



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y
GEOMÁTICA

TESIS:

“FACTORES DE RIESGO A CONSIDERAR EN LAS
OBRAS DE INGENIERÍA CIVIL”

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA CIVIL

PRESENTA:

CAROLINE RODRÍGUEZ ZAVALA

DIRECTOR DE TESIS: M. EN I. HUGO S. HAAS MORA

MÉXICO D.F. 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecerles a mis padres, que creyeron en mi, y por todo el cariño, apoyo y esfuerzo que he recibido de ustedes, mis hermanos por todas las adversidades que hemos pasado, por todos los alegres, tristes y momentos que hemos superado a lo largo de nuestras vidas. También a aquellas cinco personitas que son el alma, el vivir, el reír para toda ésta familia.

También dedico este trabajo a mis amig@s, por todos estos años que hemos convivido, por compartir las alegrías, tristezas, éxitos y fracasos; por estar conmigo en los buenos y en los malos momentos y por su amistad que es uno de mis tesoros.

A la Universidad, mi alma mater, a mis maestros que me brindaron las enseñanzas a lo largo de estos años y los principios de un profesionista.

Por último a todos aquellos seres que por alguna razón ya no están con conmigo y que siempre estarán en mis recuerdos y en mi corazón.

Gracias por todo.

K@Ro

FACTORES DE RIESGO A CONSIDERAR EN LAS OBRAS DE INGENIERÍA CIVIL

Capítulo	INDICE Temas	Páginas
	Introducción	1
I	Aspectos Generales	3
II	Amenazas	6
III	Riesgos	
	<i>III.1 Identificación de los riesgos</i>	10
	<i>III.2 Geológicos</i>	16
	<i>III.2.1 Movimientos de la superficie del terreno natural</i>	17
	<i>III.2.2 Erosión</i>	23
	<i>III.2.3 Maremoto (tsunami)</i>	26
	<i>III.2.4 Sismo o terremoto</i>	31
	<i>III.2.5 Vulcanismo</i>	40
	<i>III.3 Hidrometeorológicos</i>	
	<i>III.3.1 Deforestación y desertificación</i>	47
	<i>III.3.2 Huracán</i>	49
	<i>III.3.3 Inundación</i>	52
	<i>III.3.4 Lluvia</i>	54
	<i>III.3.5 Nevada</i>	56
	<i>III.3.6 Sequía</i>	57
	<i>III.3.7 Temperatura extrema</i>	59
	<i>III.3.8 Tormenta de granizo</i>	60
	<i>III.3.9 Tormenta eléctrica</i>	61
	<i>III.3.10 Viento</i>	62
	<i>III.4 Otros</i>	
	<i>III.4.1 Incendio</i>	64
IV	Cultura de la prevención	
	<i>IV.1 Plan de prevención</i>	67
	<i>IV.2 Plan de contingencia</i>	69
	<i>IV.3 Consecuencias económicas de los desastres</i>	74
	<i>IV.4 Instrumentación y monitoreo</i>	77
	<i>IV.5 Algunos casos de estudio</i>	83
V	Conclusiones	89
	Bibliografía	92

INTRODUCCIÓN

En el transcurso del tiempo, el planeta ha estado siendo afectado por desastres naturales como precipitaciones, huracanes, fenómenos geológicos, sismos, erupciones volcánicas, deforestación y otros más. Dichos fenómenos provocan inundaciones, deslizamientos, avalanchas, erosión y desprendimientos, con la consecuente destrucción y colapso de la infraestructura existente. El impacto de estos desastres se amplifica como consecuencia de deficiencias en los estándares de diseño y construcción de las obras, deficiencias técnicas relacionadas con su emplazamiento, o por la falta de estudios adecuados al no tomar en cuenta las medidas de prevención y mitigación para enfrentar los desastres.

En consecuencia, los seres humanos se ven directamente afectados ya que se producen pérdidas de vidas, patrimoniales y económicas que llegan a ocasionar crisis al perturbar la estabilidad emocional de las personas y que en último caso producen un fuerte impacto sobre la estabilidad social, económica y política en los países.

En el caso de desastres, la incidencia de éstos, en el mundo es muy grande, especialmente en los países asiáticos y latinoamericanos.

En el caso particular de México, por encontrarse en la zona intertropical y forma parte del Cinturón de Fuego del Pacífico (llamado así por la intensa actividad volcánica y sísmica que rodea este océano), su territorio se encuentra sujeto de manera especial a una gran variedad de fenómenos naturales, causas potenciales de los desastres.

En las últimas décadas, los fenómenos naturales en México han dejado daños con un costo promedio anual de 100 vidas humanas y cerca de 700 millones de dólares. Sin duda se ha avanzado en este sentido en los últimos años; sin embargo, son aún insuficientes los logros en la materia y es indispensable invertir más esfuerzo y recursos para transitar lo más pronto posible de un esquema fundamentalmente reactivo a uno de carácter preventivo. Este cambio de estrategia será el factor esencial para garantizar no sólo una sociedad más preparada y segura, sino un país menos vulnerable frente a los fenómenos naturales y también de aquéllos de origen antrópico que generan en ocasiones desastres de gran impacto. Aunque la prevención, vista como inversión de mediano a largo plazo tiene por supuesto un costo importante, se ha demostrado que es muy redituable ya que establece una muy favorable relación beneficio-costos. Este beneficio se daría principalmente en términos de salvar vidas humanas y por supuesto, ahorros económicos sustanciales derivados ambos del establecimiento de una mejor infraestructura y condiciones de menor vulnerabilidad.

Un desastre se produce cuando un agente perturbador pone al descubierto ciertas condiciones de vulnerabilidad de personas, comunidades y medio ambiente hasta el grado de suponer una grave amenaza; y un desastre natural implica una emergencia derivada de la acción de las fuerzas de la naturaleza. En general el costo se mide en mortandad, perjuicios en la infraestructura física y de servicios, así como la pérdida de bienes materiales, a tal grado que sea afectado el desarrollo económico, social y ambiental en la región en que se presenta.

Cualquiera que sea su naturaleza, las consecuencias de un desastre dependen de la intensidad y duración del evento, así como de las características de la población y del ambiente donde ocurre.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

CAPÍTULO I
ASPECTOS GENERALES

El territorio nacional se encuentra sujeto a gran variedad de fenómenos que pueden causar desastres. Por ser parte del llamado Cinturón de Fuego del Pacífico, el país es afectado por una fuerte actividad sísmica y volcánica. Dos terceras partes del país tienen un riesgo sísmico significativo, que se debe principalmente a los terremotos que se generan en la costa del Océano Pacífico, en la conjunción de las placas tectónicas de Cocos y de Norteamérica. Del sinnúmero de volcanes que han existido en las distintas épocas geológicas en el territorio, catorce de ellos han hecho erupción en tiempos históricos y se consideran activos o representan zonas activas.

La ubicación del país en una región intertropical, lo hace sujeto a los embates de huracanes que se generan tanto en el océano Pacífico como en el Atlántico. Los efectos de estos fenómenos, en términos de marejadas y vientos, se resienten principalmente en las zonas costeras del Pacífico, del Golfo y del Caribe; las lluvias intensas que estos fenómenos originan pueden causar inundaciones y deslaves no sólo en las costas sino también en el interior del territorio. De los 25 ciclones que en promedio llegan cada año a los mares cercanos al país, cuatro o cinco suelen penetrar en el territorio y causar daños severos. También se presentan lluvias intensas, con las consecuentes inundaciones y deslaves importantes, y con mucha frecuencia de manera independiente de la actividad ciclónica, debido a las tormentas que se generan en la temporada de lluvias. En sentido opuesto, la escasez de lluvia se resiente en diversas regiones que, cuando se mantiene por períodos prolongados, da lugar a sequías que afectan la agricultura, la ganadería y la economía en general. Asociados a la escasez de lluvia están los incendios forestales que se presentan cada año en la temporada de secas y que en determinados años alcanzan proporciones extraordinarias, ocasionando pérdidas de zonas boscosas y daños diversos.

Los tipos de desastres anteriores tienen como origen un fenómeno natural, por lo que se les suele llamar desastres naturales, aunque en su desarrollo y consecuencias tiene mucho que ver la acción del hombre. Otro tipo de desastre se genera directamente por las actividades humanas y principalmente por la actividad industrial que implica frecuentemente el manejo de materiales peligrosos. Estos se han definido como desastres antrópicos (causados por el hombre) o tecnológicos. En México la progresiva industrialización, aunada a las carencias socioeconómicas, ha dado lugar a un aumento acelerado de los accidentes por el manejo, transporte y disposición de productos peligrosos.

CAPÍTULO I
ASPECTOS GENERALES

Los distintos fenómenos y los desastres que éstos generan se tratarán con mayor detalle más adelante; el propósito de esta descripción inicial es resaltar la amplitud de la problemática y la gravedad de sus posibles consecuencias. Como ejemplo, basta citar el sismo de 1985; la erupción del volcán Chichonal en 1982 y la constante actividad de los volcanes Popocatepetl y Colima; el huracán Pauline en 1997 y las graves inundaciones y deslaves que se presentaron en octubre de 1999, sobre todo en los estados de Tabasco, Veracruz, Puebla e Hidalgo; los extensos incendios forestales de 1998, así como los accidentes debidos al descontrol del pozo Ixtoc en 1979, a las explosiones de los depósitos de gas de San Juan Ixhuatepec en 1984 y del drenaje de la ciudad de Guadalajara en 1992.

CAPÍTULO II

AMENAZA

CAPÍTULO II AMENAZA

Los desastres son eventos que pueden ser originados por diferentes manifestaciones, ya sean fenómenos naturales o bien provocados por acción humana. El estudio sistematizado de los desastres, requiere de un análisis cualitativo y cuantitativo de sus causas y naturaleza. El parámetro más utilizado, que permite realizar una descripción de la capacidad destructiva de las distintas manifestaciones naturales, es el concepto de **peligro o de amenaza**, que es la probabilidad de que se presente una cierta manifestación potencialmente desastrosa, en un lugar y tiempo determinado.

Desafortunadamente, debido a la complejidad de los sistemas físicos en los cuales un gran número de variables puede condicionar el proceso, la ciencia aún no cuenta con técnicas que le permitan modelar con alta precisión dichos sistemas y por lo tanto los mecanismos generadores de cada una de las amenazas. Por esta razón, la evaluación de la amenaza, en la mayoría de los casos, se realiza combinando el análisis probabilístico con el análisis del comportamiento físico de la fuente generadora, utilizando información de eventos que han ocurrido en el pasado y modelando con algún grado de aproximación los sistemas físicos involucrados.

En otras palabras, para poder cuantificar la probabilidad de que se presente un evento de una u otra intensidad durante un período de exposición, es necesario contar con información, la más completa posible, acerca del número de eventos que han ocurrido en el pasado y acerca de la intensidad que tuvieron los mismos.

Es importante diferenciar la amenaza del evento que la caracteriza, puesto que la amenaza significa la potencialidad de la ocurrencia de un evento con cierto grado de severidad, mientras que el evento en si mismo representa al fenómeno en términos de sus características, su dimensión y ubicación geográfica.

Igualmente, es importante diferenciar entre un **"evento posible"** y un **"evento probable"**, puesto que el primero se refiere a un fenómeno que puede suceder, mientras que el segundo se refiere a un fenómeno esperado debido a que existen razones o argumentos técnico-científicos para creer que ocurrirá o se verificará en un tiempo determinado. Estos conceptos están íntimamente relacionados con calificativos como "máximo posible" y "máximo probable" cuya diferenciación es básicamente la misma.

CAPÍTULO II AMENAZA

Por lo tanto, evaluar la amenaza es "pronosticar" la ocurrencia de un fenómeno con base en: el estudio de su mecanismo generador, el monitoreo del sistema perturbador y/o el registro de eventos en el tiempo. Un pronóstico puede ser a corto plazo, generalmente basado en la búsqueda e interpretación de señales o eventos premonitorios; a mediano plazo, basado en la información probabilística de parámetros indicadores, y a largo plazo, basado en la determinación del evento máximo probable en un período de tiempo que pueda relacionarse con la planificación del área potencialmente afectable.

Este tipo de evaluación es realizada por instituciones técnicas y científicas relacionadas con campos afines a la geología, la hidrometeorología y los procesos tecnológicos, las cuales de acuerdo con estudios que varían desde estimaciones generales hasta análisis detallados, plasman en mapas de diferentes escalas la cuantificación de la amenaza y llevan a cabo una "zonificación" en la cual, mediante un proceso de determinación de la misma en varios sitios, delimitan áreas homogéneas o zonas de amenaza constante. A este tipo de cartografía se le conoce como mapas de amenaza, los cuales son un insumo de fundamental importancia para la planificación física y territorial.

Un ejemplo de éste tipo de zonificaciones se observa en la figura 2.1.

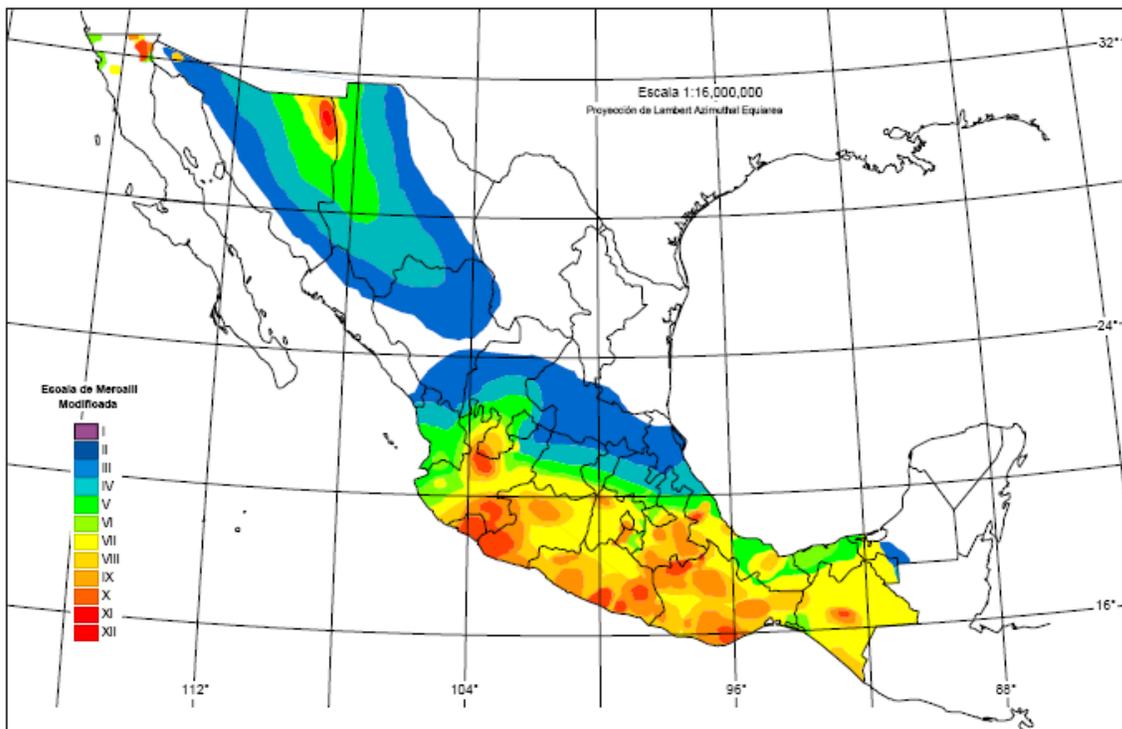


Figura 2.1. Mapa de zonificación de intensidades sísmicas

CAPÍTULO III

RIESGOS

III.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS

Un requisito esencial para la puesta en práctica de las acciones de protección civil es contar con diagnósticos de riesgos, o sea, conocer las características de los eventos que pueden tener consecuencias desastrosas (tanto fenómenos naturales como los generados por el hombre) y determinar la forma en que estos eventos inciden en los asentamientos humanos, en la infraestructura y en el entorno. La base fundamental para estos diagnósticos es el conocimiento científico de los fenómenos; éste es principalmente materia de las ciencias geológicas y atmosféricas que estudian los mecanismos de generación de fenómenos como los sismos, el vulcanismo y los huracanes y el grado de incidencia de los mismos en distintas partes del territorio.

El proceso de diagnóstico implica la determinación de los escenarios o eventos más desfavorables que pueden ocurrir, así como de la probabilidad asociada a su ocurrencia. Los escenarios tienen que incluir el otro componente del riesgo, que consiste en los efectos que los distintos fenómenos tienen en asentamientos humanos y en infraestructuras vulnerables a eventos.

La estimación del riesgo implica conocer las posibles consecuencias del fenómeno; éstas dependen de las características físicas de los asentamientos humanos y de la infraestructura existente, pero también del grado de preparación que existe en la zona para enfrentar y aminorar los efectos de los fenómenos.

Los estudios de peligro son más objetivos y se basan en información física poco cambiante con el tiempo, mientras que los estudios de riesgo son mucho más complejos porque reflejan la interacción entre los fenómenos naturales y el entorno, y la de éstos con los sistemas físicos y sociales producidos por el hombre.

Por otra parte, los estudios de peligro pueden realizarse a escala relativamente grande y abarcar amplias regiones del país donde la incidencia de los fenómenos es similar; por el contrario, los estudios de riesgo son necesariamente muy locales porque dependen de condiciones específicas de cada sitio. Una peculiaridad de los estudios de riesgo es que lo que está expuesto al fenómeno varía en el tiempo, tanto en cantidad, como en sus características. Particularmente importantes son los efectos del crecimiento demográfico y de la industrialización, que modifican e incrementan el riesgo, por lo que los diagnósticos y los mapas resultantes se vuelven rápidamente obsoletos.

CAPÍTULO III RIESGOS

Para la representación de los resultados de los estudios de peligro y en parte también para los de riesgo, se han utilizado generalmente mapas a distintas escalas, en los que se identifican los tipos e intensidades de los eventos que pueden ocurrir. La cartografía de peligros ofrece una amplia gama de posibilidades de representación. Una colección de mapas de este tipo constituye propiamente un Atlas. Por otra parte, los sistemas modernos de informática, permiten representaciones mucho más completas y ágiles de las distintas situaciones, así como la elaboración de mapas "a la carta" en que se representa la información específica que se requiere para un uso particular. Estos son especialmente adecuados para los estudios de riesgo, donde se requiere representar a la vez los escenarios de fenómenos peligrosos, y los sistemas que pueden ser afectados por éstos. Estos sistemas informáticos facilitan la preparación y actualización oportuna de las representaciones del riesgo necesarias para cada caso.

Un Atlas a nivel nacional sólo puede pretender proporcionar la información más completa posible sobre los peligros y sobre la incidencia de los fenómenos a nivel regional; poca es la información que puede incorporarse sobre los efectos locales y sobre sistemas que pueden ser afectados; en ese sentido debe hablarse de un Atlas Nacional de Peligros más que de riesgos.

Para tratar el problema de los daños provocados por fenómenos naturales y buscar soluciones que permitan reducir su impacto, es necesario proceder metódicamente. En primer lugar es necesario definir y cuantificar los conceptos que relacionan los fenómenos naturales con su impacto sobre la sociedad.

"Riesgo" es un concepto complejo, que involucra varios componentes. En términos generales se define al Riesgo asociado a los fenómenos naturales, y en particular al fenómeno volcánico, como la combinación de dos componentes:

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad}$$

El *"peligro"* o *"amenaza"* se define como la probabilidad de que alguna manifestación volcánica específica, como por ejemplo los flujos piroclásticos o la lluvia de ceniza, descritos en la siguiente sección, pueda presentarse en un área o región particular del entorno del volcán en un intervalo de tiempo dado.

La *"vulnerabilidad"* se define como el grado o porcentaje de pérdida o daño que puede sufrir un elemento de la estructura social (población,

infraestructura, productividad) por efecto de alguna de las manifestaciones volcánicas.

Si el peligro o probabilidad de ocurrencia, y la vulnerabilidad se expresan como fracciones entre 0 y 1, el riesgo se puede cuantificar como una cantidad entre 0 y 1 que representa la proporción o probabilidad de que ocurra una pérdida o daño de vidas, bienes, o productividad en una zona volcánica por efecto de una manifestación eruptiva. Este concepto es compatible con el principio que establece que la probabilidad de que se presenten dos condiciones independientes, se obtiene del producto de las probabilidades de ocurrencia de cada una de ellas.

Considerando al riesgo volcánico como la probabilidad de pérdida ante la posible ocurrencia de una erupción, surge el planteamiento del problema de *reducción o mitigación del riesgo*. Este planteamiento resulta de la posibilidad de modificar el valor del riesgo. Si bien el peligro es una característica del fenómeno que no puede ser modificada, la vulnerabilidad puede ser reducida en forma considerable a través de la **“preparación”**. La preparación se deriva de la comprensión de los efectos de las diferentes manifestaciones volcánicas y de la adecuada percepción del riesgo, y consiste en una respuesta organizada de la sociedad encaminada a realizar una serie de medidas coordinadas y precisas que reduzcan la exposición y fragilidad de los bienes amenazados por esas manifestaciones.

El efecto de la preparación en la reducción del riesgo puede visualizarse a través de un nuevo parámetro que defina la capacidad de respuesta de la sociedad para disminuir la vulnerabilidad.

Si definimos un número **Q** que refleje el grado de preparación, el riesgo reducido puede representarse como:

$$\text{Riesgo Reducido} = \text{Peligro} \times (\text{Vulnerabilidad}) / Q$$

Existen diversas clasificaciones de los riesgos de desastres. En México, el Sistema Nacional de Protección Civil ha adoptado la clasificación basada en el tipo de agente perturbador que los produce. Se distinguen así los riesgos de origen:

- geológico
- hidrometeorológico
- otros

CAPÍTULO III
RIESGOS

Para el estudio de los peligros y la identificación de los riesgos, es importante definir los fenómenos perturbadores mediante parámetros cuantitativos con un significado físico preciso que pueda medirse en una escala numérica.

En la mayoría de los fenómenos pueden distinguirse dos medidas:

- La magnitud es una medida del tamaño del fenómeno, de su potencial destructivo y de la energía que libera.
- La intensidad es una medida de la fuerza con que se manifiesta el fenómeno en un sitio dado. Por ello un fenómeno tiene una magnitud, pero tantas intensidades como son los sitios en que se quiere determinar sus efectos. La magnitud suele ser una medida más fácil de definir, ya que representa una característica precisa del fenómeno físico, mientras que la intensidad depende de muchos factores que se relacionan con condiciones locales. Por ejemplo, en los sismos, la magnitud se define en términos de la energía liberada por el movimiento brusco de las placas terrestres y se mide en la escala de Richter. La intensidad sísmica refleja el grado de movimiento que experimenta el terreno en un sitio dado, lo que dependerá de la distancia del sitio al epicentro y de las características del terreno en el sitio, y se mide en la escala de Mercalli.

Para algunos fenómenos, la distinción entre magnitud e intensidad no es tan clara, pero en términos generales, el peligro debe estar asociado a la intensidad del fenómeno más que a su magnitud. En este sentido, el estudio del peligro lleva a la construcción de escenarios, es decir, a la representación de los efectos del fenómeno en la región de interés.

Es importante tratar de definir el peligro en términos de parámetros con un significado físico preciso y que permitan utilizar una escala continua de la intensidad del fenómeno; por ejemplo, la velocidad máxima para la intensidad del viento, el número de milímetros de precipitación pluvial, el grado de intensidad de un sismo en la escala de Mercalli o, de preferencia en términos de aceleración máxima del terreno durante el movimiento sísmico. Esto no siempre es posible debido a la escasez de información para una evaluación cuantitativa del peligro.

Es frecuente que se tenga que recurrir a representar el peligro en términos solamente cualitativos, como bajo, mediano o alto, basados en la evidencia disponible sobre la incidencia del fenómeno en cada región. Esto es de utilidad para fines de protección civil ya que permite saber en

CAPÍTULO III
RIESGOS

qué zonas es necesario tomar mayores precauciones ante la posibilidad de ocurrencia de cierto fenómeno. Este tipo de diagnóstico no es suficiente; sin embargo, se usa para tomar decisiones sobre planeación de desarrollo urbano y para diseño de obras de protección.

Otro aspecto esencial de los diagnósticos de riesgo es la conveniencia de plantear en términos de probabilidades los distintos factores que influyen en él. Los fenómenos que pueden provocar desastres son, en general, altamente impredecibles, o sea, no pueden pronosticarse en términos de una magnitud o intensidad, tiempo de ocurrencia y sitio específico de impacto. Tampoco es factible para estas variables fijar un máximo o un mínimo absolutos (como la máxima intensidad sísmica que se puede presentar en un sitio dado).

Es importante analizar la evolución de las consecuencias de los desastres con el tiempo. Si se consideran las pérdidas de vidas humanas, la tendencia a nivel mundial es hacia la disminución, principalmente porque desde hace algunas décadas se han reducido, aunque no del todo eliminado, las grandes catástrofes en los países más pobres donde las sequías o las inundaciones, generaban hambrunas prolongadas con la consecuente mortandad de grandes proporciones de la población. Por otro lado, cuando se consideran las pérdidas económicas, las consecuencias de los desastres aumentan a escala mundial con una tendencia exponencial.

El aumento en el número de desastres en los años recientes se debe, principalmente, a que ahora hay mejor registro de estos sucesos; sin embargo, es innegable que hay un crecimiento notable en el número y consecuencia económica de los desastres en México, debido al aumento de la población y de los asentamientos humanos en zonas particularmente expuestas a los fenómenos de origen natural y antrópico. Contribuye también, para los desastres de tipo hidrometeorológico, el deterioro ambiental que se ha tenido en las últimas décadas, sobre todo el relacionado con la deforestación.

Para la estimación de las pérdidas económicas, el trabajo más completo es el realizado por D. Bitrán (Octubre 2001), en el cual consideran eventos ocurridos a partir de 1980; destaca el sismo de 1985 en la Ciudad de México y, después de éste, una serie de eventos hidrometeorológicos que ocurren prácticamente todos los años en el país. Considerando únicamente las pérdidas directas, el costo anual de los desastres en México ha sido cercano a los 500 millones de dólares, durante los últimos años de la estadística. Se trata de una cantidad significativa para la economía nacional, pero la cifra es mucho más importante cuando la

CAPÍTULO III
RIESGOS

pérdida se concentra en una zona reducida y puede afectar drásticamente la economía regional. Como referencia, en los Estados Unidos de América el costo estimado de pérdidas directas debidas a desastres naturales es de aproximadamente 20,000 millones de dólares anuales (National Science and Technology Council, 1997).

III.2 RIESGOS GEOLÓGICOS

Los riesgos geológicos son aquellos fenómenos en los que intervienen la dinámica y los materiales del interior de la Tierra o de la superficie de ésta, los cuales, para nuestros fines, pueden clasificarse de la siguiente manera:

- sismicidad
- vulcanismo
- tsunamis
- movimientos de laderas y suelos

Estos fenómenos han estado presentes a lo largo de toda la historia geológica del planeta y, por tanto, seguirán presentándose obedeciendo a patrones de ocurrencia similares. La sismicidad y el vulcanismo son consecuencia de la movilidad y de las altas temperaturas de los materiales en las capas intermedias de la Tierra, así como de la interacción de las placas tectónicas y se manifiestan en áreas o sectores bien definidos.

Los tsunamis, también conocidos como maremotos, aunque menos frecuentes que los sismos o las erupciones volcánicas, constituyen grandes amenazas, particularmente para poblaciones e instalaciones costeras. Los más peligrosos para nuestro país son los que se originan como consecuencia de sismos de gran magnitud cuyo epicentro se encuentra a pocos kilómetros de la costa en el Océano Pacífico.

Otros fenómenos geológicos propios de la superficie terrestre, son debidos esencialmente a la acción del intemperismo y la fuerza de gravedad, teniendo a ésta como factor determinante para la movillización masiva, ya sea de manera lenta o repentina, de masas de roca o sedimentos con poca cohesión en pendientes pronunciadas. En ocasiones estos deslizamientos o colapsos también son provocados por sismos intensos.

Muchas de las áreas habitadas por el hombre se localizan en valles aluviales, debido a la disponibilidad de campos planos y cultivables. Con el paso del tiempo y el aumento de la población, las corrientes superficiales de agua se vuelven insuficientes para el riego agrícola y el consumo humano, por lo que se recurre a extraer, cada vez en mayor proporción, agua del subsuelo. Como consecuencia de esto, el terreno presenta gradualmente hundimientos y agrietamientos locales y regionales que llegan a afectar seriamente las edificaciones y la infraestructura.

III.2.1 MOVIMIENTOS DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO NATURAL

Entre los tipos de movimiento de la superficie del terreno natural se encuentran:

- Inestabilidad de laderas naturales.
- Flujos de lodo y escombros.
- Hundimiento regional y local.
- Agrietamiento del terreno, originado por desplazamientos diferenciales, horizontales y/o verticales de la superficie.

La **inestabilidad** del terreno natural se presenta en zonas montañosas, donde la superficie del mismo presenta diversos grados de inclinación. El grado de inestabilidad está íntimamente relacionado con el origen geológico de las masas térreas. En este contexto, el problema de inestabilidad se puede definir como la pérdida de la capacidad del terreno natural para autosustentarse, lo que deriva en reacomodos y colapsos del mismo.

Un hecho importante relacionado con los movimientos y colapsos de la superficie del terreno natural es que *las condiciones de inestabilidad* de las formaciones geológicas involucradas han existido siempre en la naturaleza. Sin embargo, estas condiciones suelen empeorar por la deforestación, intemperismo, erosión y por la alteración de las condiciones de drenaje y de equilibrio originales, ante la presencia de asentamientos humanos irregulares. En la mayoría de los casos, los habitantes talan los bosques en las zonas montañosas; en ocasiones para contar con tierras cultivables efectúan cortes y construyen terrazas para habilitar sus viviendas carentes de obras apropiadas de drenaje. Con dichas acciones los habitantes, sin darse cuenta, propician que se reblandezca el terreno natural y que se acelere el proceso de intemperización dando lugar a los problemas de inestabilidad. Su impacto en la sociedad ha ido en aumento en los últimos años a causa de la explosión demográfica y por el crecimiento de las manchas urbanas que se ha presentado en los últimos tiempos, en forma caótica e irregular en un número importante de casos a nivel mundial.

Inestabilidad de laderas naturales

Los problemas de inestabilidad de laderas se cuentan entre los peligros naturales más destructivos de nuestro planeta, lo cual representa una de las mayores amenazas para la vida y bienes materiales de la población. Derrumbes, deslizamientos, flujos y movimientos complejos ocurren día con día alrededor del mundo. Cada año estos desastres ocasionan numerosas víctimas, heridos y damnificados, así como cuantiosas pérdidas

económicas. El impacto que este tipo de peligros provoca mayores problemas en países de escasos recursos debido a su alto grado de vulnerabilidad. Para prevenir futuros desastres asociados a inestabilidad de laderas, es de suma importancia que todos los miembros de la población conozcan este fenómeno y se mantengan atentos a las manifestaciones que lo preceden y los factores que lo generan.

Algunos tipos de deslizamientos los que a continuación se presentan.

Deslizamiento de talud

Movimientos de una masa de materiales térreos pendiente abajo, delimitada por una o varias superficies, planas o cóncavas, sobre las que se desliza el material inestable.

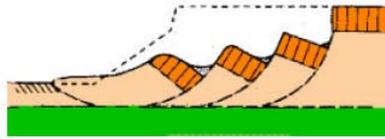


Figura 3.2.1.1. Deslizamiento de talud

Por la forma de la superficie de deslizamiento, se distinguen:

Rotacionales

Deslizamientos en los que su superficie principal de falla resulta cóncava, es decir, hacia arriba en forma de cuchara o concha, definiendo un movimiento rotacional de la masa inestable de suelos y/o fragmentos de rocas.

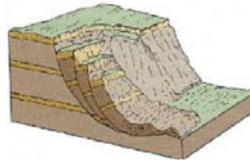


Figura 3.2.1.2. Deslizamiento rotacional

A menudo estos deslizamientos rotacionales ocurren en suelos arcillosos blandos, aunque también se presentan en formaciones de rocas blandas.

Trasnacionales

Deslizamientos en los que la masa de suelos y/o fragmentos de rocas se desplazan hacia fuera y hacia abajo, a lo largo de una superficie principal más o menos plana, con muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo.

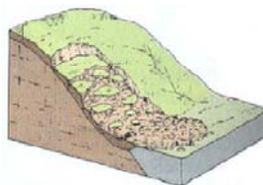


Figura 3.2.1.3. Deslizamiento trasnacional

Usualmente determinan deslizamientos someros en suelos granulares, o bien, están definidos por superficies de debilidad en formaciones rocosas, tales como planos de estratificación, juntas y zonas de cambio de estado de meteorización en las rocas.

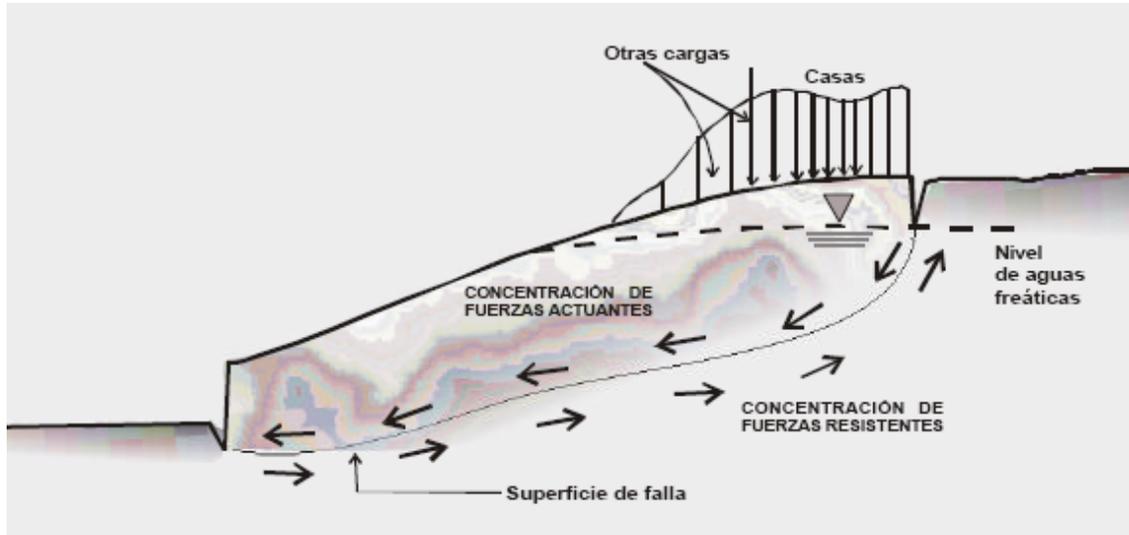


Figura 3.2.1.4. Esquema de factores de inestabilidad

Factores que rigen la inestabilidad de laderas

Los procesos que ocasionan la inestabilidad de las laderas están determinados por dos tipos de factores; externos e internos.

Los factores externos ocasionan un incremento en los esfuerzos o acciones que se dan en una ladera, es decir, producen una mayor concentración de las fuerzas motoras o actuantes, mientras que los factores internos reducen la resistencia de los materiales, en otras palabras, disminuyen la concentración de fuerzas resistentes.

En la figura 3.2.1.4, se aprecia la relación que existe entre las fuerzas que pueden originar que una ladera se vuelva inestable, "*fuerzas motoras o actuantes*", y las fuerzas que se ejercen en el interior de la misma ladera, "*fuerzas resistentes*", que la mantienen en equilibrio. La ladera se encontrará en condiciones estables mientras las fuerzas motoras se originan por el peso propio del material térreo que conforma el cuerpo de una ladera y por el peso de cualquier construcción que se coloque en la parte alta de la misma, como por ejemplo: casas, terraplenes usados para construir carreteras, etc. Las fuerzas resistentes son resultado de la fortaleza o resistencia característica de los materiales térreos que conforman las laderas.

Existen varios factores de tipo externo. Entre los principales cabe destacar los procesos que se relacionan con las modificaciones de la geometría de una ladera (por erosión, socavación, incisión de un río, excavaciones artificiales), las cargas y descargas, el efecto de los sismos o vibraciones por explosiones y maquinaria pesada, así como los cambios en el régimen hidrológico como consecuencia de la variabilidad de la intensidad y duración de las precipitaciones. Cuando la ladera se ve afectada por estos procesos, es más fácil que las fuerzas motoras influyan en la estabilidad de la ladera. Por otro lado, los factores internos están relacionados con las características de los materiales térreos en cuanto a composición, textura, grado de intemperismo, características físico-químicas, etc., y las modificaciones que éstos van sufriendo.

Flujos de lodo y escombros

Se pueden identificar como verdaderos ríos de material térreo de diversos tamaños, cuando éste se satura bruscamente ante la presencia del agua de lluvias extraordinarias o bien por la fusión de un glaciar.



Figura 3.2.1.5. Flujo de lodo y escombros en la parte alta de la ciudad de Acapulco.

Hundimiento regional y local

El hundimiento regional se manifiesta por el descenso de la superficie de una extensión determinada del terreno natural. Este problema se encuentra asociado con la extracción de agua subterránea.

Los hundimientos locales son causados por el colapso **de la superficie del terreno natural** en zonas donde existen cavidades subterráneas, como se muestra en la figura 3.2.1.6. Cuando se presenta un derrumbe de este tipo, normalmente es súbito y devastador. Una de sus características más aparatosas es que se forman verdaderos cráteres o huecos verticales. Normalmente este tipo de problema se presenta cuando existen túneles de

CAPÍTULO III
RIESGOS

minas antiguas, poco profundas, que no están detectadas y localizadas plenamente.



Figura 3.2.1.6. Hundimiento local y agrietamiento del subsuelo.

Agrietamiento del terreno

El agrietamiento de la superficie del terreno es la manifestación de una serie de desplazamientos verticales y horizontales del subsuelo en un área amplia, que resultan del problema de hundimiento regional, por la extracción excesiva mediante bombeo profundo del agua subterránea, normalmente con fines de abastecimiento para uso agrícola, urbano o industrial, en zonas del país donde este recurso natural es escaso.

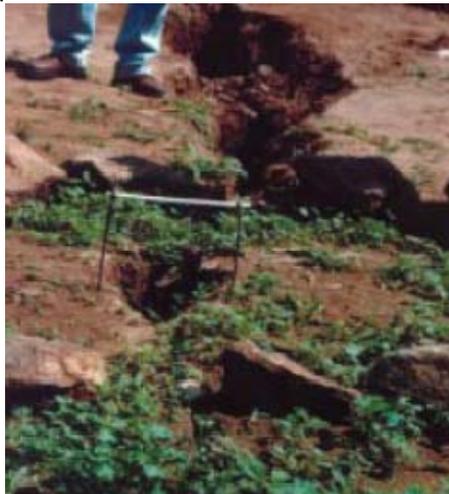


Figura 3.2.1.7. Agrietamiento de la superficie del terreno natural, como consecuencia de los hundimientos.

En nuestro país existen las condiciones orográficas, climatológicas, de tipos de formaciones geológicas y de explosión demográfica propicias para que se presenten, cada vez en forma más alarmante, problemas relacionados con la inestabilidad y colapso de laderas naturales, así como con el intemperismo y erosión del material térreo de una importante porción del territorio nacional.

CAPÍTULO III
RIESGOS

Lo anterior constituye una amenaza, particularmente para las poblaciones que están asentadas en antiguos deslizamientos de laderas naturales o en zonas minadas. Existe el riesgo de que ante la presencia de lluvias se activen los movimientos, desprendimientos y colapsos, que afecten seriamente a la población.

Un ejemplo conocido, se refiere a los efectos causados por el huracán Pauline (octubre de 1997) en las costas de Guerrero y Oaxaca. Particularmente, en la mancha urbana de Acapulco se registraron numerosos movimientos de materiales térreos, como caídos de rocas y flujos de lodo y escombros, detonados por la saturación y colapso de algunas de las zonas altas con pendientes fuertes que rodean a dicha población. Los daños causados por estos eventos tuvieron grandes repercusiones en la pérdida de vidas humanas (fallecieron más de doscientas personas), bienes materiales, infraestructura y servicios, sin distinción de nivel socioeconómico.

III.2.2 EROSIÓN

La erosión corresponde al desprendimiento del suelo debido a la acción de la lluvia, el viento o el oleaje. La cantidad del material que se separa del terreno depende de varios factores como son su tipo, la cubierta vegetal y el grado de intemperismo. El proceso de erosión del suelo de una región es lento, no se aprecia a corto plazo, sino hasta que se encuentra en una fase avanzada, cuando se ha perdido gran parte del suelo fértil. Cuando se abren caminos, se desmontan áreas para campos de cultivo, se explotan irracionalmente los bosques o se amplían las zonas urbanas, se altera el equilibrio natural del suelo y ello puede provocar su erosión.

En términos prácticos el suelo se considera, como un recurso no renovable, ya que su formación requiere de muchos años.

La erosión tiene principalmente dos aspectos desfavorables; la pérdida de suelo (que implica la disminución de su calidad para la agricultura) y el azolvamiento de las presas (se deposita en ellas el suelo removido) lo que disminuye la capacidad de almacenar agua. En México la mayor pérdida de suelo se produce por la lluvia. La erosión comienza con el golpe de sus gotas sobre el suelo y continúa por el desgaste del terreno que ocasionan los flujos de agua que se generan tanto en las laderas de las montañas como en los cauces de los ríos.

Cuando se presenta el transporte de sedimentos en los cauces se junta con el arrastre de troncos, rocas y otros objetos a este fenómeno se llama flujo de escombros. Éste se presenta en cuencas pequeñas con gran pendiente debido a la ocurrencia de lluvias intensas y continuas con duración menor a 36 horas. Un ejemplo de este tipo de flujo es el que ocurrió en 1997 en Acapulco debido a las lluvias del huracán Pauline. La erosión por lluvia se presenta principalmente en las zonas de topografía irregular y con pendientes del terreno fuertes; como ambas situaciones predominan en México, existe una tendencia a generarse esta degradación del suelo.

En México existen zonas que por su ubicación geográfica son más susceptibles a la erosión; sin embargo, el mayor grado de afectación lo ha estado produciendo el hombre.

Históricamente en los estados de México, Tlaxcala y Oaxaca, se han presentado fuertes erosiones del terreno; sin embargo, la objetiva evidencia de cárcavas y azolve de embalses, se repite en muchas otras regiones del país. En la figura 3.2.2.1 se muestran los estados de la República Mexicana con mayor índice de degradación del suelo.

CAPÍTULO III RIESGOS

Se ha observado que cuando los suelos se empobrecen por el efecto de erosión, o bien cuando éstos han desaparecido, se abandonan dichos lugares por no ser redituable la producción de los cultivos y se buscan otros sitios que a su vez pueden degradarse más fácilmente cuando se dediquen a la agricultura, formándose así un círculo vicioso.

De acuerdo a la información proporcionada por las siguientes cifras dan una idea de la gravedad de este fenómeno:

- Se dragan aproximadamente 300 millones de metros cúbicos al año para mantener navegables ríos y puertos.
- En un año se pierden 1.1 billones de metros cúbicos de capacidad en los embalses.
- Se estima que anualmente se producen daños por 270 millones de dólares con la erosión de las márgenes de los ríos.
- Los flujos de escombros se han vuelto más frecuentes.

En la práctica, las medidas de conservación de suelos son simples pero deben ser constantes.

Algunas de las acciones para el control de la erosión de suelos son:

- la reforestación
- la construcción de terrazas
- las cubiertas naturales o artificiales
- el cultivo en contorno y en fajas
- los sistemas agroforestales
- la rectificación de cárcavas y cauces

La aplicación de estas acciones es cada vez mayor en el país, pero aún son insuficientes para disminuir este grave problema.

En la figura 3.2.2.1 se puede observar una zonificación de erosión en nuestro país.



Figura 3.2.2.1. Erosión en diferentes grados en la República Mexicana

III.2.3 MAREMOTO (TSUNAMI)

El término **tsunami** es japonés; internacionalmente se usa para designar el fenómeno que en español se denomina maremoto. Es una secuencia de olas que se generan cuando cerca o en el fondo del océano ocurre un terremoto; a las costas pueden arribar olas con gran altura y provocar efectos destructivos: pérdida de vidas y daños materiales. La gran mayoría de los tsunamis se originan por sismos que ocurren en el contorno costero del Océano Pacífico, en las zonas de hundimiento de los bordes de las placas tectónicas que constituyen la corteza del fondo marino.

Los tsunamis de energía inicial extraordinaria pueden atravesar distancias enormes del Océano Pacífico hasta costas muy alejadas; por ejemplo, los originados en aguas de Chile en mayo de 1960 y de Alaska en marzo de 1964, que arribaron a litorales de México y causaron daños menores. Toda la costa del Pacífico de México está expuesta al arribo de estos maremotos de origen **lejano** (*riesgo menor*).

Sin embargo, para México un riesgo aún mayor son los tsunamis generados por sismos en la Fosa Mesoamericana, que es la zona de hundimiento de la Placa de Cocos y de la Placa de Rivera bajo la Placa de Norteamérica, adyacente al litoral suroccidental. Por ejemplo, los ocurridos en:

- a) Noviembre de 1925, que afectó Zihuatanejo, (Guerrero) con olas de 11 metros de altura.
- b) Junio de 1932; invadió Cuyutlán (Colima), con olas de 10 metros de altura, que causaron cuantiosos daños y pérdidas de vidas.
- c) septiembre de 1985, Lázaro Cárdenas (Michoacán) e Ixtapa-Zihuatanejo (Guerrero), con olas de 3 metros de altura.
- d) Octubre de 1995, en varias poblaciones costeras de Colima y Jalisco, con olas de hasta 5 metros de altura que causaron algunos daños de consideración y una víctima.

La costa occidental de México en los estados de Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas está expuesta al arribo de estos tsunamis de origen **local** (*riesgo mayor*).

Origen y Características Generales de los Tsunamis

En la gran mayoría de los casos, el movimiento inicial que provoca la generación de los tsunamis es una dislocación vertical de la corteza terrestre en el fondo del océano, ocasionada por un sismo. En el transcurso del siglo XX, éste ha sido el origen de aproximadamente el 94% de los 450 tsunamis ocurridos en el Océano Pacífico. Otros agentes causales menos

frecuentes han sido: erupciones de volcanes sumergidos, impacto de meteoritos, deslizamientos submarinos y explosiones nucleares.

Para que un sismo genere un tsunami, es necesario que:

- a) el hipocentro (*punto de origen del sismo, en el interior de la Tierra. Lugar donde empieza la ruptura que se extiende formando un plano de falla*) del sismo, o una parte mayoritaria de su área de ruptura, esté bajo el lecho marino, a una profundidad menor a 60 km (sismo superficial).
- b) ocurra en una zona de hundimiento de borde de placas tectónicas; es decir, que la falla tenga movimiento **vertical**: que no sea solamente de desgarre.
- c) con movimiento **lateral** en cierto lapso de tiempo el sismo libere suficiente energía, y que ésta se transmita eficientemente.

Los tsunamis se clasifican en el lugar de arribo a la costa, según la distancia (o el tiempo de desplazamiento) desde su lugar de origen, en:

Tsunamis locales. El lugar de arribo a la costa está muy cercano o dentro de la zona de generación (delimitada por el área de dislocación del fondo marino) del maremoto; por tiempo de desplazamiento: a menos de una hora; por ejemplo, el generado por un sismo en la Fosa Mesoamericana frente a Michoacán el 19 de septiembre de 1985, que tardó sólo 30 segundos para llegar a Lázaro Cárdenas, y 23 minutos a Acapulco.

Tsunamis regionales. El litoral invadido está a no más de 1,000 km o a pocas horas de viaje de la zona de generación.

Ejemplo: el provocado por un sismo en las costas de Colombia el 12 de diciembre de 1979, que tardó 4 horas para llegar a Acapulco.

Tsunamis lejanos (remotos, transpacíficos o teletsunamis). El sitio de arribo está muy alejado, en el Océano Pacífico, a más de 1,000 km de distancia de la zona de generación, a aproximadamente medio día o más de viaje.

Ejemplos: el ocurrido tras un sismo en Chile el 22 de mayo de 1960; tardó unas 13 horas en llegar a Ensenada (México), y el maremoto generado en Japón el 16 de mayo de 1968; demoró 14 horas en arribar a Manzanillo (México).

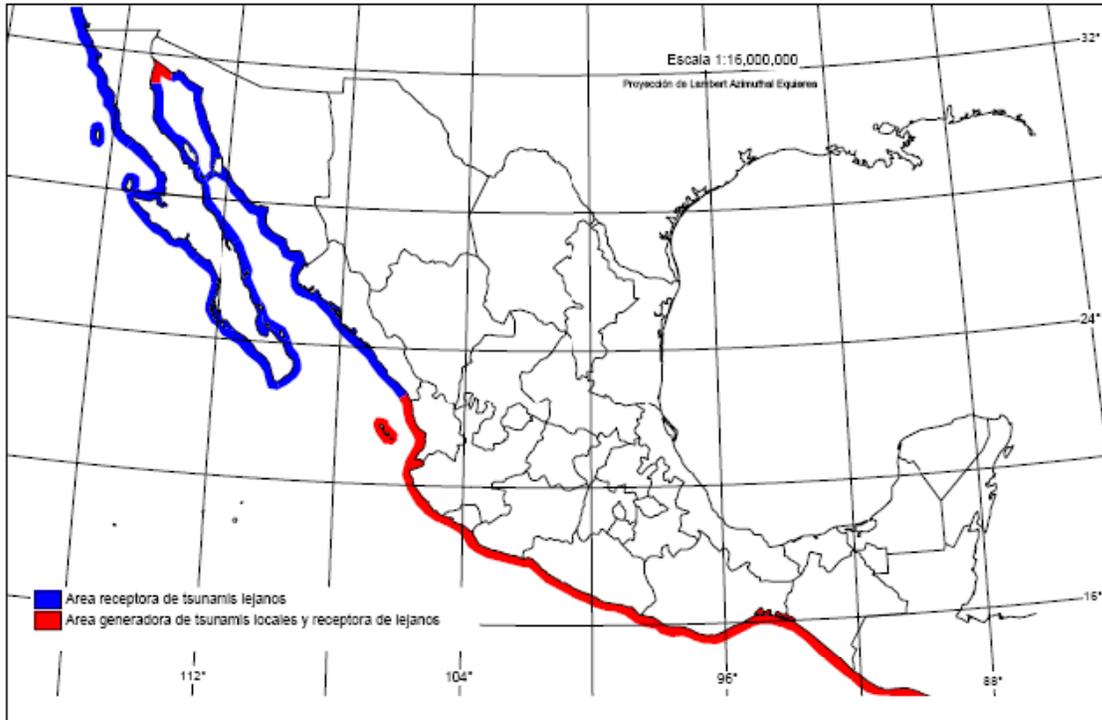


Figura 3.2.3.1. En las costas de Baja California, Sonora y Sinaloa la altura máxima esperable de olas es de 3 metros; para el resto de la costa occidental dicha altura puede ser hasta de 10 metros.

La longitud de las olas de los maremotos (varios cientos de kilómetros) es mucho mayor que la profundidad de las aguas oceánicas por las que se desplazan. Esta propiedad (denominada de onda superficial) hace que, en primera aproximación, su **velocidad de propagación dependa exclusivamente de la profundidad**. Esto permite determinar la velocidad de propagación correspondiente a todos los puntos oceánicos de los que se tengan datos batimétricos (profundidad), y a su vez cuantificar el tiempo de desplazamiento del tsunami entre dos lugares (en particular el de **origen** y el de **arribo** a la costa), a lo largo de una trayectoria que una esos puntos. La más cercana a la realidad es el arco de círculo máximo común a ambos puntos.

En la costa la altura de los tsunamis depende de:

- las características de las olas en mar abierto
- la batimetría
- la pendiente del fondo marino
- la configuración del contorno de la costa
- la refracción
- la reflexión
- el atrapamiento de sus olas en las diversas formaciones fisiográficas costeras: bahías, golfos, penínsulas, islas, cabos, deltas fluviales, lagunas costeras, etc.

CAPÍTULO III
RIESGOS

La multiplicidad de los factores anteriores hace que la evaluación del comportamiento local del arribo de un tsunami sea un problema complejo y que, aún en distancias cortas, la altura máxima de sus olas varíe considerablemente a lo largo de la costa.

Al llegar el tsunami a la costa, su incremento de altura por asomeramiento provoca retiro o resaca del agua ante el frente de la ola, grandes extensiones del fondo marino quedan al descubierto (*secas*). Es un aviso de que pocos minutos después llegará una ola a gran velocidad.

Por análisis de los registros mareográficos, se ha inferido la ocurrencia de amplificación resonante de olas de tsunamis en Ensenada, La Paz, Acapulco y Manzanillo, que son bahías semicerradas. Debido a este fenómeno, al arribo de los maremotos provenientes de Chile en 1960 y de Alaska en 1964 las alturas máximas de ola registradas en el mareógrafo de Ensenada, B.C., fueron aproximadamente el triple de las ocurridas en la costa abierta de la vecina localidad de La Jolla, California (USA), y mayores a las de otros puertos mexicanos. Contrariamente a una difundida creencia, la presencia de islas en la boca de las bahías de Ensenada y de Acapulco no las protege de los tsunamis; estas islas incrementan el cerco y la extensión del contorno costero, que por reflexión interna amplifica las olas del maremoto, y limitan el escape de su energía hacia mar afuera a través de la boca.

De 1986 a 1991, en México no hubo registros; tal vez porque ninguno llegó, o por operación deficiente de los mareógrafos. A partir de 1992, el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) y la Secretaría de Marina de México, en colaboración con la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera de los Estados Unidos de América (por sus siglas en inglés NOAA) y el Sistema de Alerta de Tsunamis del Pacífico (de la UNESCO) instalaron y mantienen 3 mareógrafos, equipados para transmisión inmediata de señales a satélite, en Manzanillo, isla Socorro y Cabo San Lucas; desde 1992 han registrado 6 maremotos.

Desde octubre de 2004, el CICESE mantiene y opera en el puerto de El Sauzal, B.C. un sensor de nivel de mar de alta frecuencia, transmitiendo en tiempo real por Internet (<http://observatorio.cicese.mx>) un dato de nivel del mar cada minuto. En un proyecto conjunto con la Secretaría de Gobernación, y con la colaboración de la Secretaría de Marina, se programa instalar una red de estos sensores en otros puertos del Pacífico mexicano, para integrar el futuro sistema de alerta temprana para tsunamis de México.

III.2.4 SISMO O TERREMOTO

Por su ubicación geográfica, México se encuentra sujeto a diversos fenómenos naturales que pueden derivar en casos de desastre; entre las calamidades a las que en mayor proporción está expuesto el territorio nacional resaltan los sismos, que en el transcurso de la historia han sido de significado especial, tanto por su frecuencia como por los daños que han ocasionado.

La generación de los temblores más importantes en México se debe, básicamente, a dos tipos de movimiento entre placas. A lo largo de la porción costera de Jalisco hasta Chiapas, las placas de Rivera y Cocos penetran por debajo de la Norteamericana, ocasionando el fenómeno de subducción. Por otra parte, entre la placa del Pacífico y la Norteamericana se tiene un desplazamiento lateral cuya traza, a diferencia de la subducción, es visible en la superficie del terreno; esto se verifica en la parte norte de la península de Baja California y a lo largo del estado de California, en los Estados Unidos.

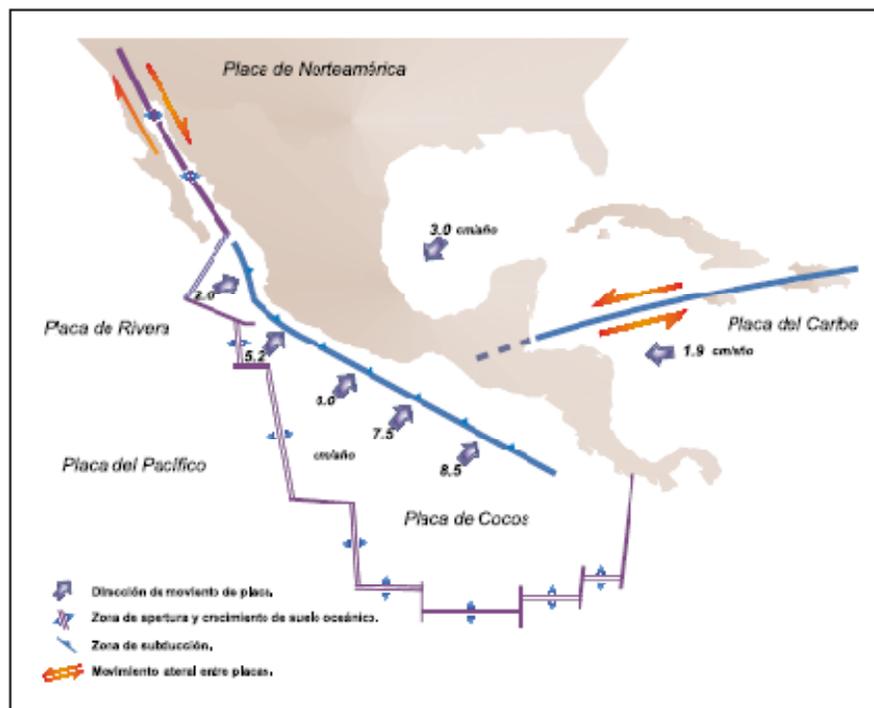


Figura 3.2.4.1. Movimiento de Placas Tectónicas. Con excepción de la Península de Baja California, el territorio nacional se encuentra en la placa Norteamericana. Con ésta interactúan las placas Pacífico, Rivera, Cocos y del Caribe. Se muestran para cada una de ellas la dirección de desplazamiento así como sus velocidades relativas en cm/año. La gran mayoría de los sismos se producen en las fronteras de dichas placas, principalmente en la zona de subducción y a lo largo de la falla de San Andrés, entre las placas Norteamericana y del Pacífico. Durante los sismos grandes ocurren los mayores desplazamientos entre placas, pudiendo ser hasta de algunos metros.

El territorio nacional, asociado al Cinturón Circumpacífico, se encuentra afectado por la movilidad de cuatro placas tectónicas: la de Norteamérica, Cocos, Rivera y del Pacífico. En la figura 3.2.4.1 se muestra la configuración de estas placas; las flechas indican las direcciones y velocidades promedio de desplazamiento relativo entre ellas.

Menos frecuentes que los sismos por contacto entre placas (interplaca), son los que se generan en la parte interna de ellas (intraplaca), lejos de sus bordes, aún en zonas donde se ha llegado a suponer un nivel nulo de sismicidad. La energía liberada por estos temblores así como las profundidades en las que se origina, son similares a las de eventos interplaca. Los ejemplos más importantes de este tipo son los sismos de Bavispe, Sonora, en 1887, Acambay, Estado de México, en 1912 y enero de 1931 en Oaxaca.

En la ciudad capital, y en otras ciudades del país, a estos elementos se adicionan características adversas del subsuelo y gran densidad poblacional, que propician riesgo sísmico.

ONDAS SÍSMICAS

Al ocurrir un sismo, tres tipos básicos de ondas producen la sacudida que se siente y causa daños; sólo dos se propagan en todas direcciones en el interior de la Tierra; por ello se les denomina ondas internas. La más rápida de éstas es la onda primaria u onda P, cuya velocidad varía dependiendo del tipo de roca, entre 1,100 y 8,000 m/s.

La característica principal de esta onda es que alternadamente comprime y expande la roca, en la misma dirección de su trayectoria. Es capaz de propagarse a través de rocas (sólidos) y de líquidos; por ejemplo, el magma y los océanos. Además, se puede transmitir a través de la atmósfera; en ocasiones, personas y animales la perciben como un sonido grave y profundo.

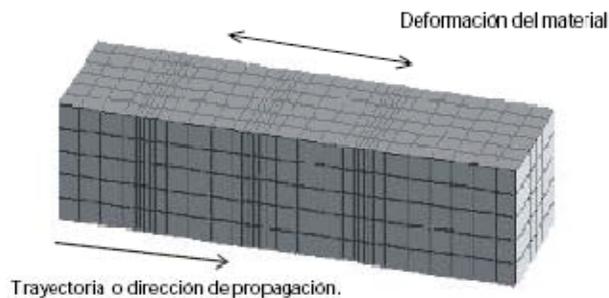


Figura 3.2.4.2. Onda P

La segunda onda, llamada onda S o secundaria, viaja a menor velocidad que la P (normalmente entre 500 y 4,400 m/s). Mientras se propaga, deforma el material lateralmente respecto de su trayectoria. Por esta razón no se transmite en fluidos (líquidos y gases).

Cuando ocurre un terremoto primero se siente, en un sitio a cierta distancia del epicentro, la onda P, con un efecto de retumbo que hace vibrar paredes y ventanas. Unos segundos después llega la onda S, con movimiento vertical de arriba hacia abajo -y viceversa- y de lado a lado, de tal manera que sacude la superficie del terreno vertical y horizontalmente. Este es el movimiento responsable del daño a las construcciones, en zonas cercanas al epicentro e incluso a distancias considerables.

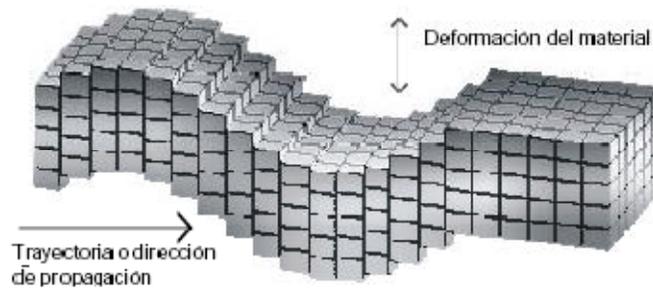


Figura 3.2.4.3. Onda S

El tercer tipo de ondas sísmicas es el de las llamadas ondas superficiales, cuya característica es propagarse por la parte más superficial de la corteza terrestre; a medida que la profundidad aumenta disminuye la amplitud de su movimiento. Las ondas superficiales generadas por el terremoto se pueden clasificar en dos grupos:

Las ondas Love, llamadas así en honor de su descubridor, el físico A.E.H. Love, éstas deforman las rocas similarmente a las ondas S, aunque únicamente en dirección horizontal.

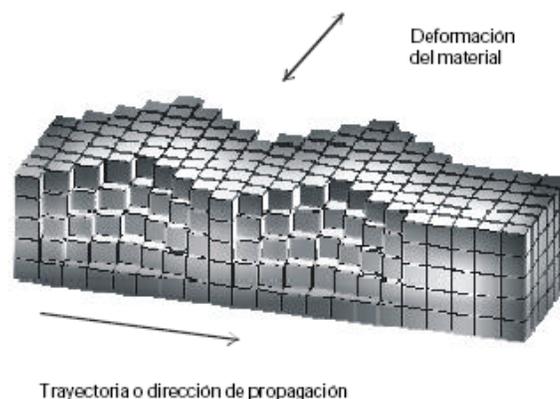


Figura 3.2.4.4. Onda Love

Las ondas Rayleigh, en honor de Lord Rayleigh, producen movimiento vertical, similar al de las olas marinas. Las ondas superficiales viajan más despacio que las internas. De las ondas superficiales, las Love son un poco más rápidas. Debido al componente vertical del movimiento de las Rayleigh, los cuerpos de agua, por ejemplo lagos, pueden ser afectados. A causa del movimiento lateral del sustrato rocoso de lagos y bahías, las ondas Love (que no se propagan en el agua) pueden afectar la superficie de estos cuerpos de agua.

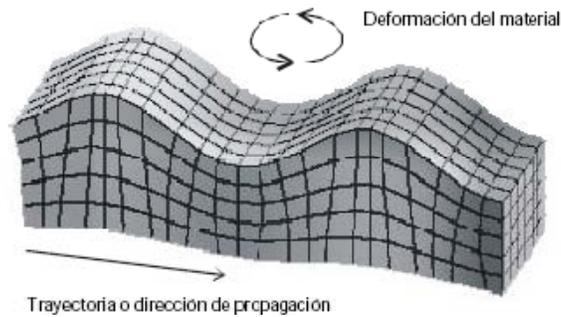


Figura 3.2.4.5. Onda Rayleigh

La intensidad de un sismo en un lugar determinado, se evalúa mediante la Escala Modificada de Mercalli, como se muestra en la figura 3.2.4.7.

Magnitud en Escala Richter	Efectos del terremoto
menor a 3.5	Generalmente no se siente, pero es registrado.
3.5 - 5.4	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores.
5.5 - 6.0	Ocasiona daños ligeros a edificios.
6.1 - 6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas.
7.0 - 7.9	Terremoto mayor. Causa graves daños.
8 ó mayor	Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas.

Figura 3.2.4.6. Escala de Richter

CAPÍTULO III
RIESGOS

A continuación se muestra la escala de intensidades modificada de Mercalli, la cual se asigna en función de los efectos causados en el hombre, en sus construcciones y en el terreno.

Escala	Descripción
I	No es sentido, excepto por algunas personas bajo circunstancias especialmente favorables.
II	Sentido sólo por muy pocas personas en posición de descanso, especialmente en los pisos altos de los edificios. Los objetos delicadamente suspendidos pueden oscilar.
III	Sentido claramente en interiores especialmente en pisos altos de los edificios, aunque mucha gente no lo reconoce como un terremoto.
IV	Durante el día es sentido en interiores por muchas personas; al aire libre por algunos. Por la noche algunos se despiertan. Los platos, puertas y ventanas agitadas; las paredes crujen. Sensación como si un camión pesado chocara contra el edificio. Los automóviles parados se balancean apreciablemente.
V	Sentido por casi todos, muchos se despiertan. Algunos platos, ventanas y similares rotos; grietas en el revestimiento en algunos sitios. Objetos inestables volcados. Algunas veces se aprecia balanceo de árboles, postes y otros objetos altos. Los péndulos de los relojes pueden pararse.
VI	Sentido por todos, muchos se asustan y salen al exterior. Algún mueble pesado se mueve; algunos casos de caída de revestimientos y chimeneas dañadas. Daño leve.
VII	Todo el mundo corre al exterior. Daños insignificantes en edificios de buen diseño y construcción; leve a moderado en estructuras comunes bien construidas; considerables en estructuras pobremente construidas o mal diseñadas; se rompen algunas chimeneas. Notado por algunas personas que conducen automóviles.
VIII	Daño leve en estructuras diseñadas especialmente para resistir sismos; considerable en edificios comunes bien construidos, llegando hasta colapso parcial; grande en estructuras de construcción pobre. Los muros de relleno se separan de la estructura. Caída de chimeneas, objetos apilados, postes, monumentos y paredes. Muebles pesados volcados. Eyección de arena y barro en pequeñas cantidades. Cambios en pozos de agua. Cierta dificultad para conducir automóviles.
IX	Daño considerable en estructuras de diseño especial; estructuras bien diseñadas pierden la vertical; daño mayor en edificios comunes bien construidos, colapso parcial. Edificios desplazados de los cimientos. Grietas visibles en el terreno. Tuberías subterráneas rotas.
X	Algunas estructuras bien construidas en madera, destruidas; la mayoría de las estructuras de mampostería y marcos, destruidas incluyendo sus cimientos; suelo muy agrietado. Rieles torcidos. Deslizamientos de tierra considerables en las orillas de los ríos y en laderas escarpadas. Movimientos de arena y barro. Agua salpicada y derramada sobre las orillas.
XI	Pocas o ninguna obra de mampostería quedan en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el suelo. Tuberías subterráneas completamente fuera de servicio. La tierra se hunde y el suelo se desliza en terrenos blandos. Rieles muy retorcidos.
XII	Destrucción total. Se ven ondas sobre la superficie del suelo. Líneas de mira (visuales) y de nivel deformadas. Objetos lanzados al aire.

Figura 3.2.4.7. Escala de intensidad Mercalli modificada y abreviada

Para visualizar los daños y efectos a nivel regional, producidos por un sismo de magnitud importante, la elaboración de mapas de intensidades sísmicas resulta de gran utilidad. En ellos se presentan curvas, llamadas isosistas, que separan zonas con distintos grados de intensidad y que permiten comparar las áreas y niveles de afectación producto de un evento en particular. Las intensidades del sismo del 19 de septiembre de 1985 en México, se muestran en la figura 3.2.4.8. Puede observarse que,

además de verse afectada una gran parte del país de manera significativa, en algunos sitios las intensidades fueron anómalamente grandes con relación a su entorno, como en el caso de la Ciudad de México y Ciudad Guzmán, Jal.

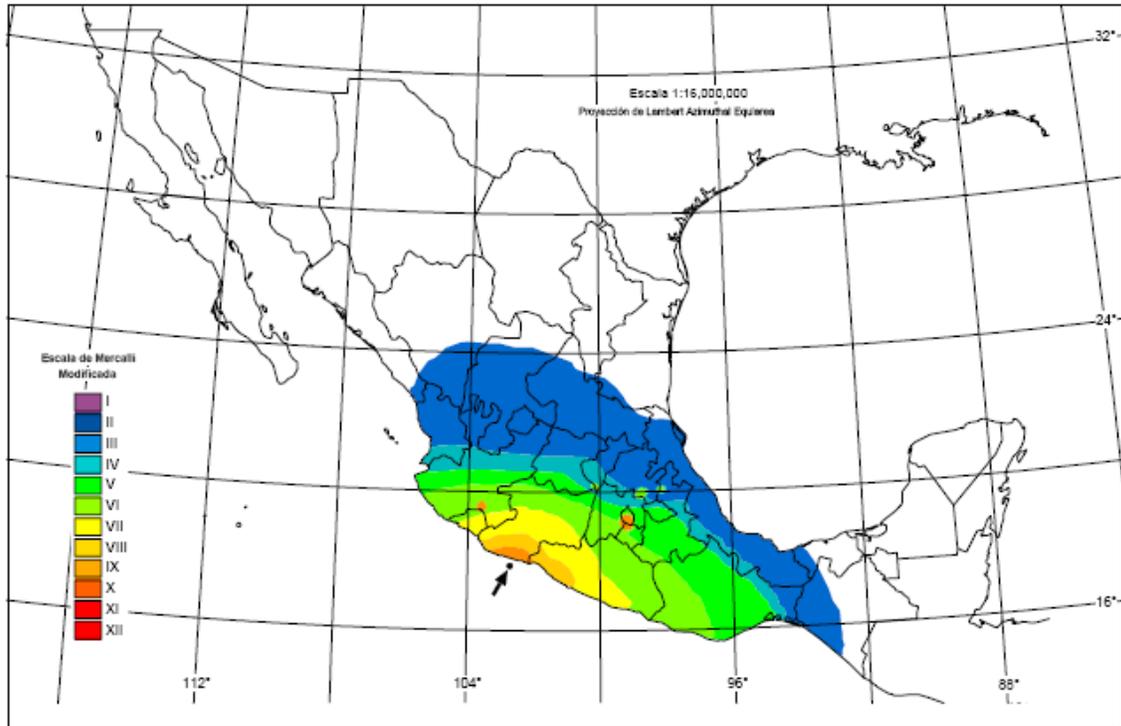


Figura 3.2.4.8. Los distintos grados de la Escala Modificada de Mercalli se representan con colores. El epicentro del sismo se indica con una flecha en la costa de Michoacán. A partir de la zona epicentral, los daños y efectos producidos por el sismo disminuyen con la distancia. Sin embargo, se observan zonas alejadas del epicentro (Ciudad de México y Ciudad Guzmán), donde los daños y efectos, debido a condiciones particulares del terreno, fueron similares a aquellos de la zona epicentral.

Nuestro país cuenta con datos históricos acerca de sismos a partir del siglo XIV, es un período corto en comparación con los de algunos países asiáticos o europeos. Como resultados de estudios recientes, se han publicado referencias históricas de sismos a partir de la época prehispánica hasta el inicio del presente siglo (García y Suárez, 1998). Dicha información resulta de gran valor para conocer, no sólo los daños producidos, sino muy aproximadamente las zonas de origen de los temblores en épocas en que se carecía de instrumentos de registro, aunque los reportes sólo cubren áreas habitadas en esas épocas.

Estaciones para el registro de sismos

El Servicio Sismológico Nacional (SSN), al fundarse en 1910, contaba con nueve estaciones sismológicas para el registro y localización de temblores.

Actualmente, dicha institución, dependiente de la Universidad Nacional Autónoma de México, cuenta con más de 50 estaciones permanentes con las que determina los parámetros más importantes de los sismos ocurridos en México, entre otros, la localización epicentral, profundidad, magnitud y tiempo de origen. Esta información es publicada, de manera preliminar, minutos después de ocurrir un evento; los datos definitivos son publicados en boletines mensuales. De esta manera, el SSN proporciona información indispensable y confiable acerca de la ubicación y tamaño de los temblores, a fin de realizar o afinar estudios de riesgo sísmico en diferentes zonas del país, así como para orientar acciones de protección civil.

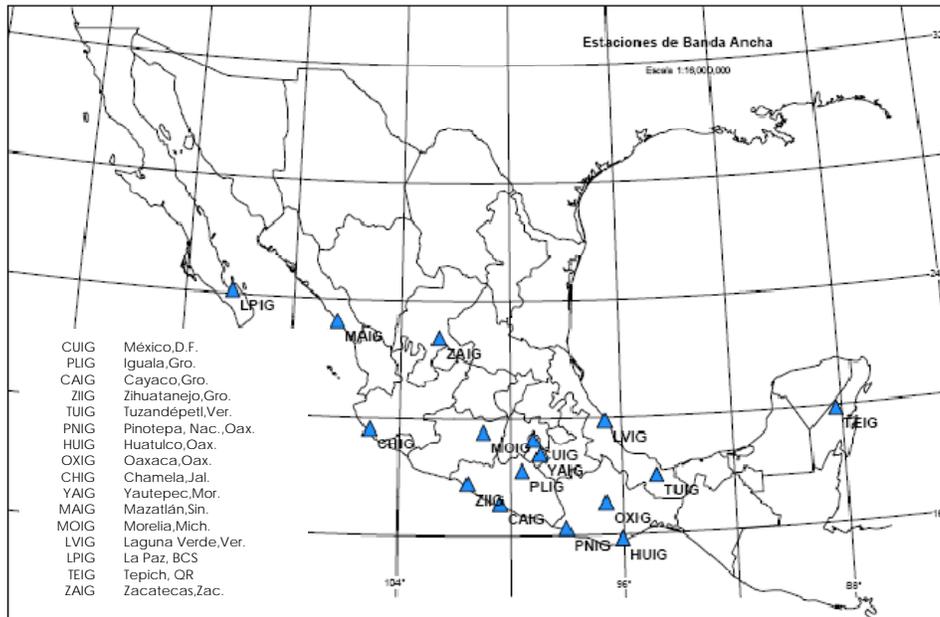


Figura 3.2.4.9. El Servicio Sismológico Nacional (SSN), con sede en el Instituto de Geofísica de la UNAM, cuenta con 51 sismógrafos distribuidos en función de la sismicidad propia del territorio nacional; 18 de ellos con tecnología de alta resolución (banda ancha). La mayoría de las estaciones envía sus señales al puesto central de registro en la UNAM. Sólo siete estaciones producen registros visibles únicamente en el sitio del instrumento. Particularmente para mejorar la calidad de las localizaciones de sismos en el Valle de México, el SSN cuenta con una red de 12 sismógrafos, ubicados en su mayoría en el Estado de México.

Regionalización sísmica

Nuestro país está integrado a una gran zona generadora de sismos, los cuales han ocurrido durante millones de años. Los epicentros de la mayor parte de los terremotos de gran magnitud (mayores de 7, por ejemplo), que ocasionan grandes daños, se ubican en la costa del Pacífico, a lo largo de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas. Sin embargo, también han ocurrido grandes sismos en el centro y el sur de Veracruz y Puebla, norte y centro de Oaxaca y Chiapas, Estado de México y la península de Baja California, especialmente en la zona fronteriza con

CAPÍTULO III
RIESGOS

los Estados Unidos. En los estados de Zacatecas, Durango, Sinaloa y Sonora, la sismicidad es más bien escasa. A fines del siglo XIX, en este último estado ocurrió un sismo de magnitud 7.3. En los estados restantes no se han originado movimientos sísmicos de importancia, aunque algunos (por ejemplo Nayarit, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Tlaxcala y Tabasco) llegan a ser afectados por los grandes sismos que se originan en otras regiones.

El territorio mexicano está clasificado según el peligro sísmico al que están sujetas las construcciones. Para ello se han delimitado cuatro zonas: A, B, C y D, cuyo peligro es de menor a mayor.

Básicamente se determinaron en función de la sismicidad propia de cada región. A esta clasificación se le conoce como regionalización sísmica y tiene como objetivo principal, junto con manuales de obras civiles, proporcionar a los diseñadores y constructores la información necesaria para el cálculo de valores en diseño de obras, de tal manera que resulten suficientemente seguras y su costo no sea excesivo. Se advierte que esta regionalización es aplicable a estructuras construidas en terreno firme; no se toma en cuenta el fenómeno de amplificación del movimiento sísmico por efecto de suelos blandos. Esto puede ser decisivo para el peligro sísmico de algunos lugares, como la ciudad de México. Utilizando los datos del censo poblacional del año 2000 y la regionalización sísmica, puede tenerse una estimación del volumen de población más expuesto al fenómeno sísmico.

En las zonas C y D (de mayor peligro), que juntas incluyen 1001 municipios de los 2443 que tiene la República Mexicana, se concentraron para entonces poco más de 24 millones de habitantes.

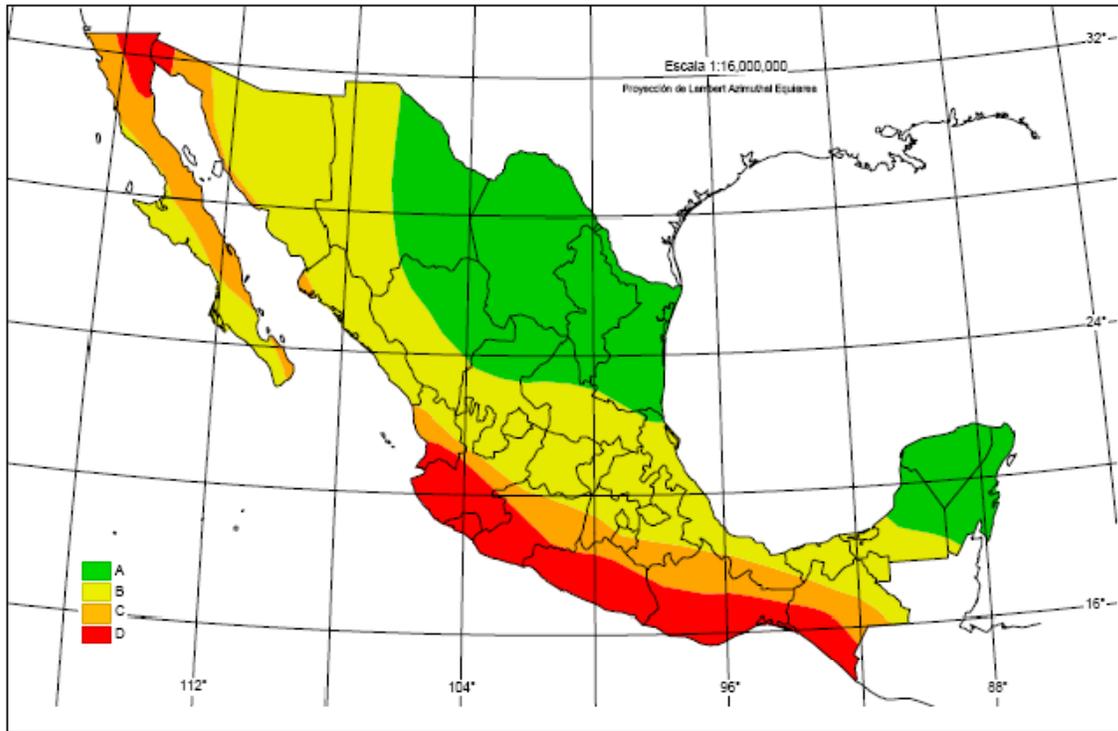


Figura 3.2.4.10. Clasificación de riesgo sísmico. La zona A es aquella donde no se tienen registros históricos, no se han reportado sismos grandes en los últimos 80 años y donde las aceleraciones del terreno se esperan menores al 10% del valor de la gravedad (g). En la zona D han ocurrido con frecuencia intensos temblores y las aceleraciones del terreno que se esperan pueden ser superiores al 70% de g. Las zonas B y C, intermedias a las dos anteriores, presentan sismicidad con menor frecuencia o bien, están sujetas a aceleraciones del terreno que no rebasan el 70% de g.

Se ha observado claramente que la distribución de daños por sismo en áreas urbanas, presenta fuertes variaciones en función del tipo de suelo. Los daños se acentúan en aquellas zonas con sedimentos poco consolidados, normalmente con grandes espesores en cuencas aluviales o depósitos de barra.

Si a éstos se agregan los 8.6 millones de habitantes en el año 2005, correspondientes al Distrito Federal, área donde la amplificación del movimiento sísmico en terreno blando implica un nivel de peligro alto, se tiene que cerca de 32.6 millones de un total de 103 millones de habitantes (aproximadamente el 33%) están expuestos a un nivel de peligro por sismo alto o severo.

En la regionalización sísmica no se encuentran representadas aquellas áreas, generalmente valles aluviales, antiguas zonas lacustres, etc., donde el movimiento sísmico será amplificado, produciendo intensidades mayores a las del entorno, como se mostró en el mapa de isosistas del 19 de septiembre de 1985 para la Ciudad de México.

III.2.5 VULCANISMO

México, como muchas otras naciones de América Latina, es un país rico en volcanes localizado en la región circumpacífica. La tasa de erupción promedio en México durante los últimos 500 años ha sido de unas 15 erupciones de diversos tamaños por siglo. De esas, algunas han sido muy destructivas, como las del Colima de 1576 y 1818 o las del San Martín Tuxtla de 1664 y 1793 o recientemente la del volcán El Chichón en 1982, que causó numerosas víctimas; éste devastó 150 km² de áreas boscosas y de cultivo, además destruyó varios miles de cabezas de ganado. Otras erupciones, como el nacimiento del volcán monogenético Parícutín, han producido flujos de lava, provocando la destrucción de poblaciones y tierras cultivables, pero sin causar víctimas.

La actividad volcánica puede tener efectos destructivos, pero también efectos benéficos. Las tierras de origen volcánico son fértiles, por lo general altas, de buen clima, y ello explica el crecimiento de los centros de población en esos sitios. Los habitantes de esas regiones y los usuarios de los servicios disponibles deben adquirir entonces una percepción clara de los beneficios y de los riesgos que implica vivir allí. Esto es especialmente importante en zonas donde hay volcanes que no han manifestado actividad reciente. Al no existir testigos o documentos de las erupciones, puede desarrollarse entre la población una percepción incorrecta del riesgo volcánico. En el mundo existen alrededor de 1300 volcanes continentales activos (entendiendo como activos aquellos que han mostrado alguna actividad eruptiva en los últimos 10,000 años). De éstos, 550 han tenido alguna erupción en tiempos históricos (esto es, han sido presenciadas o han afectado a seres humanos). Los volcanes activos mantienen una tasa eruptiva global de 50 a 60 erupciones por año, y en promedio, existen en todo momento unos 20 volcanes en actividad en distintos puntos del globo.

A lo largo de la historia, poblaciones asentadas cerca de esos 550 volcanes en distintas partes del mundo han soportado los efectos de la actividad volcánica. Se estima que cerca de 270,000 personas han perecido en distintos lugares del mundo por efecto de desastres volcánicos desde el año 1700 de nuestra era.

Las erupciones volcánicas resultan del ascenso del magma que se encuentra en la parte interna de un volcán activo.

Cuando el magma se acerca o alcanza la superficie, pierde todos o parte de los gases que lleva en disolución, formando gran cantidad de burbujas en su interior. Las erupciones son entonces emisiones de mezclas de

magma (roca fundida rica en materiales volátiles), gases volcánicos que se separan de este (vapor de agua, bióxido de carbono, bióxido de azufre y otros) y fragmentos de rocas de la corteza arrastrados por los anteriores. Estos materiales pueden ser arrojados con distintos grados de violencia, dependiendo de la presión de los gases provenientes del magma o de agua subterránea sobrecalentada por el mismo.

Cuando la presión dentro del magma se libera a una tasa similar a la que se acumula, esto es, cuando el magma puede liberar los gases en disolución en forma equilibrada, el magma puede salir a la superficie sin explotar. En este caso se tiene una *erupción efusiva*. La roca fundida emitida por un volcán en estas condiciones sale a la superficie con un contenido menor de gases y se llama *lava*. Comúnmente, las lavas recién emitidas se encuentran en el rango de temperaturas entre 700 y 1200 °C, dependiendo de su composición química. Si el magma acumula más presión de la que puede liberar, las burbujas en su interior crecen hasta tocarse y el magma se fragmenta violentamente, produciendo una *erupción explosiva*.

Todas las rocas que se han formado a partir del enfriamiento de un magma se llaman *rocas ígneas*. Cuando el enfriamiento tuvo lugar en el interior de la Tierra, y las rocas fundidas no llegaron a emerger a la superficie, se llaman *rocas ígneas intrusivas*. Cuando la roca se ha formado a partir del enfriamiento de lava en la superficie, se denomina *roca ígnea extrusiva*. A todas las rocas que han sido producidas por algún tipo de actividad volcánica, sean intrusivas o extrusivas, se les llama rocas volcánicas.

Pero no todas las rocas ígneas son volcánicas. Existen grandes masas de rocas ígneas intrusivas, denominadas plutónicas, que se han enfriado a gran profundidad, sin estar asociadas a ningún tipo de actividad volcánica, por ejemplo, ciertos tipos de granito.

Los materiales rocosos fragmentados emitidos por una erupción, lanzados en forma sólida o líquida, se denominan *piroclastos*. Qué tan fina sea la fragmentación de los piroclastos depende de la intensidad de la erupción explosiva. Éstos, al depositarse en el suelo, pueden cementarse por varios procesos, tales como solidificación por enfriamiento si venían fundidos, o por efecto del agua. Los piroclastos cementados forman las *rocas piroclásticas*. Una forma genérica de referirse a los productos piroclásticos, cualesquiera que sea su forma, es *tefra*. A los fragmentos de tefra con tamaño entre 0.004 mm y 2 mm se les llama *ceniza volcánica*; a los que tienen entre 2 mm y 64 mm *lapilli*, y los mayores de 64 mm se les denomina *bloques o bombas* dependiendo de su morfología. El magma, antes de

emerger en una erupción, se acumula bajo el volcán a profundidades de unos cuantos kilómetros en una *cámara magmática*.

Durante una erupción explosiva, el magma, al alcanzar la superficie, produce grandes cantidades del gas que traía en disolución, y libera enormes cantidades de energía por diversos procesos. Esta diversidad de mecanismos presentes en la erupción hace difícil medir su tamaño. Así, la medida del tamaño de una erupción es uno de los problemas fundamentales de la vulcanología. Por ejemplo, en el caso de los sismos, existen herramientas precisas para determinar la energía liberada por un temblor en forma de ondas elásticas (la magnitud sísmica, generalmente expresada en términos de escalas como la de Richter) y la energía que llega a una cierta región (intensidad sísmica, comúnmente expresada en términos de la escala de Mercalli) midiendo la amplitud, frecuencia y duración de las señales registradas por sismógrafos.

Los volcanes pueden liberar energía como calor (por la alta temperatura del magma emitido), como energía cinética (energía de movimiento de los fragmentos lanzados), energía sísmica, etc.

Los peligros volcánicos

El potencial destructivo de los volcanes representa actualmente una amenaza a la vida y propiedades de millones de personas. Es sumamente difícil estimar el valor de los daños materiales ocasionados por las erupciones, pero en algunos casos éstas han involucrado la pérdida de ciudades enteras, la destrucción de bosques y cosechas, y el colapso de las economías de las regiones afectadas por largos períodos, especialmente cuando ocurren en países relativamente pequeños y en los que el valor de los daños puede representar un por ciento importante de su producto interno.

El concepto de riesgo volcánico involucra al peligro volcánico tal como se describe arriba, más la distribución y vulnerabilidad de la población y de la infraestructura de producción, y comunicaciones alrededor del volcán, definida como la susceptibilidad de esos sistemas de ser afectados por el fenómeno natural. Esta información también puede representarse en un mapa convencional, pero considerando el gran número de datos que comprende y su variabilidad en el tiempo, es más conveniente procesarla y representarla por medio de un sistema de información geográfica.

En la figura 3.2.5.3 se muestra el mapa de peligros del volcán Popocatepetl, reducido y adaptado del mapa publicado por el Instituto de Geofísica de la UNAM en 1995. Este mapa fue diseñado para ser usado

en foros académicos así como por las autoridades de Protección Civil y la población en general como un medio de información en la eventualidad de una erupción del volcán Popocatepetl. Fue elaborado basándose en la información geológica disponible hasta enero de 1995, considerando la extensión máxima de los depósitos originados por erupciones volcánicas pasadas que se clasificaron en tres diferentes magnitudes. Los límites entre las tres áreas indicadas en el mapa fueron trazados considerando el alcance máximo de los productos originados por estas erupciones y las distancias máximas de los flujos modelados por computadora. Además, el borde de cada área fue incrementado en varios kilómetros como margen de seguridad.

Las regiones de peligro definidas en el mapa de la figura 3.2.5.3, han sido divididas en sectores. Las zonas de poblaciones en los distintos sectores se incluyen a la derecha del mapa. Sin embargo, este mapa aún no incluye el análisis de vulnerabilidad. Con la información de los mapas de peligro volcánico, la base de datos topográficos a una escala adecuada y los datos de la distribución de la población, es posible elaborar una microzonificación del riesgo representada en mapas detallados al nivel de municipios o poblaciones individuales, en los que puedan identificarse los sitios vulnerables a peligros específicos.

En el mapa también se muestran cuatro diferentes áreas, que definen regiones de acuerdo con su peligrosidad. Cada una de las áreas marcadas del 1 al 3 incluye los distintos tipos de peligro volcánico asociado respectivamente a erupciones volcánicas grandes, medianas y pequeñas.

El área 1, que es la más cercana a la cima del volcán, representa un mayor peligro porque es la más frecuentemente afectada por erupciones, independientemente de su magnitud. Esta área encierra peligros tales como flujos piroclásticos de material volcánico a altas temperaturas que descienden del volcán a velocidades extremadamente altas (100-400 km/h) además de flujos de lodo y rocas que se mueven siguiendo los cauces existentes a velocidades menores (<100 km/h). En esta área han ocurrido dos eventos o erupciones importantes cada 1,000 años en promedio.

El área 2, representa un peligro menor que el área 1 debido a que es afectada por erupciones con menor frecuencia. Sin embargo, las erupciones que han alcanzado a esta área producen un grado de peligro similar al del área 1. La frecuencia con que ocurren eventos volcánicos que afectan a esta área es de 10 veces cada 15,000 años en promedio.

CAPÍTULO III
RIESGOS

El área 3, abarca una zona que ha sido afectada en el pasado por erupciones extraordinariamente grandes. Erupciones de tal magnitud son relativamente raras por lo que el peligro dentro de estas áreas es menor en relación con el de las áreas 1 y 2, más cercanas al volcán. Los tipos de peligro en el área 3 son esencialmente los mismos que los de las otras áreas. En los últimos 40,000 años, han ocurrido 10 erupciones de este tipo.

Las regiones marcadas como área 4 (en café) están expuestas al peligro por flujos de lodo e inundaciones derivadas de un posible arrastre de depósitos volcánicos por agua proveniente de lluvias torrenciales o de una fusión catastrófica del glaciar del Popocatepetl.

La totalidad de esta versión reducida del mapa cubre aproximadamente la zona que también podría ser afectada por lluvias de ceniza volcánica y pómez, para erupciones de máxima intensidad. La influencia de los vientos dominantes controlaría la distribución de las cenizas.



Figura 3.2.5.1. Erupción del Volcán Parícutín en 1943.



Figura 3.2.5.2. Flujo de lava del Volcán Colima en 1982.

CAPÍTULO III
RIESGOS

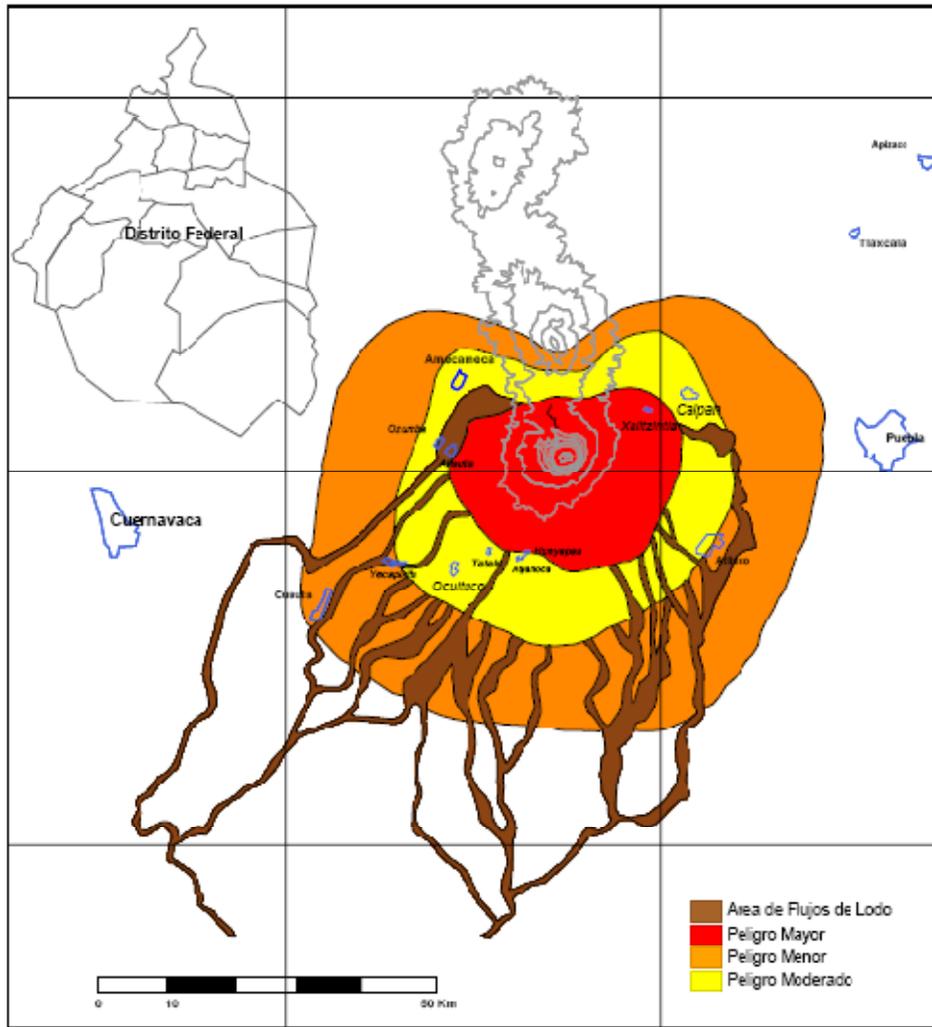


Figura 3.2.5.3. Mapa de riesgo, del volcán Popocatepetl.

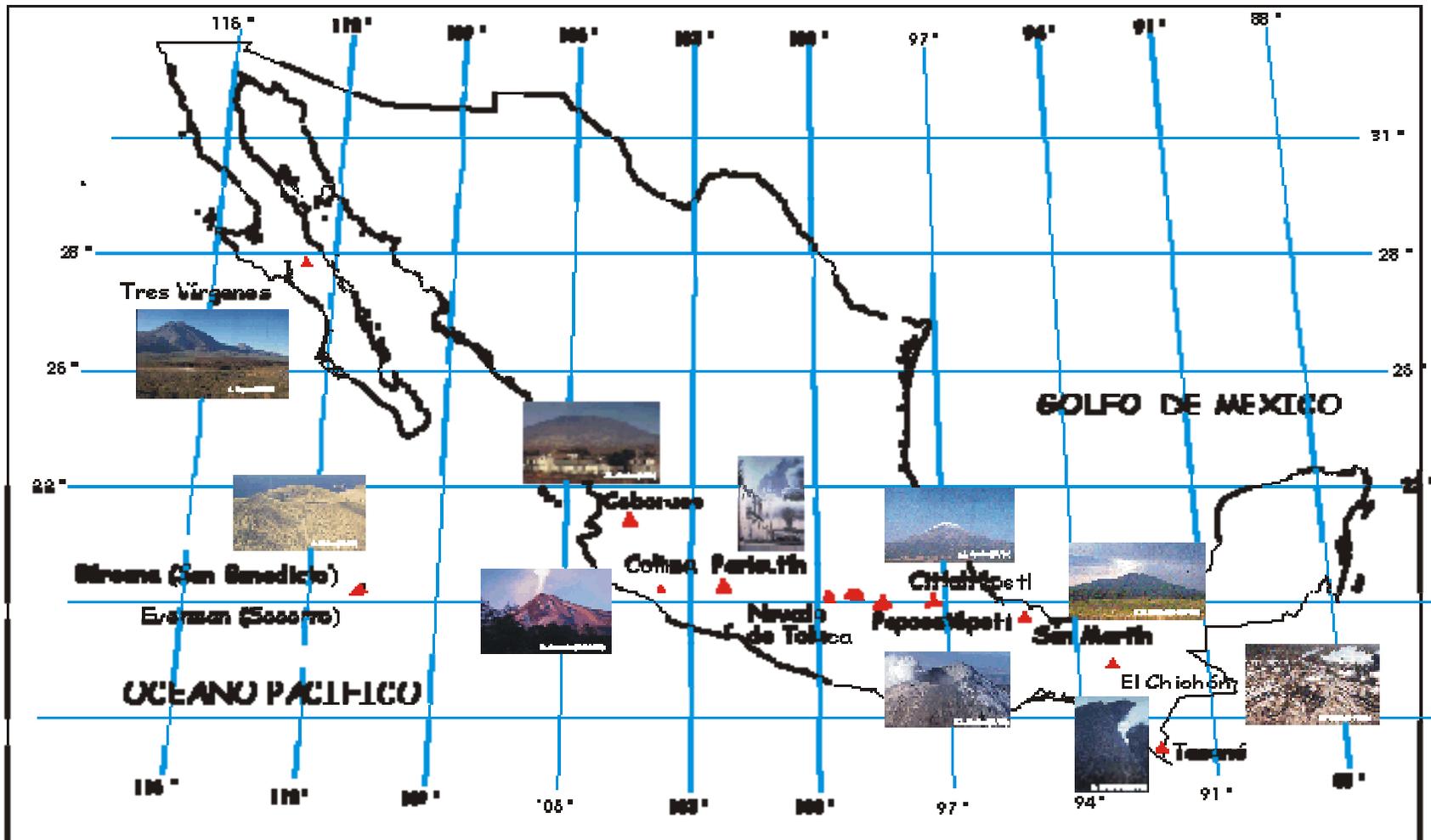


Figura 4.2.5.4. Algunos volcanes de México, que han tenido erupciones en tiempos geológicos muy recientes o históricos

III.3 RIESGOS HIDROMETEOROLÓGICOS

Los riesgos hidrometeorológicos son aquellos fenómenos que se generan por la acción violenta de los agentes atmosféricos, tales como:

- deforestación y desertificación
- huracanes
- inundaciones
- lluvias
- nevadas
- sequías
- temperaturas extremas
- tormentas de granizo
- tormentas eléctricas
- vientos

México es afectado por varios fenómenos hidrometeorológicos, que pueden provocar la pérdida de vidas humanas y/o daños materiales de importancia.

Acontecimientos como el del huracán Pauline en Acapulco (1997), los derivados de las lluvias intensas en Tijuana (1993 y 1998), en Pijijiapan y Valdivia en Chiapas (1998) y en Topochico en Monterrey (1999), también las inundaciones y deslaves ocurridos en octubre de 1999 en Tabasco, Veracruz, Puebla e Hidalgo, el ciclón tropical Keith en el año 2000, posteriormente en el año 2005, se presentaron Emily, Stan y Wilma, constituyen los ejemplos más recientes que ponen de manifiesto la gravedad de las consecuencias de esta clase de fenómenos.

Las fuertes precipitaciones pluviales pueden generar intensas corrientes de agua en ríos, flujos con sedimentos en las laderas de las montañas, movimientos de masa que transportan lodo, rocas, arena, árboles, y otros objetos que pueden destruir casas, tirar puentes y romper tramos de carreteras.

III.3.1 DEFORESTACIÓN Y DESERTIFICACIÓN

La **deforestación** es el proceso de desaparición de los bosques o masas forestales, fundamentalmente causada por la actividad humana, principalmente debido a las talas realizadas por la industria maderera, así como para la obtención de suelo para cultivos agrícolas.

En los países menos desarrollados las masas boscosas se reducen año tras año, mientras que en los países industrializados se están recuperando debido a las presiones sociales, reconvirtiéndose los bosques en atractivos turísticos y lugares de esparcimiento.

Las plantaciones de reforestación no sustituyen en ningún caso al bosque, ya que éste es un ecosistema que tarda décadas y en algunos casos siglos en formarse. En cambio, la reforestación en el mejor de los casos es un conjunto de árboles situados según una separación fijada artificialmente, entre los que surge una vegetación herbácea o arbustiva que no suele darse en el bosque.

Una de las consecuencias importantes de la deforestación es que muchas empresas talan árboles en lugares que son fundamentales para el desarrollo de algunas especies en peligro de extinción, o únicas en ese dicho lugar, y, muchas veces, los mismos bosques donde se tala son una importante fuente hídrica.

La **desertificación** consiste en un proceso mediante el cual la tierra pierde progresivamente su capacidad para sostener y reproducir vegetación. Las causas pueden ser una evolución natural del clima o, más frecuentemente un manejo inadecuado de la explotación de recursos hídricos o de suelo, como el sobre-pastoreo, los desmontes o los asentamientos humanos mal planeados.

Las zonas de clima árido o semiárido son las más propensas a sufrir este fenómeno, que por sus características de generación lenta y por sus consecuencias principalmente agrícolas no es atendido generalmente dentro del ámbito de la protección civil. El fenómeno está muy ligado al de erosión.



Figura 3.3.1.1. Por desertificación y sequía hay pérdidas de cultivos.

CAPÍTULO III
RIESGOS
IV.3.2 HURACÁN

La República Mexicana, debido a su ubicación entre los paralelos 16° y 32° latitud norte y por la gran extensión de litorales con que cuenta, es afectada por ciclones tanto en las costas del océano Pacífico como en las del Golfo de México y el Caribe. Por lo mismo, los asentamientos humanos cercanos a las costas, están expuestos a la influencia de las perturbaciones meteorológicas.

Las áreas directa o indirectamente afectadas 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 63 km/h, de los cuales aproximadamente 15 ocurren en el océano Pacífico y 10 en el Atlántico. De éstos, anualmente 4 ciclones (dos del Pacífico y dos del Atlántico) inciden a menos de 100 km del territorio nacional.

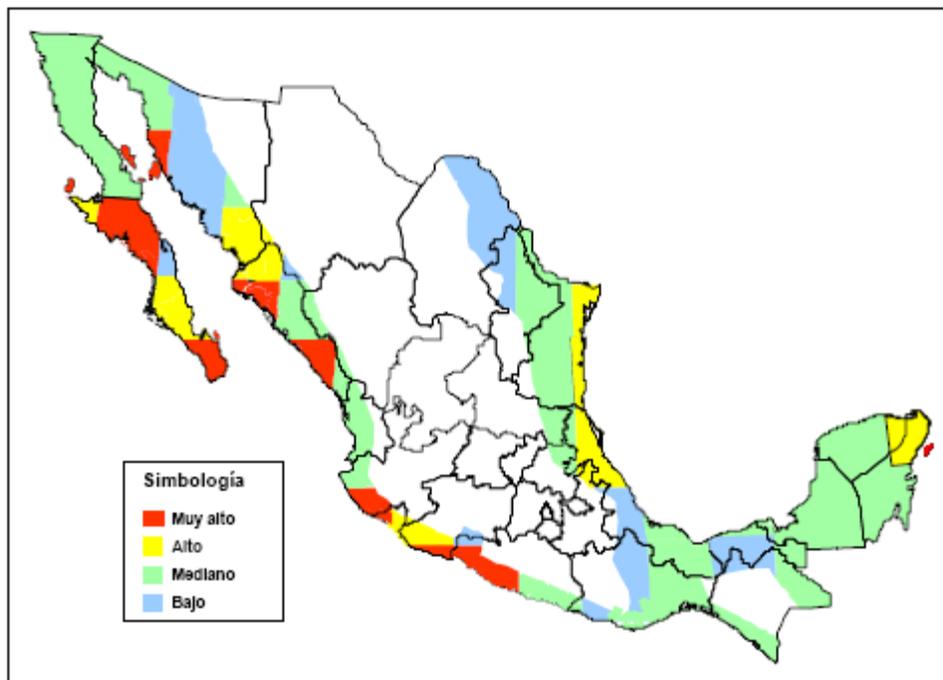


Figura 3.3.2.1. Mapa de peligros por incidencia de ciclones.

Un ciclón, así como cualquier fenómeno natural, puede ocasionar un desastre de diversas proporciones. Su impacto destructivo depende no sólo de su intensidad, sino también de la conformación urbana que tengan las poblaciones.

El viento distingue al ciclón de otros tipos de tormentas severas. Es el generador de otros fenómenos físicos que causan peligro: el oleaje y la marea de tormenta. La velocidad de los huracanes tienen vientos mayores a los 120 km/h que son muy peligrosos para la navegación (por el oleaje

*CAPÍTULO III
RIESGOS*

que desarrolla) y generan fuerzas de arrastre que pueden levantar techados, tirar árboles y destruir casas. En el caso del huracán Gilberto el viento alcanzó una velocidad máxima con ráfagas de 280 km/h y una velocidad máxima sostenida de 210 km/h.

Los ciclones tropicales traen consigo enormes cantidades de humedad, por lo que generan fuertes lluvias en lapsos cortos. Las intensidades de la lluvia son aún mayores cuando los ciclones enfrentan barreras montañosas, como sucedió con el huracán Pauline en Acapulco que presentó una intensidad máxima de precipitación de 120 mm/h y una lámina de lluvia de 411 mm en un día.

En la figura 3.3.2.2 se muestra la escala Saffir – Simpson, que es una escala que clasifica los huracanes según la intensidad del viento, desarrollada en 1969 por el ingeniero civil Hervert Saffir y el director del Centro Nacional de Huracanes de Estados Unidos, Bob Simpson.

Por la gran intensidad de los vientos y lo extenso de la zona en que actúan, se forman fuertes oleajes, que pueden dañar de modo importante a la zona costera. Por una parte, las estructuras en tierra, cercanas al mar quedan expuestas al oleaje al ascender el nivel medio del mar por la marea de tormenta y por otra, pueden acarrear gran cantidad de arena de la costa hacia otros sitios, con lo cual se disminuyen las playas.

Los ciclones tropicales también pueden producir efectos favorables, sobre todo porque son una de las principales fuentes de precipitación en el país y sus lluvias contribuyen a la recarga de acuíferos y aumentan el volumen de agua almacenado en las presas (especialmente en zonas con poca precipitación, como Monterrey, Nuevo León).



Figura 3.3.2.3. Efectos causados por el oleaje del huracán Nora, al pie de Cuesta en Acapulco, 1997.

CAPÍTULO III
RIESGOS

Categoría	Presión central (mb)	Vientos (km/h)	Marea de tormenta (m)	Características de los posibles daños materiales e inundaciones	
Perturbación tropical	1008.1 a 1010			Ligera circulación de vientos.	
Depresión tropical	1004.1 a 1080	< 62		Localmente destructivo.	
Huracán	Tormenta tropical	985.1 a 1004	62.1 a 118	1.1	Tiene efectos destructivos.
	1	980.1 a 985	118.1 a 154	1.5	Ningún daño efectivo a los edificios. Daños principalmente a casas rodantes, arbustos y árboles. También algunas inundaciones de carreteras costeras y daños leves en los muelles.
	2	965.1 a 980	154.1 a 178	2.0 a 2.5	Provoca algunos daños en los techos, puertas y ventanas de los edificios. Daños considerables a la vegetación, casas rodantes y muelles. Las carreteras costeras se inundan de los 2 a 4 horas antes de la entrada del centro del huracán. Las pequeñas embarcaciones sin protección rompen amarras.
	3	945.1 a 965	178.1 a 210	2.5 a 4	Provoca algunos daños estructurales a pequeñas residencias y construcciones auxiliares, con pequeñas fisuras en los muros de revestimiento. Destrucción de casas rodantes. Las inundaciones cerca de la costa destruyen las estructuras más pequeñas y los escombros flotantes dañan a las mayores. Los terrenos planos debajo de 1.5 m puede resultar inundados hasta 13 km de la costa o más.
	4	920.1 a 945	210.1 a 250	4.0 a 5.5	Provoca fisuras más generalizadas en los muros de revestimiento con derrumbe completo de toda la estructura del techo en las residencias pequeñas. Erosión importante de las playas, daños graves en los pisos bajos de las estructuras cercanas a la costa. Inundaciones de los terrenos planos bajos, debajo de 3 m situados hasta 10 km de la costa.
	5	< 920	>250	> 5.5	Derrumbe total de los techos en muchas residencias y edificios industriales. Algunos edificios se desmoronan por completo y el viento se lleva las construcciones auxiliares pequeñas, incluyendo techos. Daños graves en los pisos bajos de todas las estructuras situadas a menos de 4.6 m por encima del nivel del mar y a una distancia de hasta 460 m de la costa.

Figura 3.3.2.2. Escala de Saffir – Simpson.

III.3.3 INUNDACIÓN

Cuando el agua cubre una zona del terreno durante un cierto tiempo se forma una inundación. Cuanto más tiempo permanece el agua y más grande es el espesor del volumen de agua, causa mayores daños.

Las inundaciones pueden ocurrir por lluvias en la región, por desbordamiento de ríos, ascenso del nivel medio del mar, por la rotura de bordos, diques y presas, o bien, por las descargas de agua de los embalses.

Las inundaciones dañan a las propiedades, provocan la muerte de personas, causan la erosión del suelo y depósito de sedimentos. También afectan a los cultivos y a la fauna. Como suele presentarse en extensas zonas de terreno, son uno de los fenómenos naturales que provoca mayores pérdidas de vidas humanas y económicas.

Las inundaciones ocurren cuando el suelo y la vegetación no pueden absorber toda el agua que llega al lugar y escurre sobre el terreno muy lentamente; casi siempre tiene una capa de más de 25 cm de espesor, pero algunas veces alcanzan varios metros.

Entre los factores importantes que condicionan a las inundaciones están la distribución espacial de la lluvia, la topografía, las características físicas de los arroyos y ríos, las formas y longitudes de los cauces, el tipo de suelo, la pendiente del terreno, la cobertura vegetal, el uso del suelo, ubicación de presas y las elevaciones de los bordos de los ríos.

Debido a su ubicación geográfica en México, una de las causas de las lluvias intensas que generan inundaciones son los ciclones tropicales.

Cuando en un río se incrementa en poco tiempo la cantidad de agua que fluye en él, ya sea por el ingreso de agua de lluvia o por las descargas de una presa, se dice que se ha producido una avenida. Ésta podría originar la inundación cuando el nivel de agua del río se excede en las elevaciones de las márgenes de su cauce. Dependiendo de la rapidez con que se presenta el cambio en la cantidad de agua se puede hablar de avenidas súbitas, las cuales tienen un fuerte efecto destructivo debido a que concentran en un lapso corto una gran cantidad de agua con una fuerte velocidad que las hace muy destructivas.

El rompimiento de presas puede ser el resultado de una inundación o viceversa. Es muy importante estudiar los efectos de un rompimiento potencial de las presas en la zona debajo de ellas sobre todo cuando

CAPÍTULO III
RIESGOS

existen poblados, para que de esa forma se prevengan los posibles daños. Se puede afirmar que en cualquier región de México existe la posibilidad de sufrir inundaciones; sin embargo, las inundaciones más frecuentes se dan en las partes bajas o frente a las costas. Se estima que aproximadamente 150 personas fallecen anualmente en México por esta causa, siendo lo más común, el ahogamiento.

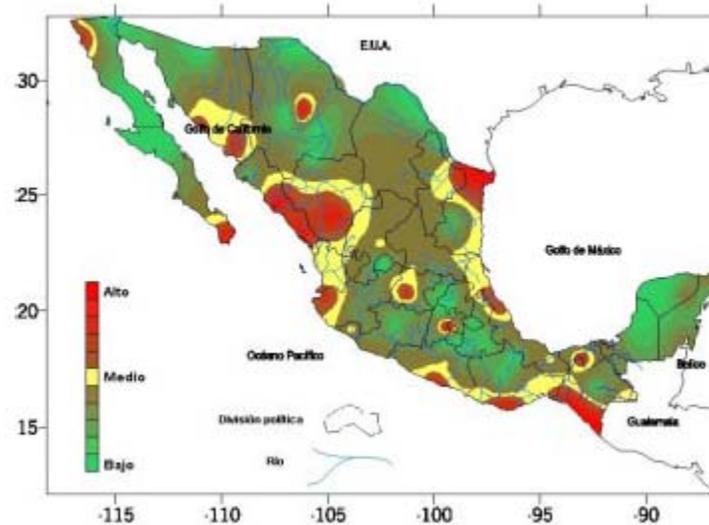


Figura 3.3.3.1. Zonas de peligro por inundaciones en la República Mexicana.

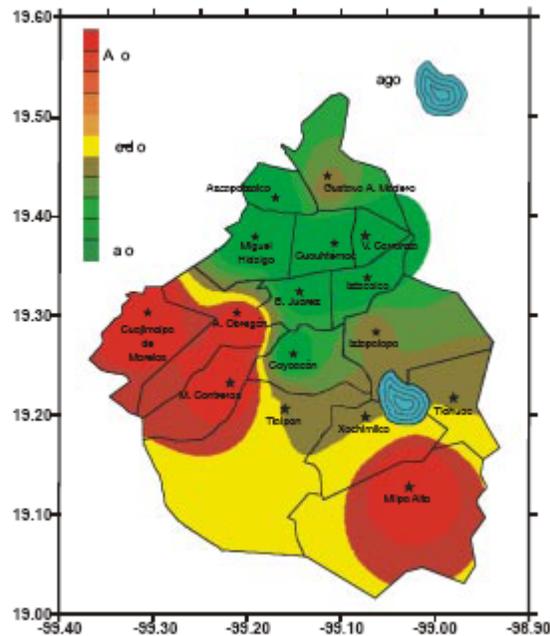


Figura 3.3.3.2. Zonas de peligro por inundación en el D.F., basadas en avenidas y escurrimientos de lodo.

III.3.4 LLUVIA

La precipitación puede manifestarse como lluvia, llovizna, nieve, granizo o cellisca, que es un tipo de niebla consistente en cristales de hielo suspendidos en el aire. La lluvia consiste de gotas de agua líquida con diámetro mayor a 0.5 mm. La llovizna está formada con gotas más pequeñas, de 0.25 mm o menos, que caen lentamente, por lo que rara vez la precipitación de este tipo supera 1 mm/h.

La humedad siempre está presente en la atmósfera, aún en los días que el cielo está despejado. Ella corresponde a la cantidad de vapor de agua en el aire. Cuando existe un mecanismo que enfría al aire, este vapor se condensa y se transforma al estado líquido en forma de gotas, o bien, al estado sólido como cristales de hielo; ambos estados dan lugar a cuerpos muy pequeños (su diámetro es del orden de 0.02 mm) que en conjunto constituyen las nubes.

Para que ocurra la precipitación se requiere que en las nubes exista un elemento (núcleo de condensación o de congelamiento) que propicie la unión de pequeños cuerpos (gotas de agua o cristales) que forman las nubes, a un tamaño tal que su peso exceda a los empujes debidos a las corrientes de aire ascendentes.

Estas gotas al caer también hacen que se junten otras por lo que el proceso se extiende como una reacción en cadena.

La humedad se produce por la evaporación en la superficie del agua de océanos, mares, lagos, lagunas, ríos, arroyos y de los suelos, así como por la evapotranspiración de plantas y animales.

La influencia de las sierras de México es tan marcada que los patrones de las tormentas tienden a parecerse a su conformación topográfica de la precipitación media anual. Por este motivo se llegan a producir las mayores precipitaciones en la República Mexicana.

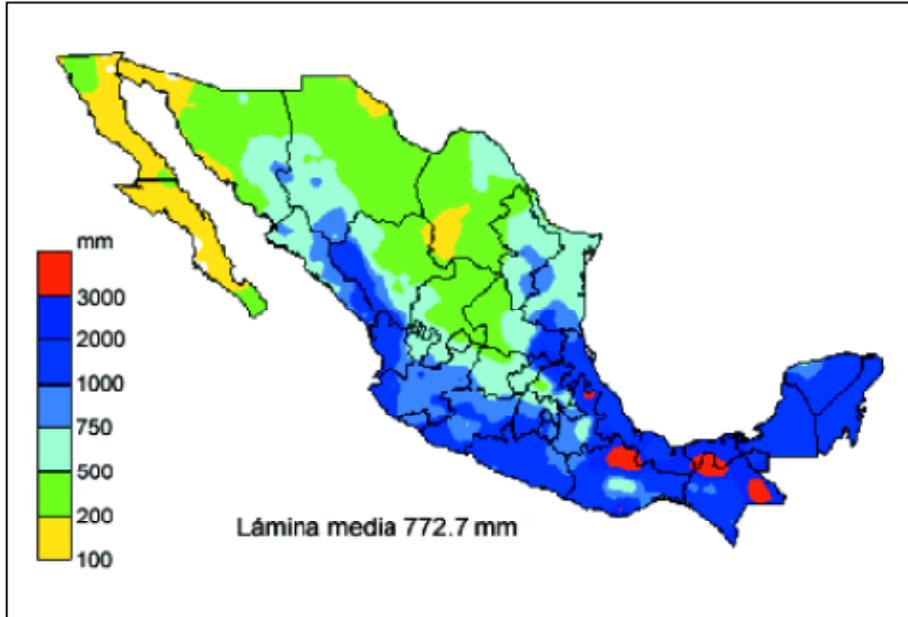


Figura 4.3.4.1. Zonificación de la precipitación media anual.

III.3.5 NEVADA

Las nubes se forman con cristales de hielo cuando la temperatura del aire es menor al punto de congelación y el vapor de agua que contiene pasa directamente al estado sólido. Para que ocurra una tormenta de nieve es necesario que se unan varios de los cristales de hielo hasta un tamaño tal que su peso sea superior al empuje de las corrientes de aire.

Eventualmente pueden formarse nevadas en el altiplano de México por la influencia de las corrientes frías provenientes del norte del país. La nieve que cubre el suelo al derretirse forma corrientes de agua que fluyen o se infiltran para recargar mantos acuíferos.

En las ciudades, los efectos negativos de las nevadas se manifiestan de distintas maneras: por el desquiciamiento de tránsito, apagones y taponamiento de drenajes; por los daños a estructuras endebles y derrumbes de techos. Pueden causar decesos en la población que no tiene la protección adecuada contra el frío, especialmente indigentes o personas de bajos recursos económicos. En las zonas rurales, si el fenómeno es de poca intensidad, no llega a dañar a la agricultura, en cambio si la nevada es fuerte, la afectación puede ser extensa, dependiendo del tipo de cultivo y de la etapa de crecimiento en la que se encuentre.

Las nevadas principalmente ocurren en el norte del país, y rara vez se presentan en el sur.

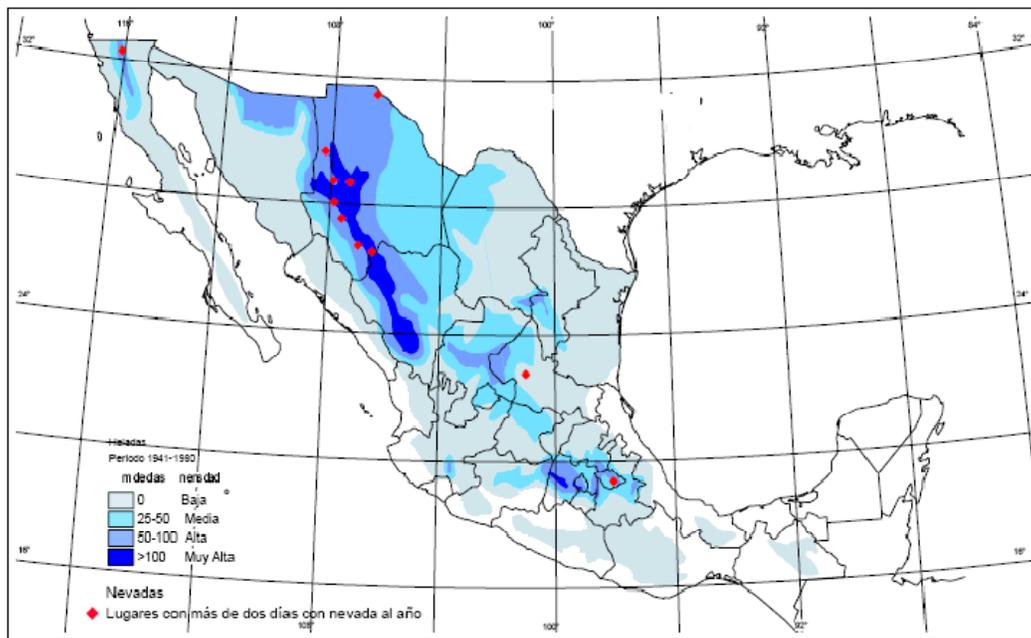


Figura 3.3.5.1. Heladas y nevadas en la República Mexicana.

CAPÍTULO III
RIESGOS
III.3.6 SEQUÍA

La sequía en una zona corresponde a un periodo prolongado de tiempo seco, es decir con poca lluvia.

Cuando en una región, la precipitación acumulada en un cierto lapso es significativamente menor a la promedio, se presenta una sequía. Si este tiempo es de varios meses, se afectan las actividades principales de los habitantes de ese lugar. Desafortunadamente, este fenómeno que cada vez se presenta con mayor frecuencia en el mundo, causa grandes pérdidas económicas por la escasa actividad agrícola o la muerte de ganado.

La disminución de la cantidad de precipitación se relaciona con el cambio en la presión atmosférica y modificaciones en la circulación general de la atmósfera. Lo que ocurre por la alteración del albedo superficial (es la relación, expresada en %, de la radiación que cualquier superficie refleja sobre la radiación que incide sobre la misma), la presencia de una espesa capa de polvo en el aire, cambios en la temperatura superficial de los océanos (pueden deberse a los fenómenos de El Niño y de La Niña) e incremento en la concentración de dióxido de carbono.

Aunque se considera la sequía como evento hidrometeorológico, dista mucho de tener las características de otros fenómenos de este tipo, como el caso de un ciclón; ya que su ocurrencia, no se percibe fácilmente, sino hasta que empiezan a ser fuertes los daños. Una sequía puede afectar a grandes extensiones de terreno y durar meses o incluso años.

Existen razones para afirmar que las sequías se autoperpetúan en cierto grado, ya que una vez que la superficie del suelo está libre de vegetación, devuelve una mayor cantidad de calor a la atmósfera favoreciendo el predominio de cierto tipo de nubes (*cumulus*) continentales sobre las marítimas; lo que propicia menores lluvias.

Los estados del territorio nacional donde se presentan con mayor frecuencia las sequías están al norte. Sin embargo, 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 términos generales, las medidas de mitigación de sequías están orientadas a hacer más eficiente el uso del agua al decrecer la oferta de ésta. El grado de afectación de la sequía depende de la severidad y tamaño de la región donde se presenta.

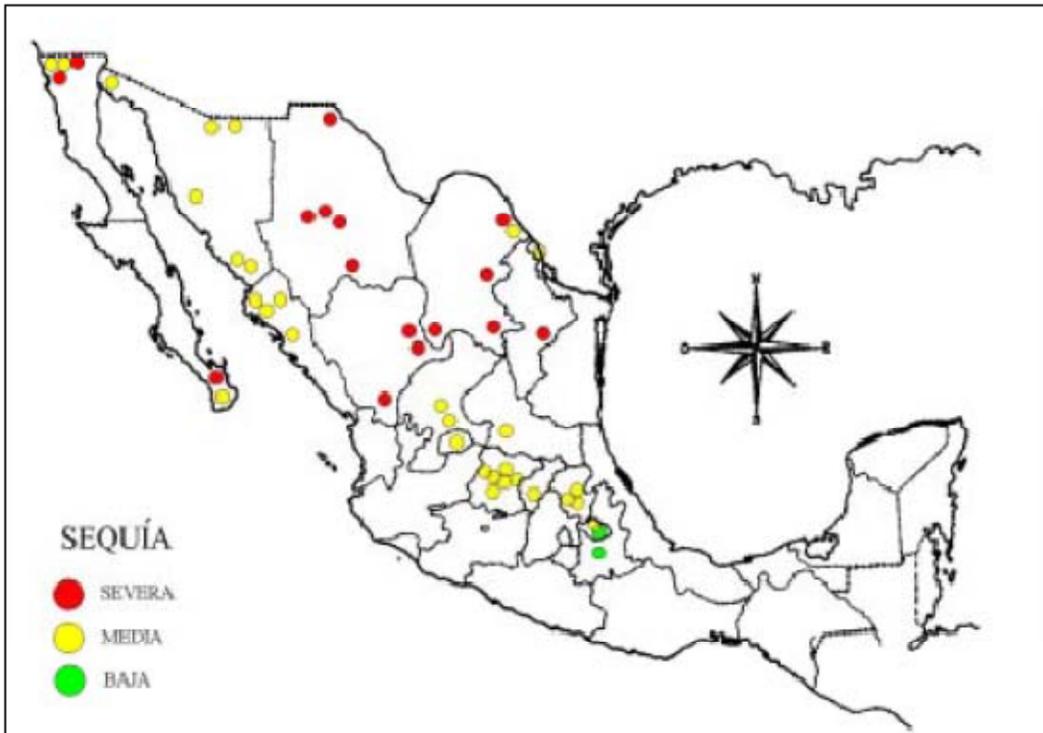


Figura 3.3.6.1. Ciudades dañadas por sequías.

III.3.7 TEMPERATURA EXTREMA

Este fenómeno se refiere a los cambios de temperatura que se presentan en el ambiente, que se manifiestan en el aire y en los cuerpos en forma de calor, en una gradación que fluctúa entre dos extremos que, convencionalmente, se denominan: caliente y frío.

Se debe entender por temperatura extrema a la manifestación de temperatura más baja o más alta, producida con motivo de los cambios que se dan durante el transcurso de las estaciones del año.

Si bien, en México por su ubicación geográfica, se llega a presentar las temperaturas extremas que algunos Estados de la República, principalmente en los estados del Norte, como son Chihuahua, Coahuila, Sonora, entre otros. Hay que considerar las condiciones climatológicas en algunas regiones del país, han venido modificándose por efectos orográficos y fenómenos meteorológicos, por lo que es importante establecer un mecanismo de prevención para enfrentar el fenómeno de la manera más efectiva.

Para tales efectos, podrá considerarse de baja intensidad, cuando la manifestación de la temperatura (alta o baja) se presente por un período breve de tiempo, ocasionando sólo afecciones leves en la salud de las personas, sin que represente un riesgo para la integridad de las mismas; de media intensidad, cuando además de afecciones en la salud, se presentan daños significativos en cultivos y animales, y se manifiesta la situación de riesgo si el fenómeno se prolonga; de alta intensidad, cuando la manifestación de temperatura por su gradualidad y por el prolongado tiempo en que se presenta, causa graves daños sobre el entorno y bienes, poniendo en peligro vidas humanas, persistiendo la situación de alto riesgo.



Figura 3.3.7.1. Temperatura alta.



Figura 3.3.7.1. Temperatura baja.

III.3.8 TORMENTA DE GRANIZO

La magnitud de los daños que puede provocar la precipitación en forma de granizo depende de su cantidad y tamaño. En las zonas rurales, los granizos destruyen las siembras y plantíos; a veces causan la pérdida de animales de cría. En las regiones urbanas afectan a las viviendas, construcciones y áreas verdes. En ocasiones, el granizo se acumula en cantidad suficiente dentro del drenaje para obstruir el paso del agua y generar inundaciones durante algunas horas.

Las zonas más afectadas de México por tormentas de granizo son el altiplano de México y algunas regiones de Chiapas, Guanajuato, Durango y Sonora.

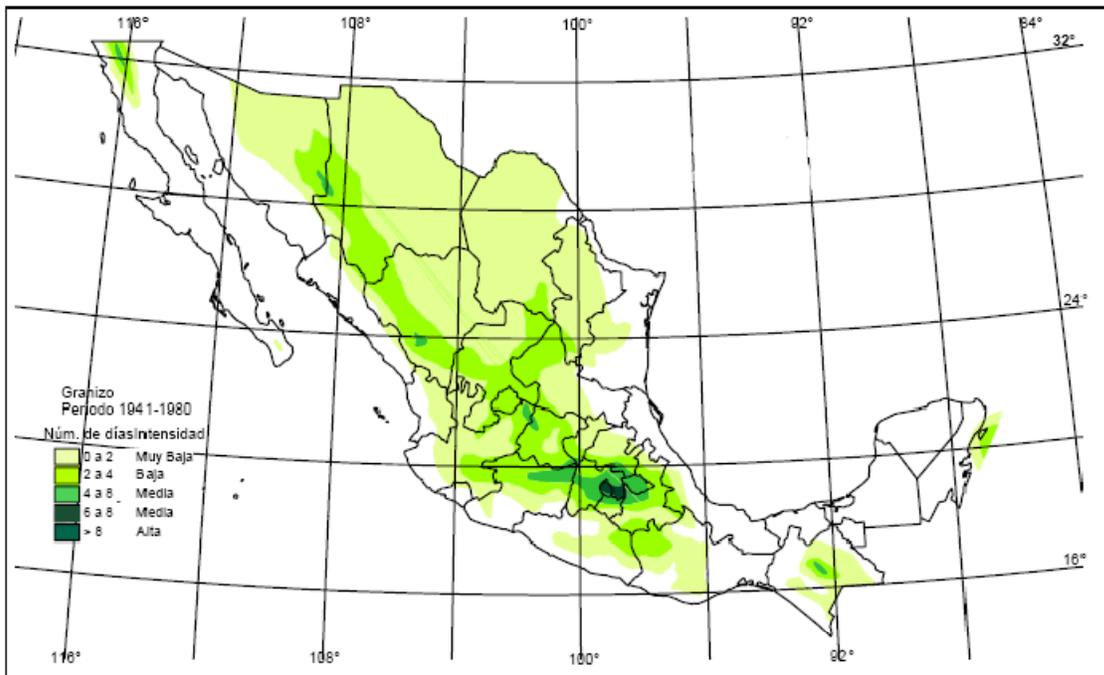


Figura 3.3.8.1. Granizadas en México.

III.3.9 TORMENTA ELÉCTRICA

Es un fenómeno meteorológico que consiste en la descarga pasajera de corriente de alta tensión en la atmósfera, a la vista, se manifiesta en forma de relámpago luminoso que llena de claridad el cielo y al oído, como ruido ensordecedor, el cual se le conoce comúnmente como trueno.

El contraste térmico y la humedad de las masas de aire dan origen al desarrollo de fuertes movimientos ascendentes y descendentes (convección) produciendo una serie de efectos, como fuertes lluvias y viento en la superficie e intenso aparato eléctrico. Esta actividad eléctrica se pone de manifiesto cuando se alcanza la tensión de ruptura del aire, momento en el que se establece el rayo eléctrico que da origen a los fenómenos característicos de relámpago y trueno. La aparición de relámpagos depende de factores tales como el grado de ionización atmosférico y el tipo y concentración de precipitación.

Las tormentas eléctricas obtienen su energía de la liberación de calor latente que se produce en la condensación del vapor de agua en las parcelas ascendentes de la tormenta. El ciclo de actividad de una tormenta típica presenta una fase inicial de formación, intermedia de madurez y final de decaimiento que dura en torno a una o dos horas.

III.3.10 VIENTO

Los vientos de mayor intensidad en México son los que se producen durante los huracanes; de hecho, la velocidad de viento es precisamente el parámetro con lo que se miden estos fenómenos en la escala más comúnmente usada, la Escala de Saffir-Simpson. Por tanto, las zonas costeras, y en particular las que tienen una más frecuente incidencia de huracanes, son las que están expuestas a un mayor peligro por efecto de viento. Sin embargo, otros fenómenos atmosféricos son capaces de producir fuertes vientos, por lo que aún en el interior del territorio existen zonas con peligro de vientos intensos.

La forma más refinada de regionalización del peligro por viento es la que se usa para fines de ingeniería, en las normas para diseño de edificios y de otras estructuras. Se emplea como parámetro la velocidad máxima de viento que tiene cierto período de retorno, y con ella se preparan mapas de curvas llamadas isotacas que corresponden a sitios con una misma velocidad máxima de viento.

Para fines de protección civil es más familiar un mapa que represente regiones con valores similares de intensidades máximas de viento.

Así se ha construido el mapa, en el que se divide el país en cuatro zonas que representan bandas de velocidad máxima de viento que ocurren en promedio una vez cada 50 años.

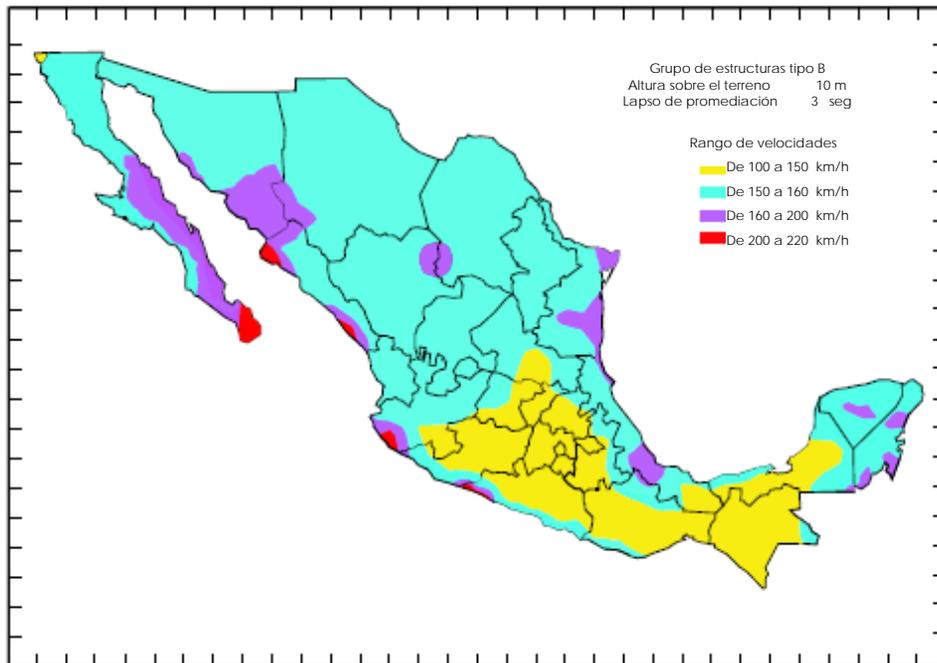


Figura 3.3.10.1. Zonificación de velocidades máximas en la República Mexicana, basada en datos de Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Por otra parte, el viento es afectado de manera importante por la topografía del terreno; por ejemplo, la velocidad aumenta en los bordes anteriores de topografía abrupta y edificaciones, y al pasar por cañadas entre montañas, cuando éstas se encuentran alineadas con la dirección del viento. En zonas urbanas, la periferia de la población resulta usualmente sujeta a velocidades de viento mayores. Por todo lo anterior, el diagnóstico de peligro por viento requiere, una vez más, de un estudio de las condiciones locales para determinar las áreas más expuestas y, dentro de éstas, las construcciones e instalaciones más vulnerables a la acción del viento.

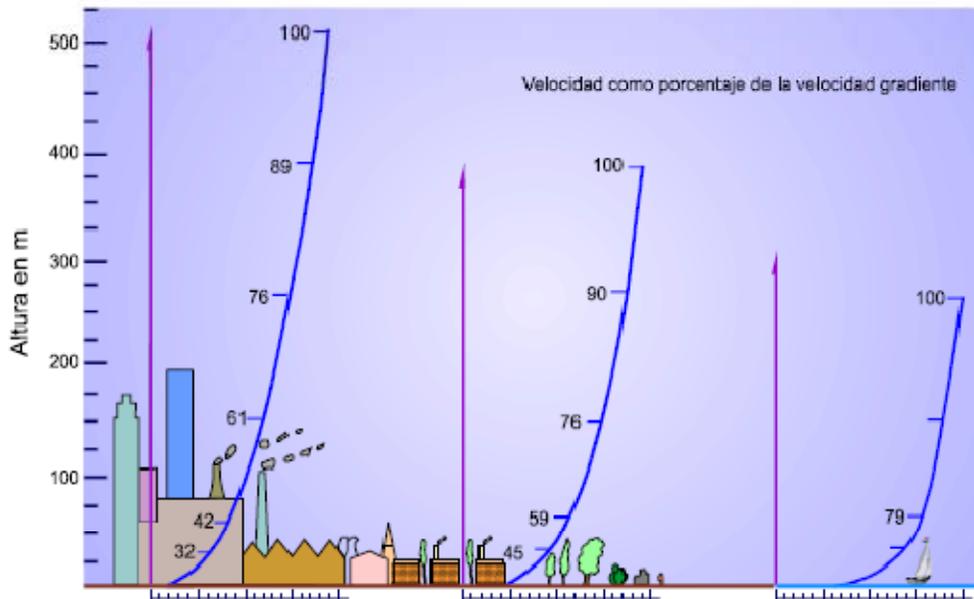


Figura 3.3.10.2. Variación de la velocidad del viento con la altura sobre terrenos de diferentes rugosidades.

Las ramas de árboles, láminas y materiales desprendidos del revestimiento de las construcciones, se vuelven proyectiles peligrosos en los vientos intensos.

III.4 OTROS

III.4.1 INCENDIO

El fuego es una reacción química que consiste en la oxidación violenta del material combustible al contacto con el oxígeno del aire. Se manifiesta con desprendimiento de energía luminosa, energía calorífica, humos y gases.

Un incendio es el fuego no controlado de grandes proporciones, que puede presentarse en forma súbita o gradual. Por lo general produce daños materiales, lesiones o pérdida de vidas humanas.

Los incendios se clasifican en:

Incendios urbanos: Destrucción parcial o total de instalaciones, casas o edificios en donde existen concentraciones humanas.

Incendios industriales: Son incendios que pueden presentarse de forma súbita o gradual en instalaciones o industrias en donde se utilizan, producen, transportan o almacenan sustancias químicas y materiales combustibles o inflamables.

Incendios forestales: Son incendios que se presentan en áreas cubiertas de vegetación, como árboles, matorrales y malezas.

Incendios en transportación: Son incendios que pueden producirse en vehículos o unidades de transporte durante el traslado de personas, bienes o productos.

También se pueden clasificar por su magnitud y destructividad en:

Conato: Inicio de un incendio que se puede apagar utilizando extintores comunes.

Incendio parcial: Fuego que abarca parte de una instalación o área determinada que tiene la posibilidad de salirse de control y causar víctimas o daños mayores. Los extintores portátiles son inútiles para sofocarlos, ya que se requiere de la participación de personal capacitado y equipado.

Incendio total: Incendio completamente fuera de control de alta destructividad, que afecta a toda una instalación o área, siendo difícil de combatir. Debe protegerse a las personas y propiedades de los alrededores.

CAPÍTULO III
RIESGOS



Figura 3.4.1.1. Algunas grandes explosiones.

Se tienen otros casos que pueden considerarse especiales, por corresponder a situaciones poco comunes del entorno físico o social, o por ser derivados de procesos tecnológicos muy particulares, como son el caso de los derrames de sustancias peligrosas, fugas, explosiones, radiación, etc. Para cada uno de estos casos hemos tenido claros ejemplos como fue el muy comentado caso de las explosiones en Guadalajara en el año de 1994.

CAPÍTULO IV

CULTURA DE LA PREVENCIÓN

CAPÍTULO IV
CULTURA DE LA PREVENCIÓN
IV.1 PLAN DE PREVENCIÓN

A lo largo de su historia, el hombre ha tratado de protegerse de los efectos de los fenómenos naturales peligrosos, con acciones como evitar asentarse en sitios particularmente expuestos a inundaciones, aprender a detectar signos premonitorios de la inminencia de algunos fenómenos, por ejemplo, erupciones volcánicas, o desarrollar medidas para protección o control de ciertos eventos como el desbordamiento de ríos, o para mejorar la resistencia de sus construcciones a las sacudidas producidas por los sismos. Poco a poco ha logrado defenderse mejor de los embates de estas manifestaciones, pero con mucha frecuencia sus medidas de protección han sido rebasadas por las fuerzas de la naturaleza.

Sólo recientemente se ha llegado a reconocer que, para enfrentar mejor los efectos de estas fuerzas de la naturaleza, es necesario adoptar un enfoque global, que no solamente cubra los aspectos científicos y tecnológicos relativos al conocimiento de los fenómenos y al desarrollo de las medidas para reducir sus efectos, sino que prevea esquemas operativos para apoyar a la población con medidas organizativas de la población misma, para que esté preparada y responda de manera apropiada al embate de los fenómenos peligrosos. Al conjunto de tareas que tienden a la reducción de los impactos de los desastres, se le ha denominado protección civil.

En sus inicios, las organizaciones de este tipo se dedicaban esencialmente a la atención de las emergencias, o sea, a las acciones que se realizan una vez que el evento se ha presentado, para limitar sus efectos y rescatar a las víctimas. Actualmente, se reconoce que la atención primaria se debe dar a la fase de prevención o mitigación, que se refiere a las acciones tendientes a identificar los riesgos y a reducirlos antes de la ocurrencia del fenómeno.

En México, el Sistema Nacional de Protección Civil se creó a raíz de los sismos de 1985, y su estructura y funcionamiento han ido evolucionando y fortaleciéndose en sus distintos niveles de acción (federal, estatal y municipal), y en la participación de los diferentes sectores (público, privado y social).

La prevención de desastres ha tomado relevancia en la agenda de la protección civil reconociendo que es indispensable establecer estrategias y programas de largo alcance enfocados a prevenir y reducir sus efectos y no sólo prestar atención a las emergencias y desastres.

CAPÍTULO IV
CULTURA DE LA PREVENCIÓN

La estrategia de la prevención establece tres pasos fundamentales:

- a) conocer los peligros y amenazas a que estamos expuestos, para ello hay que estudiar y conocer los fenómenos buscando saber dónde, cuándo y cómo nos afectan.
- b) identificar y establecer a nivel nacional, estatal, municipal y comunitario, las características y los niveles actuales de riesgo, entendido el riesgo como el producto del peligro (agente perturbador) por la exposición (sistema afectable) y por la vulnerabilidad (propensión a ser afectado).
- c) diseñar acciones y programas para mitigar y reducir estos riesgos antes de la ocurrencia de los fenómenos, a través del reforzamiento y adecuación de la infraestructura y preparando a la población para que sepa qué hacer antes, durante y después de una contingencia.

Un hecho incontrovertible es la frecuente ocurrencia de fenómenos naturales perturbadores con intensidades y características que pueden provocar grandes daños en la sociedad y en la infraestructura.

Sólo en términos monetarios, los principales fenómenos perturbadores (huracanes, inundaciones y sismos) han obligado al país a invertir recursos equivalentes a la mitad del subsidio federal a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el cual está destinado a elevar las capacidades básicas de la población marginada del país dentro del programa de Oportunidades (Secretaría de Hacienda y Crédito Público, SHCP, 2005).

Por tanto, la magnitud de pérdidas históricas humanas y materiales, además del posible mantenimiento de esta tendencia en el futuro, ponen al país ante una amenaza real para su desarrollo sustentable. La única forma de revertir esto, o al menos de mantener las pérdidas en los niveles actuales, es el establecimiento de estrategias regionales, ordenadas y coordinadas cuyo objetivo central sea tratar el rubro de la prevención de desastres a la par de los grandes temas que definen el futuro del país.

Es indispensable contar con apoyos y recursos económicos para la investigación y el desarrollo tecnológico en la materia. Al ser prioritarios, en su mayoría estos recursos deberán ser también públicos; es decir formar parte permanente del presupuesto anual ejercido por el Gobierno Federal.

CAPÍTULO IV
CULTURA DE LA PREVENCIÓN
IV.2 PLAN DE CONTINGENCIA

Debido al cúmulo de problemas y retos que representan en el Distrito Federal, en el caso particular de los sismos, para este tipo de contingencias, el gobierno del Distrito Federal elaboró el Plan Permanente ante Contingencias de de la Ciudad de México, de acuerdo con el Plan Valle de Anáhuac de la Secretaría de la Defensa Nacional.

Se trata de un documento que describe con puntualidad los lineamientos de actuación y participación de las dependencias, evitando la duplicidad de esfuerzos, para dar paso a la eficiencia y optimización de los recursos disponibles, fortaleciendo la capacidad de respuesta del gobierno de Distrito Federal. A continuación se muestran las acciones a realizar:

Existen organismos encargados para las actividades de atención para éste tipo de desastres y son las Secretarías del gobierno del Distrito Federal, las delegaciones, los grupos sociales y privados y la Secretaria de de la Defensa Nacional.

Las acciones están regidas por un Centro Coordinador de Operaciones (CCO) del Distrito Federal, organismo rector con la autoridad máxima y el mando principal del gobierno del D.F.

Al activarse el Plan, las dependencias iniciaran las actividades previamente establecidas; en una hora como máximo, el Consejo de Protección Civil y representantes de dependencias participantes se reunirán en el CCO, con sede en la Secretaría de Gobierno o en el zócalo capitalino como sede alterna.

La atención del desastre será dividida en once procesos principales, cada uno de ellos encabezado y coordinado por una dependencia del gobierno del D.F., que agrupará y coordinará las actividades de las dependencias dirigidas a un mismo fin de acuerdo con sus atribuciones.

Existen seis procesos principales operativos:

- Detección y evaluación de daños
- Rescate y salvamento
- Atención hospitalaria y salud
- Refugios temporales
- Rehabilitación y restablecimiento
- Seguridad pública y vialidad

CAPÍTULO IV
CULTURA DE LA PREVENCIÓN

A su vez hay cinco procesos de apoyo:

- Abasto
- Adquisiciones de emergencia
- Apoyo jurídico
- Comunicación social
- Sistema informático

En cada proceso principal intervendrá un conjunto de dependencias, de acuerdo con sus atribuciones, realizando actividades generales que a su vez estarán divididas en actividades específicas.

Cada Secretaría instalará un Puesto de Mando Secretarial (PMS), máximo una hora después activado el Plan, que estará encabezado por el delegado e integrado por directores de área delegacionales y un representante de cada secretaría participante. Por lo tanto, los delegados coordinarán actividades dentro de su demarcación a través de su PMD y enviarán a un representante de alto nivel al CCO.

Las delegaciones de menor peligro sísmico, no afectadas, brindarán apoyo a las más dañadas.

A continuación se señalan y se describen los principales procesos operativos:

- **Proceso de detección de daños**
Tiene por objeto lograr una primera visión de la magnitud del daño: obtener una apreciación inmediata de las zonas dañadas mediante sobrevuelos y recorridos y terrestres realizados en forma cotidiana por la Secretaría de Seguridad Pública y la Secretaría de Defensa Nacional, enfocándose principalmente a las zonas más vulnerables previamente identificadas para obtener un reporte preliminar de daños en edificios, servicios vitales, instalaciones estratégicas y vialidades.
- **Proceso de rescate y salvamento**
Tiene por objeto salvaguardar a la población afectada. Se trata de implementar y coordinar las actividades que permitan la atención, la búsqueda y el rescate de lesionados, atrapados, damnificados y fallecidos, así como controlar las situaciones que representen riesgos y la seguridad de la zona.

➤ **Proceso seguridad pública y vialidad**

Se trata de proporcionar seguridad pública en la atención del desastre y agilizar la vialidad. Mediante este proceso se coordina a los cuerpos de seguridad con el objeto de mantener el orden, brindar protección a la población, resguardar bienes e instalaciones estratégicas, controlar el acceso a las zonas siniestradas, brindar vigilancia en las rutas de emergencia así como el apoyo en acciones de evacuación, agilizar la vialidad, entre otras.

➤ **Proceso de evaluación de daños**

Se apunta a determinar la habitabilidad y funcionalidad de los servicios vitales, inmuebles, instalaciones estratégicas e infraestructura urbana, así como estimar pérdidas de vidas humanas, heridos, atrapados, fallecidos y damnificados. Se lleva a cabo una evaluación rápida que incluya el reconocimiento técnico de la magnitud de daños para definir si la condición de los inmuebles es habitable, no habitable (inseguro) o con seguridad en duda.

Si la condición de los inmuebles es no habitable o la seguridad está en duda, se procede a una revisión detallada para determinar las medidas necesarias.

Para el caso de servicios vitales, instalaciones estratégicas e infraestructura, se define si son funcionales, no funcionales o con seguridad en duda. Se informa permanentemente sobre las evaluaciones de daños y su evolución.

➤ **Proceso atención hospitalaria y salud**

Se brinda la atención integral a pacientes a través de la prestación de servicios hospitalarios y en la prevención y mitigación de enfermedades infecto- contagiosas.

➤ **Proceso refugios temporales**

Tiene como objetivo proporcionar temporalmente servicios básicos a los damnificados. Coordina a las dependencias participantes con la finalidad de proporcionar los servicios básicos de alojamiento, alimentación, atención médico sanitaria y de seguridad, así como atención social y jurídica de la población damnificada desde la ocurrencia de la emergencia hasta el cierre del refugio temporal, o en su caso, los campamentos.

➤ **Proceso rehabilitación y restablecimiento**

Es un proceso cuyo objetivo es restituir la funcionalidad y normalidad de los servicios vitales, instalaciones estratégicas, inmuebles y

CAPÍTULO IV
CULTURA DE LA PREVENCIÓN

vialidades. Coordina a las dependencias participantes en las tareas de rehabilitación y restablecimiento de instalaciones, de servicios y edificaciones cuyo funcionamiento fue afectado y es esencial para la continuidad de la vida cotidiana.

Las instalaciones que se atenderán prioritariamente son redes de agua potable y alcantarillado, energía eléctrica, energéticos, telecomunicaciones, alumbrado público, transporte, vialidades y vías de comunicación aéreas y terrestres, hospitales, escuelas, inmuebles habitacionales y públicos y demás servicios e instalaciones estratégicas.

Los procesos de apoyo se describen a continuación:

➤ **Proceso abasto**

Busca satisfacer las necesidades de víveres para la población afectada. Coordina la recepción y adquisición de víveres para los centros de almacenamiento y abasto y distribución a los refugios temporales, comedores populares y brigadas de salvamento. Los alimentos recaudados, adquiridos y distribuidos se registran en una base de datos.

➤ **Proceso apoyo jurídico**

Su función principal es proveer los servicios jurídicos de asesoría, asistencia y agilización de trámites a los afectados y representar jurídicamente a funcionarios públicos en situaciones de controversia por el desempeño de funciones en la emergencia.

➤ **Proceso comunicación social**

La comunicación social desempeña una función muy importante en estas circunstancias, al mantener informada a la población para proporcionarle certidumbre, seguridad y confianza sobre la estrategia de atención. Para la población resulta de gran importancia obtener información clara, veraz y oportuna, que le proporcione claridad y objetividad en las acciones en desarrollo para superar la contingencia. Este proceso principal establece el enlace entre el gobierno del D.F. y la población desde que se origina el evento, hasta su conclusión, de manera continua, con especial cuidado en el uso del lenguaje de emergencia.

CAPÍTULO IV
CULTURA DE LA PREVENCIÓN

➤ **Proceso sistema informático**

Se atiende la optimización de la capacidad operativa del gobierno del D.F. y de organismos civiles participantes en la atención de la emergencia, mediante tecnologías de información y comunicación. Administra un sistema informático que utiliza los datos generados y su procesamiento para apoyar en la toma de decisiones y envío de instrucciones del CCO a las dependencias participantes. El sistema contará con un alto nivel de seguridad informática.

➤ **Proceso adquisiciones de emergencia**

También coordinado por la Oficialía Mayor, su función es suministrar los bienes y servicios destinados a la atención del desastre durante la emergencia, a través de la coordinación de adquisiciones, arrendamientos y contrataciones, con base en los recursos financieros disponibles, locales o federales, o mediante la utilización de donaciones en efectivo o en especie que se reciban, en apego a la normatividad establecida.

México cuenta con una zona costera y está expuesta a una serie de fenómenos, entre ellos los tsunamis. Por lo tanto se toma en cuenta *el método para la evaluación del riesgo y de la vulnerabilidad* para los tsunamis y consta de las etapas siguientes:

- Identificación de zonas expuestas a riesgo, carácter y magnitud de éste, según antecedentes históricos y sismotectónicos.
- En esas zonas, delimitación de áreas inundables por tsunamis, y de las alturas máximas de olas esperables.
- Identificación de asentamientos humanos y de construcciones vulnerables, según su desarrollo socioeconómico presente y futuro.

IV.3 CONSECUENCIAS ECONÓMICAS DEL DESASTRE

Un desastre natural, es un concepto generalmente referido a casos violentos, inesperados y localizados, con frecuencia acompañados por pérdidas de vidas humanas, bienes materiales y naturales, además de de dificultades en la recuperación del desempeño normal de la sociedad, la economía y el ambiente.

Las consecuencias de un desastre dependen tanto de la intensidad y duración del evento como de las características de la población y del ambiente dónde sucede. Así pues, las consecuencias están asociadas a la vulnerabilidad de cada núcleo afectado, a su capacidad de recuperación (resiliencia), o de adaptación a las condiciones posteriores al desastre (plasticidad). Dichas características poblacionales son variables en el espacio, tiempo y condiciones socio económicas o ambientales, por ello una evaluación de consecuencias debe indicar con claridad las condiciones o restricciones bajo las cuales se realiza.

Existe una amplia variedad de métodos para categorizar las consecuencias de un desastre, como son: la complejidad, temporalidad y escala de evaluación del evento.

En el aspecto económico, la complejidad de una situación de desastre se manifiesta cuando éste afecta a bienes o servicios con un valor definido o no, pero de gran relevancia para el desarrollo de las poblaciones humanas o naturales. Esto puede medirse tomando en cuenta las características como el valor comercial del material agotado, el cual ya no será para el consumo social, por ejemplo, en un incendio forestal, estos materiales podrían ser madera, resinas, gomas, etc. Para evaluar este tipo de riesgos existen varias metodologías, todas basadas principalmente en la simulación de la existencia de un mercado con los bienes o servicios pertinentes, con el fin de obtener una estimación del valor comercial asignado por la sociedad.

También existen metodologías de estimación robusta, estos eventos pueden afectar profundamente la calidad de las instituciones, el desarrollo tecnológico y el capital social de una población, variables para las cuales se dificulta la cuantificación económica y el daño puede tener efectos permanentes en el crecimiento económico y social.

La temporalidad en la evaluación del desastre es otra fuente de variación metodológica importante. No es lo mismo valorar las consecuencias justo después de ocurrido el evento, que cinco, 10 ó 50 años después.

CAPÍTULO IV
CULTURA DE LA PREVENCIÓN

La enorme diversidad de elementos que pueden afectar la evaluación económica de un desastre, ya que son diversos criterios y a continuación se señala:

Daños directos: Son los que ocurren en un período corto de tiempo. Técnicamente se definen como los daños al inventario y a los activos fijos: comprenden la destrucción parcial o total de infraestructura como son edificios, instalaciones, maquinaria, equipo, medio de transporte y almacenamiento.

Daños indirectos: Inician inmediatamente después del desastre y continúan durante la fase de rehabilitación y reconstrucción. Incluyen daños a los flujos de bienes y servicios (los cuales se dejan de dar o de producir), a la capacidad de producción, al capital humano y a los costos asociados a la provisión de los servicios. Estos daños son difíciles de evaluar, pero son los de mayor impacto a largo plazo.

Efectos secundarios: Se definen como los efectos en el comportamiento de variables macroeconómicas, como son el Producto Interno Bruto (PIB), balance comercial, deuda, reservas, etc. Reflejando el impacto de los hechos directos e indirectos del daño causado por los desastres y constituyen un buen indicador del efecto de un desastre a largo plazo.

Los daños directos o indirectos medidos de inmediato pueden presentar cifras enormes, pero su efecto en el largo plazo es distinto. En la actualidad, después de un desastre, las poblaciones experimentan un notable crecimiento económico; la economía regresa al nivel anterior al acontecimiento, minimizándose sus efectos en el largo plazo.

Un punto importante es definir la escala con la cual se medirá el desastre para la valoración metodológica. Un evento puede tener consecuencias negativas en una localidad y positivas en otra, obteniendo a partir de la suma de estos efectos un nuevo valor.

Un ejemplo es el fenómeno El Niño. Los efectos negativos de su aparición en las localidades fueron incendios, inundaciones y demás fenómenos meteorológicos, causando pérdidas materiales y humanas. Sin embargo, para otras regiones el fenómeno también trae consigo una enorme cantidad de beneficios, excedentes de humedad para prevenir incendios o para el riego de terrenos agrícolas.

CAPÍTULO IV
CULTURA DE LA PREVENCIÓN

Sin embargo, el problema es muy complejo y quedan pendientes aún múltiples espacios de investigación que permitan identificar una metodología en verdad útiles.

IV. 4 INSTRUMENTACION Y MONITOREO

La instrumentación y monitoreo tiene una gran importancia, con un enfoque hacia la prevención de desastres a través de la instalación, operación y mantenimiento de instrumentos para el monitoreo y vigilancia de los riesgos geológicos, hidrometeorológicos, entre otros.

Las principales funciones de la instrumentación y monitoreo son:

- Vigilar en forma sistemática y continua la actividad que presentan en cada uno de los riesgos, para poder detectar en forma oportuna cualquier cambio significativo en la actividad y así identificar el riesgo. Asimismo se procesa la información recabada y se informa oportunamente a las autoridades de Protección Civil, a la comunidad científica y a la población en general sobre una condición de riesgo.
- Procesar, respaldar y evaluar oportunamente la información recolectada por el sistema de monitoreo. Procesar y divulgar la información e intercambiarla con otras instituciones de investigación nacional e internacional.
- Diseñar y desarrollar nuevos instrumentos y tecnologías especializadas de medición para mejorar la eficiencia y confiabilidad de los sistemas en operación.
- Participar en reuniones técnicas y académicas sobre los diferentes temas que le competen al área a nivel nacional e internacional.

Riesgos geológicos

Para cada uno de los riesgos, se tienen diferentes tipos de instrumentación y de monitoreo. Para el caso de los movimientos de la superficie del terreno natural los sistemas de monitoreo y alertamiento se utilizan para proteger las vidas y las propiedades, no para evitar los problemas generados por la inestabilidad de laderas naturales.

Sin embargo, esos sistemas proporcionan frecuentemente el alertamiento de movimiento de laderas, con el tiempo suficiente para la construcción física de medidas que podrían reducir el peligro inmediato, a mediano o largo plazo.

Las técnicas de monitoreo incluyen la observación de campo y el uso de varios instrumentos apropiados para medir los movimientos del terreno

*CAPÍTULO IV
CULTURA DE LA PREVENCIÓN*

natural. En forma genérica, entre otros instrumentos se pueden incluir medidores de alambre, radares, rayos láser y medidores de vibración.

En las zonas identificadas como potencialmente peligrosas, en lo que se refiere a problemas de inestabilidad de laderas es importante implementar medidas de monitoreo permanente, tales como son:

- a) La medición de la cantidad de agua de lluvia, asociada a las características de saturación del material térreo que pueden desencadenar la inestabilidad de una ladera. Para cuantificarla es posible disponer de una serie de pluviómetros simples y económicos.
- b) La detección y medición directa de deformaciones y agrietamientos de la superficie de las laderas y sus tendencias de crecimiento así como la medición directa de la presión del agua subterránea, mediante la instalación de piezómetros. Cuando algún problema de inestabilidad de laderas se presenta en forma lenta y paulatina, involucrando directamente a una zona habitada, los mismos moradores suelen detectar oportunamente la aparición de grietas en muros y pisos de las construcciones. Esto puede considerarse como una de las técnicas de monitoreo más confiables.

Para el caso de un sismo se tiene que para conocer las características de los temblores para la cual se registran, para posteriormente estudiar, con el fin de precisar su magnitud, localización, la duración del movimiento, sus direcciones principales, etc. Para ello se emplean sismógrafos y acelerógrafos, que registran el movimiento del terreno al paso de las ondas sísmicas.

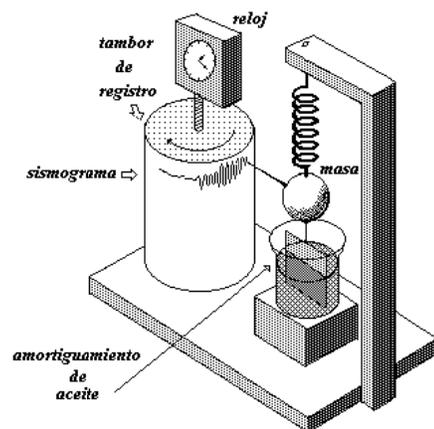


Figura 4.4.1. Sismógrafo

CAPÍTULO IV
CULTURA DE LA PREVENCIÓN

La observación y vigilancia de un volcán activo usualmente se lleva a cabo utilizando técnicas de telemedición o telemetría mediante las cuales las señales medidas en las estaciones remotas se transmiten por radio hacia un puesto central para su registro continuo e inmediata evaluación.

La red del Popocatepetl, actualmente en operación, consta de 25 estaciones remotas y una estación central de adquisición y procesamiento de datos localizada en las instalaciones del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). Las estaciones de campo están instaladas en las faldas alrededor del volcán en altitudes entre los 2500 y 4450 m, estando las más cercanas a 2.1 km de distancia del cráter.

El sistema consiste de 15 estaciones con sismómetros de período corto (más 3 sismómetros de banda ancha próximos a instalarse), 5 estaciones con inclinómetros, 4 estaciones hidrométricas y de detección de flujos, una estación con radar y una cámara de video para la observación remota del volcán. Este conjunto de instrumentos sísmicos, geodésicos e hidrométricos genera más de 60 señales las cuales son transmitidas continuamente, las 24 horas del día, hacia el CENAPRED y algunas también a la UNAM. Para llevar esta información desde cualquier sitio del volcán hacia el puesto central se implementó una compleja red de enlaces de telemetría a través de radio. Las señales de las estaciones más lejanas ubicadas en el lado este del volcán, se retransmiten a través de varias estaciones repetidoras. Para proteger a los equipos del medio ambiente, particularmente severo en las estaciones altas, y también proteger al personal encargado de su operación y mantenimiento, se construyeron casetas especiales de concreto y mampostería.



Figura 4.4.2. Estaciones de la Red de Monitoreo sísmico del volcán Popocatepetl

MONITOREO Y VIGILANCIA DEL VOLCÁN POPOCATÉPETL

México se encuentra situado en una región con importante actividad volcánica. De los 3,000 volcanes que aproximadamente tiene el país, 14 son considerados activos. El país ha vivido actividades recientes de volcanes que han presentado fases eruptivas importantes, algunas con consecuencias desastrosas, ejemplo de ello son el Parícutín, en Michoacán, que hizo erupción en 1943, el Chichón (1982); el Tacaná, (1986) y el volcán de Colima, el cual ha tenido episodios de gran actividad en los últimos años. La prueba más reciente se vivió a finales de 1994 cuando el volcán Popocatepetl, pasó de una fase moderada de actividad a una de gran actividad sísmica y fumarólica con abundante emisión de gases, cenizas, extrusión de lava e incluso producción de flujos piroclásticos durante los eventos eruptivos de mayo y junio de 1997.

El Popocatepetl, está localizado a 60 km al sureste de la Ciudad de México y a 45 km al oeste de la Ciudad de Puebla. Tiene una altura de 5452 metros sobre el nivel de mar (msnm) y un cráter de 900 m de diámetro y aproximadamente 200 m de profundidad. Su edificio cubre un área de 500 km² abarcando los estados de Puebla, México y Morelos.

Con la participación de diversas instituciones y un enorme esfuerzo realizado por parte del personal encargado, se ha logrado en un plazo corto, poner en operación una extensa infraestructura de registro y monitoreo que permite la vigilancia estrecha del volcán así como la detección oportuna de cualquier cambio en su estado de actividad.

CAPÍTULO IV
CULTURA DE LA PREVENCIÓN

En el caso de los **tsunamis**, se procede de la siguiente manera: al ocurrir un sismo de magnitud superior a 6.5 en el Océano Pacífico, el Sistema de Alerta de Tsunamis del Pacífico (PTWS por sus siglas en inglés), determina su epicentro, la potencialidad de que genere un tsunami, los posibles tiempos de arribo a localidades costeras vecinas, y emite un mensaje de observación. La primera confirmación proviene de las estaciones mareográficas cercanas a la zona del epicentro. Al recibirla, el PTWS envía un mensaje de alerta, con datos de altura máxima de las olas y de tiempos de arribo a otras localidades, cercanas y lejanas. Esta información se actualiza con mensajes de alerta subsiguientes, a medida que se monitorea el avance de las olas y su arribo a nuevas localidades, o en caso contrario, se emite un mensaje de cancelación.

Riesgos Hidrometeorológicos

A causa de los daños provocados por el huracán Pauline en octubre de 1997 en Acapulco Guerrero, las áreas de Instrumentación y de Riesgos Hidrometeorológicos del CENAPRED diseñaron para esta ciudad los subsistemas de instrumentación y proceso hidráulico para el pronóstico de escurrimientos importantes a partir de lluvias ciclónicas. Éstos consisten en una red telemétrica de quince pluviómetros, distribuida en la cuenca de la bahía de Acapulco (el Anfiteatro), para seguir la evolución de las lluvias y, mediante un modelo lluvia-escurrimiento, estiman la cantidad de agua que fluye por los cauces más importantes. En caso de exceder cierto flujo o umbral, se activa una señal de alarma para avisar con anticipación de la ocurrencia de un evento peligroso a las autoridades de protección civil de Acapulco.

El sistema de alertamiento hidrometeorológico estima los escurrimientos que producirá la lluvia en una región, en los minutos u horas posteriores a su ocurrencia. Esto proporciona un criterio de ayuda a las autoridades de protección civil para advertir el peligro que podría generarse en alguna zona de una ciudad por un posible desbordamiento de río o arroyo.

CAPÍTULO IV
CULTURA DE LA PREVENCIÓN



Figura 4.4.3 Estación hidrometeorológica

IV.5 ALGUNOS CASOS DE ESTUDIO

En este tema se tratarán algunos casos de estudio de riesgos geológicos e hidrometeorológicos que se presentan en nuestro país.

Se puede observar que nuestro país está integrado a una gran zona generadora de sismos, y que seguramente éstos han ocurrido durante millones de años.

Los epicentros de la mayor parte de los terremotos de gran magnitud (mayores de 7, por ejemplo), que ocasionan grandes daños, se ubican en la costa del Pacífico, a lo largo de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas. Sin embargo, también han ocurrido grandes sismos en el centro y el sur de Veracruz y Puebla, norte y centro de Oaxaca y Chiapas, Estado de México y la península de Baja California, especialmente en la zona fronteriza con los Estados Unidos.

Uno de los sismos con mayores daños, se presentó en el año de 1985 en la Ciudad de México causando 6,000 decesos aproximadamente. La población afectada fue de 30,000 heridos y 150,000 damnificados. Las afectaciones se dieron en 3,300 edificios dañados, 36,600 viviendas destruidas y 65,000 viviendas con daños considerables, 50 hospitales, 34% del total de los edificios de la administración pública, el 11.4% del total de la infraestructura educativa y el 8.9% del total de la pequeña industria y comercio. El monto del daño fue de \$4, 103.50 millones de dólares.



Figuras 4.5.1 y 4.5.2. Fotografías del sismo de 1985.

Otro caso de estudio son los maremotos ocurridos en la costa occidental de México las estadísticas se dificultan porque:

- a) Antes del siglo XIX, muchos lugares permanecieron deshabitadas a excepción de Acapulco.

*CAPÍTULO IV
CULTURA DE LA PREVENCIÓN*

b) La operación de la red de mareógrafos, en que tradicionalmente se registran los tsunamis, comenzó hace apenas 53 años (1952), y contiene vacíos notorios de datos.

Casi la mitad de los tsunamis de origen local anteriores a 1952 causaron destrucción considerable; el de noviembre de 1925, en Zihuatanejo, Guerrero, alcanzó alturas máximas de ola de 11 metros; el de junio 22 de 1932, alcanzó 10 metros en Cuyutlán, Colima. Ambos causaron cuantiosos daños y pérdidas de vidas; de los ocurridos en México son los más destructivos que se conocen. Por lo tanto, para las costas del Pacífico de México, específicamente en los Estados de Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas.

A continuación se muestra una tabla en donde marca la fecha en que se presentó el tsunami, el epicentro del sismo, zona, magnitud del sismo, lugar de registro del tsunami y la altura máxima de olas presentados.

Fecha	Epicentro del Sismo	Zona del Sismo	Magnitud del Sismo	Lugar de registro del tsunami	Altura máxima de olas (m)
09 de octubre de 1995	18.9°N 104.1°W	México (local)	7.6	Manzanillo	2.0
				Cabo San Lucas	0.50
				Isla Socorro	0.20
				Barra de Navidad	5.10
				Melaque	4.50
				Cuastecomate	4.40
				La Manzanilla	0.40
				Boca de Iguanas	5.10
				El Tecuán	3.80
				Punta Careyes	3.50
				Chamela	3.20
				San Mateo	4.90
				Pérula	3.40
Punta Chalacatepec	2.90				



Figura 4.5.3 y 4.5.4. Manzanillo en 1995

CAPÍTULO IV
CULTURA DE LA PREVENCIÓN

Otro hecho muy importante que ocurrió cuando el terremoto del 26 de diciembre del 2004, con magnitud Mw 9.0, y epicentro frente a la costa occidental de Sumatra, Indonesia, se encuentra catalogado como el tercero, entre los 5 más grandes a escala mundial desde el año 1900. El mayor efecto producido fue en Indonesia, en el extremo norte de la isla de Sumatra. No obstante la gran magnitud del temblor, el número de inmuebles dañados fue bajo. Algunos edificios de mampostería y estructuras de concreto presentaron colapsos parciales o totales, o bien daño leve en muros o elementos estructurales. En consecuencia el número de víctimas por el sismo, aunque no fue posible determinarlo, fue relativamente bajo en comparación con las producidas por el tsunami.

El tsunami del Océano Índico del 2004, es el que mayor número de víctimas ha producido (cerca de 300,000), según se tiene conocimiento. Además de los daños por temblor en el norte de Sumatra, sus costas fueron afectadas severamente por el tsunami; éste también produjo numerosas víctimas en Sri Lanka, la India y Tailandia, aunque en menor proporción, en Somalia, Myanmar, Islas Maldivas, Malasia, Tanzania, Islas Seychelles, Bangladesh y Kenya. Asimismo, causó daños en Madagascar, Islas Mauricio y algunos sitios en la costa occidental de Australia.



Figura 4.5.5. Vista aérea de una de las secciones más dañadas de Banda Aceh, en Indonesia.

El vulcanismo que se desarrolla a lo largo de la Franja Volcánica Mexicana es muy variado, e incluye desde actividad efusiva, cuyos productos más importantes son los derrames de lava, hasta volcanes que han producido erupciones altamente explosivas, con emisión de grandes cantidades de materiales piroclásticos tanto de flujo como de caída. Esto genera una diversidad de volcanes, casi 2000, que incluye grandes estratovolcanes y extensos campos de pequeños conos de ceniza y volcanes escudo.

CAPÍTULO IV
CULTURA DE LA PREVENCIÓN

La tasa de la erupción promedio en México durante los últimos 500 años ha sido de unas 15 erupciones de diversos tamaños por siglo. Si bien la mayoría de las erupciones han sido de magnitudes bajas, otras han sido destructivas en grado moderado, como las del Colima de 1576 y 1818, o las del San Martín Tuxtla de 1664 y 1793. Un ejemplo claro es el volcán de Colima.

El volcán de Fuego de Colima, (3860 m. sobre el nivel del mar), forma parte de un complejo volcánico situado en el Cinturón Neovolcánico Mexicano y cuyas coordenadas geográficas (19°30'44"N y 103°37'02"W) lo sitúan entre los Estados de Colima (municipios de Comala y Cuauhtémoc) y Jalisco (municipios de Tuxpan, Zapotitlán y Tonila).

Adicionalmente, se debe tener en cuenta la actividad de menor grado, todo lo cual nos demuestra que a lo largo de los últimos siglos este volcán ha incrementado su proceso eruptivo, y la actividad que sigue manteniendo actualmente es el motivo por el cual se deben seguir realizando estudios sobre su peligrosidad y riesgo en el momento de una nueva erupción.



Figura 4.5.6. Volcán de Colima

En la actualidad existen, tanto en los estados de Colima y Jalisco, un número de poblaciones vulnerables ante una posible erupción. El depósito de flujos piroclásticos, lluvia de pómez, cenizas y de flujos de lodo, podrían afectar a las poblaciones cercanas. Debido a esto se lleva a cabo un seguimiento sismológico, visual, geoquímico, entre otros. Todo esto con la finalidad de poder tener información suficiente para prevenir y mitigar algunos de los posibles problemas.

México es afectado por varios tipos de fenómenos hidrometeorológicos que provocan la pérdida de vidas humanas o daños materiales de gran importancia. Principalmente está expuesto a lluvias, granizadas, nevadas, heladas y sequías. Las lluvias intensas asociadas a los ciclones tropicales en cualquiera de sus etapas, desde depresión tropical y tormenta tropical, hasta huracán.

CAPÍTULO IV
CULTURA DE LA PREVENCIÓN

La importancia y peligro de los ciclones tropicales difiere entre tierra firme y superficie marina. En las zonas costeras, los mayores impactos de un ciclón tropical que golpea tierra se deben a la marea de tormenta, el oleaje, vientos fuertes y lluvias intensas.

El seguimiento de la lluvia durante la ocurrencia de un ciclón puede servir para estimar el riesgo de posibles inundaciones en las zonas más susceptibles, las cuales deben identificarse con anticipación mediante mapas de riesgo.

Debido a su ubicación geográfica en México, una de las causas de las lluvias intensas que generan inundaciones son los ciclones tropicales. En los casos recientes está el huracán Stan (octubre 2005), ocasionando por lo menos 1,620 muertes, un número similar al producido por el Huracán Katrina, y hubo muchos más desaparecidos. Según fuentes oficiales, el número de muertes son pasados los 2.000, aunque el número total de fallecidos es probable que nunca se conozca debido al alto grado de descomposición de los cadáveres.

En México el desbordamiento de un río en Tapachula, Chiapas, arrasó 2.500 viviendas. La mayor parte de los 100.000 habitantes de la región de la Sierra de los Tuxtlas, en la Costa del Golfo, fueron evacuados de sus casas, e incidentes tales como inundaciones, fuertes vientos (que arrancaron árboles y tejados de las casas) fueron reportados desde las áreas costeras de Veracruz, San Andrés Tuxtla, Santiago Tuxtla y Coatzacoalcos, así como la capital del estado Xalapa, situada en el interior. Las fuerzas armadas de México evacuaron a los habitantes de alrededor de una docena de pueblos en la llanura costera, entre ellos el Lugar Patrimonio de la Humanidad Tlacotalpan en el oeste y el complejo turístico de Catemaco en el este.

A medida que avanzaba hacia la Sierra Madre del Sur al oeste del Istmo de Tehuantepec, los estados de Oaxaca y Chiapas fueron afectados por lluvias torrenciales. Las áreas de Chiapas cercanas a la frontera con Guatemala fueron golpeadas duramente, en particularmente la ciudad costera y fronteriza de Tapachula, donde el desbordamiento de un río causó grandes daños incluyendo la destrucción de todos los puentes de acceso a la ciudad, la cual quedó únicamente accesible por aire. El gobierno estatal informó que tres ríos se salieron de su cauce y un número indeterminado de hogares, más de veinte puentes y otras infraestructuras fueron destrozadas por la tormenta.

Algunas zonas de la Sierra Norte, en el estado central de Puebla, también fueron inundadas.

CAPÍTULO IV
CULTURA DE LA PREVENCIÓN

Además, Pemex evacuó 270 empleados de sus plataformas petrolíferas en el Golfo de México, aunque no se informó de ningún daño y las plantas reanudaron su trabajo.

El gobierno Federal declaró estado de emergencia en los municipios más devastados de los cinco estados: Chiapas, Hidalgo, Oaxaca, Puebla, y Veracruz.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

V. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

Es importante que conozcamos cuáles son las causas y efectos de estos factores de riesgo que se mencionan a lo largo de éste documento, así como también cuáles son las acciones que debemos tomar antes, durante y después de su ocurrencia con la finalidad de mitigar y prevenir consecuencias desastrosas.

Por ello, algunas recomendaciones que a continuación se muestran son de gran importancia, tanto para la sociedad, como para las autoridades:

- a) el análisis de vulnerabilidad se necesita contar con un inventario de información de las vialidades y sus conexiones, la infraestructura, condiciones estructurales, historial de rehabilitación así como la información referente a dichos factores.
- b) elaborar los criterios de uniformidad de términos y de metodologías así como el análisis de vulnerabilidad física que incluya la identificación de deficiencias constructivas, zonificación de vulnerabilidad física (historial de daños, diagnóstico y base de datos), y el análisis de vulnerabilidad funcional.
- c) considerar fenómenos tales como la sismicidad, vulcanismo, deslizamientos del terreno, inundaciones, huracanes, vientos y temperaturas extremas que son procesos propios del planeta Tierra, por ello se debe continuar el estudio y también la información suficiente para convivir con ellos. En algunos casos las consecuencias, se deben al escaso conocimiento de dichos factores y también a la falta de preparación de la sociedad, por lo tanto esto implica una mayor difusión en escuelas a nivel básico, medio y superior, en medios de comunicación, todo esto para prevenir dichos desastres a los que se esta expuesto.
- d) con la experiencia adquirida a lo largo de estos años, específicamente de los sismos, se cuenta con herramientas útiles para disminuir los riesgos, como son la utilización de Reglamentos de Construcción, paralelamente con las Normas Técnicas Complementarias, así como la cultura de prevención, para que los daños sean menores. También se debe elaborar un programa de prioridades en cuanto a inversiones, evaluación y formulación de proyectos que incluyan costos de inversión, probabilidad de ocurrencia así como también fuentes de financiamiento.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES

Para el caso de riesgos hidrometeorológicos, se deben considerar, al igual que en los fenómenos geológicos ciertos aspectos como el empuje del agua, arrastre y la velocidad que se produce, entre otros. Existen medidas de protección del tipo estructural para casos muy específicos como son diques, rompeolas, pero no evitan consecuencias como inundaciones u otras condiciones extraordinarias.

Esto no resulta suficiente, si no se tiene una colaboración muy estrecha entre la población y las autoridades, ya que a medida de que se destinen recursos suficientes para prevenir dichas pérdidas, se obtendrá un beneficio a largo plazo y con esto un desarrollo sustentable, es decir una planeación basada en concepto de riesgo, permitiendo una infraestructura que garantice una mayor competencia social y financiera ante dichas condiciones.

Hemos visto que dichos factores afectan a los seres humanos sin importar edad, sexo, condición social, país, etc., por lo tanto es necesario que se tenga una cultura de prevención.

BIBLIOGRAFÍA

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES CENAPRED, *Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México*, 1ª edición 2001, México.

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES CENAPRED, *Inestabilidad de laderas*, 2ª edición 2001, México.

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES CENAPRED, *Inundaciones*, 1ª edición 2004, México.

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES CENAPRED, *Sismos*, 5ª edición 2005, México.

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES CENAPRED, *Volcanes, Peligro y Riesgo Volcánico en México*, 1ª edición 2004, México.

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES CENAPRED, *Tsunamis*, 2ª edición 2005, México.

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES CENAPRED, Daniel Bitrán Bitrán. *Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el período de 1988 - 1999*, 1ª edición 2001, México.

Huerta Chávez Martín, Durán Tolentino Víctor Gabriel (2005), *Riesgos Hidrogeológicos más importantes que afectan a la cuenca del Valle de México*.

<http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/html/cap3.htm>

<http://www.ostp.gov/nstc/>
National Science and Technology Council 1997.

Comisión Federal de Electricidad, *Manual de Diseño de Obras Civiles. Diseño por Viento*. México D.F., 1993.

T. Simin and L. Siebet, *Volcanoes of the World*, Geoscience Press, 2002.