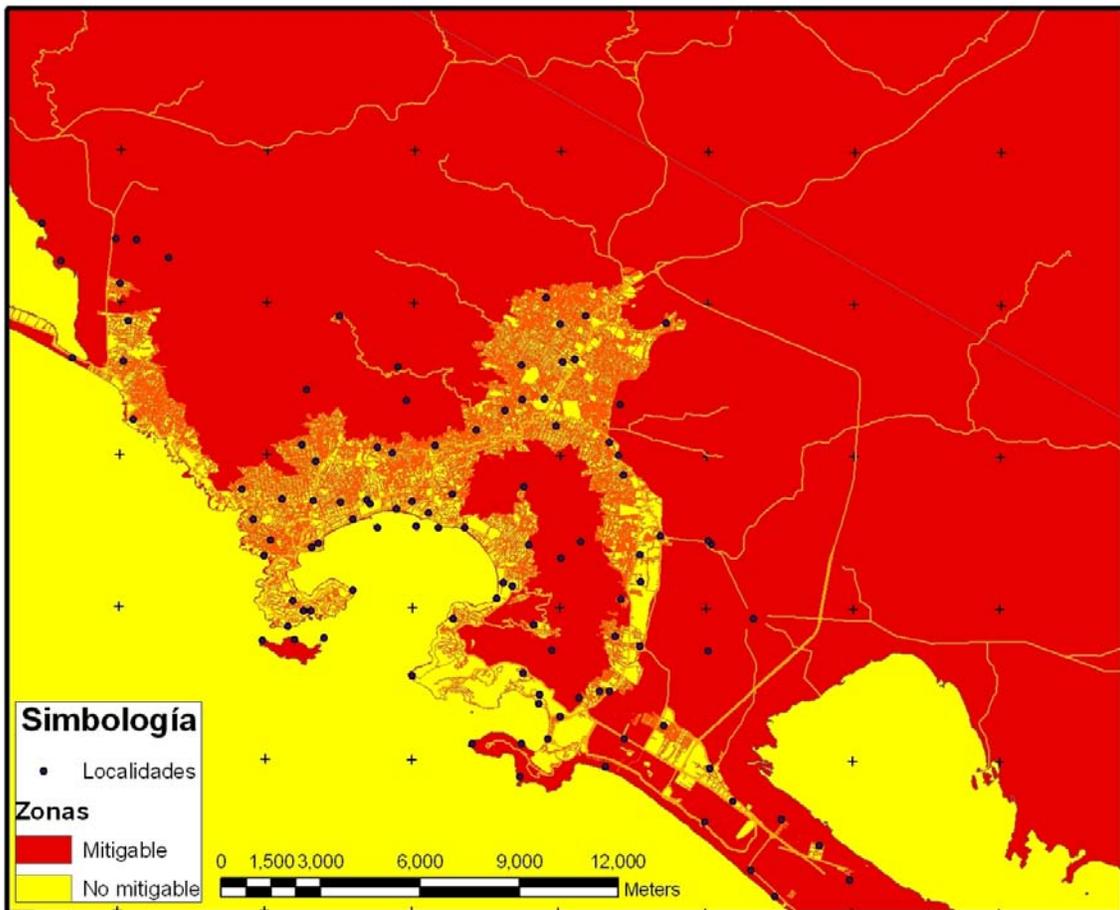


Figura 5.14 Microzonificación de riesgo por huracanes

CAPÍTULO VI
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los Sistemas de Información Geográfica son herramientas cada vez más utilizadas y adoptadas en el mundo actual debido a la evolución que han tenido en las últimas décadas, a su capacidad para almacenar y procesar gran cantidad de datos, así como la oportunidad que le proporcionan al usuario de dinamizar y procesar datos. Constituyen una tecnología que permite la actualización y la integración de información nueva a bases de datos previamente creadas.

En muchos de los casos, y en particular el que se trata en este documento, los SIGs se han utilizado extensivamente en la prevención de desastres, en este caso, en la Protección Civil de México, usándolos como herramientas para hacer análisis científicos y diagnósticos de riesgos, tomando como base los estudios existentes de peligros y amenazas, así como fuentes bibliográficas tales como los mapas, los registros históricos de desastres y las estadísticas de diversos tipos.

Aunque existen programas diversos para la percepción y prevención del riesgo, tales como el Programa Hábitat y el Plan Nacional de Desarrollo, ninguno ha desarrollado por completo el concepto amplio y preciso de la prevención, ya que el objetivo de éstos se inclina más hacia políticas de desarrollo social y no a las de protección civil. Por este motivo los análisis de riesgo se han desarrollado de modo incipiente y de una manera poco adecuada.

Una parte importante a considerar, es el uso de los SIGs no sólo para la prevención de desastres, sino para la mitigación respectiva. El uso de esta herramienta tecnológica permite analizar los posibles riesgos de tal modo que se puede eliminar o reducir lo más posible el grado de riesgo en todos los ámbitos de la vida humana; sin embargo, como todos los sistemas y programas existentes en el mercado, los SIGs aún tienen fallas, dificultades y deficiencias de tal modo que su rendimiento no es el óptimo y no cumplen por completo con la tarea de mitigar los riesgos que se analizan constantemente.

Esto último es un factor para que exista desconfianza al momento de utilizar los SIGs, así como es un factor para que su uso no se haya extendido en México del mismo modo que en otros países, en donde han podido reducir las fallas para obtener un mejor rendimiento de éstos, mediante su uso adecuado y constante. Es importante que en el país se extienda el uso de estos sistemas para minimizar los errores y para aumentar el número de personas capacitadas para su uso y para que la comprensión de los resultados y análisis obtenidos sea más sencilla y rápida.

El uso más importante que se ha pretendido dar a los SIGs, es el de la elaboración de atlas de riesgos, al emplear estos sistemas para dar forma a la base cartográfica de los proyectos, en aspectos como la escala, la simbología, las cartas temáticas, imágenes de satélite, entre otros. Sin embargo, su uso más importante reside en el marco de peligro, vulnerabilidad y riesgo, donde se clasifican los diversos fenómenos en geológicos, hidrometeorológicos y químicos, para tener una mejor visión de los riesgos a los que está expuesto el país, para así lograr la prevención de un desastre.

Sin embargo, aunque haya un modo de cuantificar el daño producido por cualquier fenómeno, es muy difícil procesar este tipo de información para convertirla en datos de carácter preventivo, ya que los fenómenos naturales varían mucho, al igual que las poblaciones y la infraestructura. Es por esto que los SIGs pueden crear escenarios de riesgos con información basada en eventos pasados, pero es más complicado realizar escenarios de este tipo con eventos proyectados a futuro. Esto implica que un mejor manejo, práctica, comprensión y análisis de los fenómenos naturales a través de los SIGs, logrará que el margen de error existente se reduzca hasta que los mapas y datos con los que se realicen sean confiables y la información esté basada en la realidad, reduciendo así el riesgo de desastre en todo el país.

Con base en la revisión bibliográfica para elaborar este trabajo, se infiere que en México no existe la información necesaria para realizar un atlas de riesgos completo, pues el uso de SIGs en el país es muy reciente y se ha desarrollado de un modo desigual en los estados y en las dependencias del gobierno, por lo cual la realización de este tipo de atlas es más difícil y tarda más tiempo en elaborarse. La información de estos atlas debe de procesarse continuamente y estar actualizada todo el tiempo, por lo que este aspecto es vital para tener un atlas que corresponda con la realidad en México, así como para darle el mejor uso posible para la prevención de desastres en el país.

Para lograr un funcionamiento óptimo de los SIGs, es pertinente que se conozcan de manera adecuada cuales son los principios de diseño de estos sistemas y todos los elementos que los conforman, así como las bases de datos, indispensables para obtener la información necesaria para crear y organizar las distintas capas cartográficas que darán como resultado un mapa o una imagen. Existen, a su vez, mapas base (topográficos, altimétricos, hidrológicos, etc.) para construir proyectos a partir de ellos. También se pueden elaborar mapas y proyectos a partir de otras herramientas como son las imágenes de satélite, las ortofotos y los modelos digitales del terreno.

Con estos elementos se pueden realizar estudios muy diversos y análisis cartográficos al usar como herramienta los SIGs, aunque el proceso para obtener la información es complejo y requiere de ciertos conocimientos de cómputo, de ingeniería y geográficos para tener resultados óptimos, ya que en muchos casos se han encontrado fallas y errores humanos, más que de los sistemas en sí.

Las ventajas de emplear estos sistemas son muchas, por ejemplo, el dinamismo de los datos, porque si algún dato o variable cambia con el transcurso del tiempo o por otra razón, el SIG permite cambiar y actualizar ese dato; en contraste, una carta o documento impreso tendría que imprimirse otra vez para integrar el dato nuevo. Con los SIGs este proceso se puede hacer todas las veces que sea necesario, no hay un límite y es por eso que la información procesada con estos sistemas cambia constantemente y se mantiene actualizada.

Desde el punto de vista geográfico, los SIGs han sido herramientas poco utilizadas para cartografiar y analizar los diversos fenómenos naturales que inciden en el país. En el caso de la carrera de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México, los SIGs no han sido difundidos ni integrados al programa de enseñanza actual. Por estos motivos, los estudiantes egresados se ven en la necesidad de buscar distintos cursos externos para aprender su utilización, o incluso tienen que aprender a usarlos al mismo tiempo que ejercen su profesión, lo cual dificulta su ejercicio profesional.

Teóricamente, los geógrafos deberían ser los principales usuarios de estos sistemas, ya que son herramientas útiles para facilitar los análisis espaciales y cartográficos que se hacen en el ámbito del conocimiento geográfico, además de que permiten crear bases de datos y traducir esa información en un mapa, de cualquier tipo de fenómeno, de un lugar y tiempo determinados. Además tienen como una gran ventaja, la facilidad para la actualización de estos datos y para agregar nuevos con el tiempo, así como su relación con otros datos de algún otro lugar o de otra época.

Es muy importante que los SIGs sean incluidos en la enseñanza y en el ámbito profesional de los geógrafos e incluso en los planes de estudio de otras carreras, ya que su uso irá en aumento conforme se cubra cada vez más la necesidad de información veraz y actualizada del mundo. Se considera que mediante su uso constante se podrán corregir las fallas y los errores que presenten, de esta manera se facilitará el acceso a la información y a estos sistemas. Por ello se puede afirmar que es necesario y urgente el establecimiento de cursos inherentes a la enseñanza de los SIG, de diversos tipos y niveles, técnicos o profesionales, para formar usuarios calificados para procesar los datos recabados con estas útiles herramientas.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

Libros:

- Amdahl, Gary. (2001). *Disaster response: GIS for public safety*. Estados Unidos de América: ESRI Press.
- Arctur, David y Zeiler, Michael. (2004). *Designing Geodatabases. Case Studies in GIS Data Modeling*. Estados Unidos de América: ESRI Press.
- Backhoff Pohls, Miguel Angel. (2005). *Transporte y espacio geográfico. Una aproximación geoinformática*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras.
- Bocado Martínez, Oswaldo. (2006). *Tesis: ANRMAP: Visualizador de Información Geográfica con datos de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo en la República Mexicana*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
- CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (CENAPRED) – SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN (SEGOB). (2001). *Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México. Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana*. México: CENAPRED – SEGOB.
- CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (CENAPRED). (2006). *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social*. México: CENAPRED: Serie Atlas Nacional de Riesgos.
- CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (CENAPRED). (2006). *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Conceptos Básicos sobre Peligros, Riesgos y su Representación Geográfica*. México: CENAPRED: Serie Atlas Nacional de Riesgos.
- SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL (SEDESOL). (2004). *Guía Metodológica para la elaboración de Atlas de Peligros Naturales a Nivel de Ciudad. Identificación y Zonificación*. México: SEDESOL, Programa Hábitat.
- SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL (SEDESOL). (2004). *Guía Metodológica. Ejemplo de Aplicación. Acapulco, Gro. Atlas de Peligros Naturales de la Ciudad. Identificación y Zonificación. Texto*. México: SEDESOL, Programa Hábitat.
- SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL (SEDESOL). (2004). *Guía Metodológica. Ejemplo de Aplicación. Acapulco, Gro. Atlas de Peligros Naturales de la Ciudad. Identificación y Zonificación. Anexo Cartográfico*. México: SEDESOL, Programa Hábitat.
- Longley, Paul A. (2001). *Geographic Information Systems and Science*. London, U.K.: John Wiley & Sons.

- Longley, Paul y otros. (1999). *Geographical Information Systems Volume 1: Principles and Technical Issues*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Longley, Paul y otros. (1999). *Geographical Information Systems Volume 2: Management Issues and Applications*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Monmonier, Mark. (1997). *Cartographies of danger: mapping hazards in America*. Chicago: University of Chicago.
- Negrete Salas, María Eugenia y otros. (2003). *Entre fenómenos físicos y humanos*. México: El Colegio de México.
- Ramos Padilla, Violeta. (2004). *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos*. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- Torres Palomino, Lucrecia y Zepeda Ramos, Oscar. (2007). *Análisis de fotografía aérea para la evaluación de daños a la vivienda para los municipios de Felipe Carrillo Puerto, José María Morelos y Othon Blanco, Quintana Roo*. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- Wade, Tasha y Sommer Shelly. (2006). *A to Z GIS. An illustrated dictionary of geographic information systems*. Redlands, California: ESRI Press.

Páginas Web:

- NASA *The remote sensing tutorial*: <http://rst.gsfc.nasa.gov/start.html>
- VV.AA. *The remote sensing Core curriculum*: <http://research.umbc.edu/tbenja1/umbc7/>
- ¿Qué es un Sistema de Información Geográfica?: <http://www.alcornocales.org/sig/que.html>
- Generalidades del SIG: www.geotecnologias.com/Documentos/GIS.pdf
- Sistema de Información Geográfica: jemarinoi.googlepages.com/SIG.ppt
- Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012: www.presidencia.gob.mx
- Monografías. Sistemas de Información Geográfica: www.monografias.com
- Historia de la Protección Civil: es.wikipedia.org/wiki/Protección_civil
- Secretaría de Desarrollo Social (Programa Hábitat): www.sedesol.gob.mx/
- Sistemas de Información Geográfica (SIG): <http://www.elprisma.com/apuntes/curso.asp?id=3790>
- Cartografía Digital. Introducción a los Sistemas de Información Geográfica: http://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node14_tf.html

-
- Scripta Nova, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona. Sistemas de Información Geográfica y Redistribución Electoral: su impacto en México: www.ub.es/geocrit/sn/sn-170-63.htm
 - Wikipedia (Sistemas de Información Geográfica): http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_Informaci3n_Geogr3fica
 - Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificaci3n para el Desarrollo Regional Integrado. Capítulo 5. Sistemas de informaci3n geogr3fica en el manejo de peligros naturales: <http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea65s/ch10.htm>
 - Navegando entre Brumas: www.desenredando.org/public/libros/1998/neb/neb_cap10-MAP_nov-09-2002.pdf
 - Comisi3n Nacional Forestal: www.conafor.gob.mx/

Cartografía:

Los mapas presentados en este documento fueron elaborados utilizando **ARCGIS 9.3** con datos obtenidos por el **Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)** y el **Servicio Geológico Mexicano**.