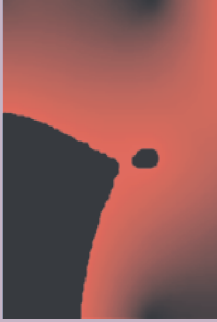
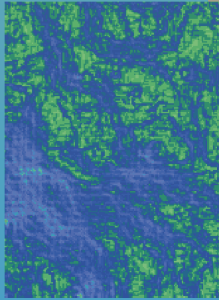
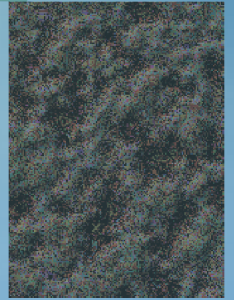
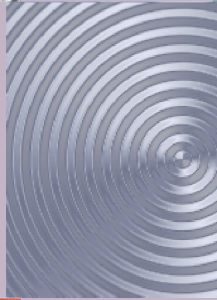
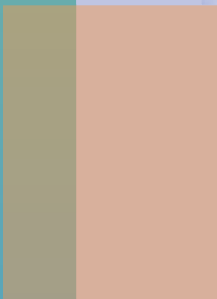
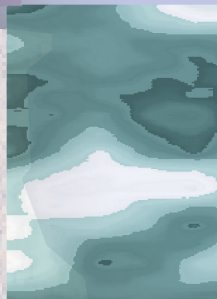


Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

DIAGNÓSTICO DE PELIGROS E IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS DE DESASTRES EN MÉXICO

*Atlas Nacional de Riesgos de
la República Mexicana*



CENAPRED

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

SECRETARÍA DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN CIUDADANA

Rosa Icela Rodríguez Velázquez

SECRETARIA DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN CIUDADANA

Laura Velázquez Alzúa

COORDINADORA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL

Enrique Guevara Ortiz

DIRECTOR GENERAL

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (CENAPRED)

Primera Edición: México, 2001

Primera reimpresión, 2001

Segunda reimpresión, diciembre 2003

Versión electrónica, 2021

Ciudad de México

© SECRETARÍA DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN CIUDADANA

Avenida Constituyentes 947, edificio B, planta alta

Colonia Belén de las Flores

Álvaro Obregón, C. P. 01110, Ciudad de México

Teléfono: 55 1103 6000

<https://www.gob.mx/sspc>

© CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

Av. Delfín Madrigal 665,

Col. Pedregal de Santo Domingo,

Coyoacán, C. P. 04360, Ciudad de México

Teléfono: 55 5424 6100

www.gob.mx/cenapred

Comentarios: editor@cenapred.unam.mx

Editores

Ing. Oscar Zepeda Ramos

Susana González Martínez

Portada

D. G. Demetrio Vázquez Sánchez

ISBN: 970-628-593-8

El contenido de este documento es exclusiva
responsabilidad de de los autores

P R E S E N T A C I Ó N

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. Es por ello que el tema de 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. 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.

La estrategia de la prevención establece tres pasos fundamentales. Primero, conocer los peligros y amenazas a que estamos expuestos; estudiar y conocer los fenómenos buscando saber dónde, cuándo y cómo nos afectan. Segundo, 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). Por último, y basado en los pasos anteriores, 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.

Lograr y ejecutar estas tres acciones son las tareas sustantivas del Centro Nacional de Prevención de Desastres. El presente libro es el resultado de este esfuerzo. El documento tiene principalmente el propósito de difundir conocimientos sobre los peligros e identificación de los riesgos de desastres que se presentan en el país derivados de los fenómenos de origen geológico, hidrometeorológico, químico, sanitario y socio-organizativo. Inicia con un capítulo introductorio en el que se exponen conceptos básicos sobre prevención desastres, definición de términos y estadísticas de daños, así como efectos socioeconómicos de los desastres a nivel mundial y en México. En los capítulos posteriores se describen los diferentes tipos de fenómenos, sus causas u origen, distribución geográfica, efectos y estadísticas de daños, medición o cuantificación en términos de magnitud, intensidad y periodo de recurrencia, así como otras características importantes para su clara identificación y comprensión.

El tema de los peligros y riesgos de desastres se expone en el libro con un enfoque global. Se contempla su ampliación en un futuro próximo con trabajos de mayor alcance y profundidad, enfocados hacia la microrregionalización de los riesgos y, por supuesto, hacia estudios y acciones de mitigación. El reto que se ha establecido a mediano plazo, es la integración de un atlas detallado a nivel municipal y de comunidades en zonas de alto riesgo basado en sistemas de información geográfica. Ello demandará un enorme esfuerzo de investigación, recopilación de datos, trabajo de campo y sobre todo, de coordinación multi-institucional con la indispensable participación de los gobiernos federal, estatales y municipales, las autoridades de Protección Civil, organizaciones oficiales y privadas, así como la población en general .

Este primer esfuerzo para integrar un Atlas Nacional de Riesgos revisado, busca diseminar información derivada de la investigación en los últimos años sobre los peligros y riesgos que afronta nuestro país, con el objetivo de inducir una conciencia clara y precisa entre la población sobre los fenómenos y sus consecuencias para lograr la transición hacia una cultura de la prevención y de la autoprotección.



CONTENIDO



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

Riesgo de desastres en México	2
La prevención de desastres y la protección civil	3
Diagnóstico de riesgo	4
Conceptos básicos de prevención de desastres	7
Estadísticas de daños	12
Ejemplos de mapas de peligro y de riesgo	26

RIESGOS GEOLÓGICOS

INTRODUCCIÓN	32
--------------	----

SISMOS

Marco tectónico de la República Mexicana	33
Relación entre la magnitud de los sismos y la energía liberada	34
Intensidades sísmica	34
Sismicidad en el mundo	39
Sismicidad en México	39
Estaciones para el registro de sismos	42
Periodos de retorno de aceleraciones del terreno	45
Regionalización sísmica	45
Efectos de sitio	45

TSUNAMIS	50
----------	----

VOLCANES

Introducción	58
El fenómeno volcánico	59

El riesgo volcánico en México	70
Peligro volcánico	70
Zonificación del riesgo volcánico	76
Manejo o gestión del riesgo volcánico	76

MOVIMIENTOS DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO NATURAL

Introducción	80
Inestabilidad de laderas naturales	85
Flujos de lodo y escombros	90
Hundimientos regionales y locales, acompañados por agrietamiento del terreno natural	97

RIESGOS HIDROMETEOROLÓGICOS

INTRODUCCIÓN	104
--------------	-----

PRECIPITACIÓN PLUVIAL

Tipos de Precipitación	105
Distribución de la lluvia en México	105

TORMENTAS DE GRANIZO Y NIEVE

Tormentas de granizo	113
Tormentas de nieve	113

HELADAS	118
---------	-----

CICLONES TROPICALES	125
---------------------	-----

ESCURRIMIENTO	133
---------------	-----

Esgurrimientos súbitos	136
------------------------	-----

INUNDACIONES	139
--------------	-----

SEQUÍA	145
--------	-----

EROSIÓN	149
VIENTO	152
MAREA DE TORMENTA	156

RIESGOS QUÍMICOS

INTRODUCCIÓN	162
Definición de los riesgos y accidentes de origen químico	162
Estadísticas de accidentes mundiales	165

UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS FUENTES DE PELIGRO

Zonas Industriales	173
Industria Petroquímica	176
Tubería de transporte de gas	178
Estaciones de Servicio	180
Fuentes de materiales radiactivos	182

ACCIDENTES RELACIONADOS CON SUSTANCIAS QUÍMICAS

Accidentes carreteros	184
Accidentes químicos en fuentes fijas	187

RESIDUOS PELIGROSOS	190
Sitios contaminados	192

INCENDIOS FORESTALES

Tipos de incendios	194
Datos estadísticos	194
Zonas con riesgo de incendio	198

CONCLUSIONES	202
--------------	-----

OTROS RIESGOS

OTROS RIESGOS	204
RIESGOS DE ORIGEN SANITARIO	204
RIESGOS SOCIO-ORGANIZATIVOS	206

MICROZONIFICACIÓN DEL RIESGO

ASPECTOS GENERALES DE LA MICROZONIFICACIÓN DEL RIESGO	210
TECNOLOGÍAS PARA LA MICROZONIFICACIÓN DEL RIESGO	210
MAPAS MUNICIPALES DE RIESGO	216
MAPAS DE ESCENARIOS	217

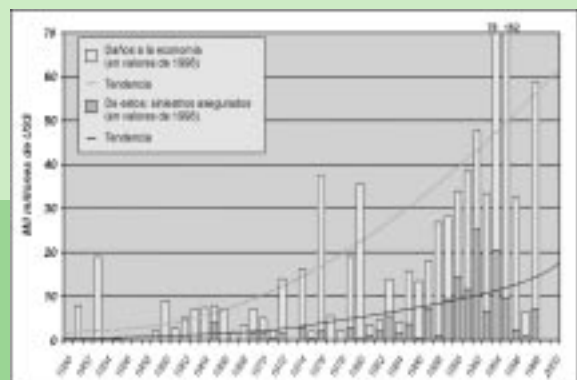
CRÉDITOS, AUTORÍAS Y BIBLIOGRAFÍA

CRÉDITOS	222
AUTORÍAS Y BIBLIOGRAFÍA	222



INTRODUCCIÓN

1



INTRODUCCIÓN

Riesgo de desastres en México

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 sinúmero 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 periodos 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.

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, baste 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.

La prevención de desastres y la protección civil

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 mejor enfrentar 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 prepara-

Figura 1. Colapso de edificio en la Ciudad de México durante el sismo de 1985



El efecto más grave de los sismos severos es el daño y, en casos extremos, el colapso de las construcciones. El mayor desastre de este tipo en México fue el sismo del 19 de septiembre de 1985 que tuvo su origen en las costas de Michoacán y produjo los daños mayores en la Ciudad de México, donde cerca de 13 000 edificios resultaron dañados; muchos de estos edificios eran de varios pisos y de construcción reciente como el mostrado en la fotografía; su colapso total causó la muerte de un número importante de los ocupantes.

Figura 2. Inundaciones históricas en la Ciudad de México

Por tratarse de una cuenca cerrada, la Ciudad de México ha sufrido a lo largo de la historia fuertes inundaciones que han ocasionado graves daños y alteración en la vida de la ciudad. Las obras de drenaje realizadas desde fines del siglo pasado, y sobre todo el drenaje profundo terminado en 1974, han reducido notablemente el riesgo de inundaciones generalizadas; sin embargo, el crecimiento de la población y los problemas relacionados con el hundimiento del subsuelo tienden a aumentar los riesgos asociados a estos fenómenos. Las fotografías muestran escenas de las inundaciones en los años de 1930 a 1940.

da 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**, y a la estructura organizativa para la realización de dichas tareas se le llama en México, **Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC)**. 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 organizó 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). Para conocer el funcionamiento del SINAPROC puede consultarse el documento **Manual de Operación del Sistema Nacional de Protección Civil**.

Diagnósticos de riesgo

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. 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.

Más adelante se hará un planteamiento más completo del problema; para los efectos de esta introducción basta con aclarar que el estudio del fenómeno lleva a la determinación del **peligro** (o amenaza) que existe en determinado sitio, pero que 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 las masas físicas y sociales producidos. Por otra parte, los estudios de peligro se realizan a escala relativamente amplia, cubriendo amplias regiones del país donde la ocurrencia de los fenómenos es similar; en cambio, los estudios de riesgo son mucho más locales porque dependen de las características específicas de cada sitio.

Una peculiaridad de los estudios de riesgo es que lo que está expuesto

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.

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

Figura 3. Daño por explosiones en Guadalajara



El 22 de abril de 1992 se produjo una secuencia de fuertes explosiones en la ciudad de Guadalajara, debido a la acumulación de gases provenientes de hidrocarburos, en el drenaje de una zona de la ciudad. A lo largo de cerca de 800 metros de calle, la tubería del colector de aguas residuales explotó dañando cientos de casas y causando la muerte de 193 personas. El caso representa un ejemplo de los riesgos químicos asociados a fugas de sustancias peligrosas, las cuales pueden alcanzar zonas muy alejadas del lugar donde se manejan. La fotografía muestra la zanja dejada por la explosión y los daños a las viviendas cercanas.

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.

El presente documento tiene el propósito principalmente de difundir conocimientos sobre los problemas que se presentan en el país y de proporcionar una visión de conjunto sobre la distribución geográfica de los peligros, en el entendido de que los estudios de riesgo deberán ser producto de esfuerzos específicos para cada tipo de fenómeno y para cada localidad. Así, siguiendo el esquema de este documento, se pueden elaborar **Atlas estatales** y, sobre todo, **Atlas municipales**, en los que se represente no

Figura 4. Derrame de crudo en el pozo Ixtoc en 1979



Durante los trabajos de exploración para el desarrollo del campo petrolífero de la Sonda de Campeche, la perforación del pozo Ixtoc salió de control, y el 3 de junio de 1979 se generó una explosión seguida por un incendio y subsecuentemente derrame de hidrocarburos que se dispersaron por el Golfo de México, llegando hasta las costas de Texas. Controlar el derrame resultó particularmente difícil; a pesar del número de especialistas que intervinieron y de la diversidad de técnicas que se aplicaron, no fue sino hasta marzo del año siguiente que el problema quedó resuelto, después de que 3.1 millones de barriles de petróleo se derramaron. La fotografía muestra una plataforma instalada cerca del pozo descontrolado desde la cual se perforó otro pozo para aliviar el derrame e inyectar cementantes.

sólo la información de los peligros, sino también la de los riesgos que se derivan de las condiciones locales específicas y de la situación de población y de infraestructura expuestas a los fenómenos potencialmente desastrosos. Estos Atlas locales serán los instrumentos operativos para los programas de protección civil y los planes de emergencia. El Atlas Nacional por su generalidad y escala no es suficiente para propósitos operativos.

Es muy importante que los diagnósticos y atlas que se elaboren a nivel local, sigan una metodología común, utilicen la misma terminología y tengan una representación uniforme en términos de cartografía y de informática. En el capítulo 5, se proponen al respecto, algunos criterios para el estudio de riesgo a escala local.

Conceptos básicos de prevención de desastres

Es importante contar con una terminología claramente definida que constituya un lenguaje común para la transmisión de información sobre el tema. En materia de protección civil se han empleado términos distintos para definir los principales conceptos; en el contexto del Sistema Nacional de Protección Civil, en México se ha adoptado la terminología recopilada en el **Glosario de Protección Civil**, y se remite a ese documento para una información amplia al respecto. Aquí, sólo se tratarán algunos términos que tienen un significado e importancia particular en el contexto del diagnóstico de riesgos.

Desastre es un evento destructivo que afecta significativamente a la población, en su vida o en sus fuentes de sustento y funcionamiento. En el contexto de la protección civil se consideran aquellos desastres que ocurren en eventos puntuales, o sea que se desarrollan en tiempos cortos. Por tanto, un evento como el de-

terio progresivo de las condiciones ambientales y del entorno, se considera fuera del ámbito de esta materia. Estos últimos desastres relacionados con la **degradación ambiental**, son cada vez más importantes para las sociedades modernas y requieren de un tratamiento diferente, tanto desde el punto de vista conceptual, como de la evaluación del riesgo; su tratamiento se da en el área de **protección al ambiente**.

La ocurrencia de un desastre implica la conjunción de dos factores: un fenómeno, natural o antrópico, externo que alcanza proporciones extraordinarias, y ciertos asentamientos humanos y sistemas físicos expuestos a la acción de dicho fenómeno. Así, un gran terremoto no constituye un desastre de por sí. Si se produce en una zona deshabitada, los movimientos del terreno que genera no afectarán asentamientos humanos y no producirán un desastre. Se emplea el término genérico de **agentes perturbadores** para denominar a los diferentes fenómenos que pueden causar un desastre (sismos, huracanes, etc.), y el de **sistemas afectables**, para designar a los conjuntos sociales y físicos que están **expuestos** al agente perturbador y que pueden quedar dañados por éste, en un grado tal que constituye un desastre.

La distinción entre los dos sistemas, el perturbador y el afectable, es clara para la mayoría de los fenómenos naturales, pero no lo es para algunos de ellos y, sobre todo, para aquellos desastres que son generados por la propia actividad humana. Así, un incendio forestal es provocado con frecuencia por la existencia de asentamientos humanos, que a la vez son los que sufren las consecuencias del mismo, y es la interacción entre sistemas sociales y físicos, sean naturales o tecnológicos, la que produce el evento destructor.

Desde el punto de vista del diagnóstico de riesgo, los agentes perturbadores representan una **amenaza**, de la cual hay que determinar el potencial, o **peligro** de que llegue a generar desastres cuando incide sobre ciertos sistemas afectables. Con relación a estos últimos, el potencial de desastre depende del tamaño del sistema expuesto al desastre (en términos de la cantidad de población o costo de la infraestructura o cualquier otro índice de valor de las posibles pérdidas). A esta cantidad se le llama **grado de exposición**. El potencial de desastre también depende de la **vulnerabilidad** de los sistemas expuestos, o sea de su predisposición a ser afectados por el agente perturbador. Por ejemplo, una ciudad cuyas edificaciones respetan un reglamento de construcción con requisitos severos para proporcionar seguridad ante efectos sísmicos, es mucho menos vulnerable ante la ocurrencia de un terremoto, que otra en que las construcciones no están preparadas para resistir dicho fenómeno. En otro aspecto, un asentamiento humano que cuenta con una organización y preparación para responder de manera adecuada ante la inminencia de una erupción volcánica o de la llegada de un huracán, por ejemplo mediante sistemas de alerta y planes operativos de evacuación, presenta mucho menor vulnerabilidad que otro que no esté preparado de esa forma.

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, químico, sanitario y socio-organizativo**.

La definición de cada tipo de riesgo, y de los fenómenos y manifestaciones que éstos tienen, se presenta en los capítulos dedicados a cada uno de ellos. Existen casos que no quedan claramente ubicados en una de las cate-

gorías mencionadas, principalmente porque el evento puede ser originado por una **concatenación de fenómenos**. Piénsese en un alud, o el desprendimiento de tierra producido por una lluvia intensa. Se trata de un fenómeno geológico, porque el material de la ladera se encontraba en una situación poco estable y su desprendimiento podía haberse ocasionado por distintos efectos, como la vibración debida a un sismo o, como en el caso que se comenta, por el reblandecimiento y pérdida de cohesión del suelo debidos a una lluvia intensa que pudiese estar asociada a un huracán. El huracán es el fenómeno específico que en este caso provoca el alud, cuyas consecuencias pueden calificarse como un desastre de origen meteorológico o como uno de origen geológico. La clasificación tiene en éste y en otros casos, cierto grado de arbitrariedad y obedece a la conveniencia de presentar los eventos de manera ordenada.

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, una de **magnitud** y otra de **intensidad**. 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 sola magnitud, pero tantas intensidades como son los sitios en que interese 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

Figura 5. Efectos del huracán Gilbert

El huracán Gilbert, que entró a las costas del país el 14 de septiembre de 1988, ha sido el más severo de las últimas décadas. El fenómeno entró primero por las costas de Quintana Roo causando graves pérdidas económicas en Cancún; cruzó la Península de Yucatán ocasionando sobre todo severos daños ecológicos; se internó en el Golfo de México y tocó nuevamente tierra en el estado de Tamaulipas produciendo fuertes lluvias en el norreste del país, las que tuvieron como principal consecuencia graves inundaciones en Monterrey con muchas pérdidas de vidas humanas por avenidas del Río Santa Catarina cuyo cauce se encontraba ocupado por diversas construcciones. La fotografía muestra un barco cubano que fue proyectado tierra adentro por la marea de tormenta asociada al huracán y que quedó varado en la playa de Cancún.

brusco de las placas terrestres y se mide en la escala de Richter (ver capítulo 2). 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 ge-

nerales, el peligro debe estar asociado a la intensidad del fenómeno más que a su magnitud, o sea más a las manifestaciones o efectos que el fenómeno puede presentar en el sitio de interés, que a las características básicas del fenómeno mismo. 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 en cuanto permite saber en 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 im-

Figura 6. Incendio forestal

Los incendios forestales constituyen una grave amenaza para la población y sobre todo para la preservación del equilibrio ecológico y del suelo. La temporada de incendios de 1998 (principalmente de abril a junio) fue la más severa de las últimas décadas en México. Se perdieron 198,000 hectáreas de bosque en más de 14,000 incendios detectados a lo largo del territorio. Estas experiencias llevaron a reforzar las acciones de prevención y de detección y combate de incendios en todos los estados de la república.

Figura 7. Daños causados por el volcán Chichónal

La más grave erupción ocurrida en el siglo XX en América del Norte fue la del volcán Chichón en el estado de Chiapas, el 4 de abril de 1982; la columna de ceniza alcanzó una altura cercana a 20 km y sus rastros llegaron a ser detectados a miles de kilómetros de distancia. Los flujos de material incandescente y de lodo arrastraron las zonas cercanas al volcán y destruyeron ocho poblados causando un número muy alto, no bien determinado de víctimas.

pacto. 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). Por ello, conviene recurrir a una formulación probabilística, que en su planteamiento más general se expresa de la manera que se describe a continuación.

Se llama **peligro** P , a la probabilidad de que se presente un evento de cierta intensidad, tal que pueda ocasionar daños en un sitio dado. Se define como **grado de exposición** E , a la cantidad de personas, bienes y sistemas que se encuentran en el sitio considerado y que es factible sean dañados por el evento. Se llama **vulnerabilidad** V , a la propensión de estos sistemas a ser afectados por el evento; la vulnerabilidad se expresa como una probabilidad de daño. Finalmente, el **riesgo** es el resultado de los tres factores, que se obtiene como

Riesgo = Peligro $\times$ Exposición $\times$ Vulnerabilidad;

$$R = P \times E \times V$$

En este esquema, el riesgo se expresa como un resultado posible de un evento; ya que P y V son dos probabilidades; si E se puede expresar en términos monetarios, R resulta igual a la fracción del costo total de los sistemas expuestos que se espera sea afectada por el evento en cuestión.

Como ejemplo, tomemos el riesgo de daño por sismo en una zona urbana. El peligro es la probabilidad de que se presente en el sitio un sismo de gran intensidad (digamos, de grado IX en la escala de Mercalli); para obtener el riesgo hay que multiplicar esa probabilidad por el valor de los bienes que existen en el sitio y por la fracción de estos bienes que es de esperarse sea afectada por un sismo de esa intensidad.

La forma más común de representar el carácter probabilístico del fenómeno es en términos de un **periodo de retorno** (o de recurrencia), que es el lapso que en promedio transcurre entre la ocurrencia de fenómenos de cierta intensidad. Por ejemplo, se pueden representar en un mapa curvas de velocidad de viento con un periodo de retorno de 100 años, lo que significa que en un sitio al que corresponde la curva marcada con 120 km/h, se presenta en promedio cada 100 años un viento con una velocidad igual o superior a dicho valor. De manera semejante puede hablarse de una precipitación pluvial de 150 mm/día, que tiene un periodo de retorno de 50 años en cierto sitio, o de un sismo de intensidad IX en la escala de Mercalli que tiene un periodo de retorno de 500 años en cierto lugar, o que cierto escenario eruptivo de un volcán, que implique flujos piroclásticos en una zona determinada, tiene un periodo de retorno de 5000 años.

Los estudios para determinar las probabilidades de ocurrencia de distintos fenómenos se basan principalmente en las estadísticas que se tienen sobre la incidencia de los mismos. Los servicios meteorológicos, sismológicos, etc., realizan el monitoreo y llevan estadísticas de los fenómenos, de las que se pueden derivar estimaciones de probabilidad de ocurrencia de intensidades máximas. En muchos casos las estadísticas cubren lapsos mucho menores que aquellos necesarios para determinar los periodos de retorno útiles para diagnóstico de riesgo. Por ello, es necesario recurrir a fuentes de información indirecta para deducir la frecuencia con que se han presentado ciertos eventos extremos. Por ejemplo, para los grandes terremotos y las erupciones volcánicas permanecen evidencias geológicas de su ocurrencia y es factible estimar fechas aproximadas de los distintos eventos de gran intensidad que han ocurrido y de allí los periodos de retorno correspondientes.

El concepto de período de retorno en términos probabilísticos no implica que el proceso sea cíclico, o sea que deba siempre transcurrir cierto tiempo para que el evento se repita. Un periodo de retorno de 100 años para cierto evento significa, por ejemplo, que en 500 años de los que hay datos históricos, el evento en cuestión se ha presentado cinco veces, pero que en un caso pudieron haber transcurrido 10 años entre un evento y el siguiente, y en otro caso, 200 años.

Como se verá en los capítulos siguientes, para la mayoría de los fenómenos no es posible representar el peligro en términos de periodos de retorno, porque no ha sido posible contar con la información suficiente para este tipo de representación. Se ha tenido que recurrir a escalas cualitativas, buscando las representaciones de uso más común y de más utilidad para las aplicaciones usuales en el tema específico.

Estadísticas de daños

Existen relatos de grandes desastres desde los inicios de la historia escrita de la humanidad, y aun de otros que se remontan a épocas prehistóricas y que se han transmitido a través de mitos y leyendas que con frecuencia han encontrado verificación mediante evidencias físicas descubiertas en estudios arqueológicos recientes.

Es importante contar con estadísticas amplias y confiables de los desastres del pasado, porque permiten estimar la frecuencia con que ocurren distintos fenómenos y por ello hacer determinaciones de riesgos. Sólo recientemente se han hecho intentos sistemáticos de evaluar las consecuencias de eventos importantes, y de llevar estadísticas completas de los mismos. Las

grandes compañías de seguros son las que más atención han prestado a estas tareas y las que proporcionan la información más completa y cuantitativa.

Aun en los países más avanzados es tarea difícil reunir información confiable sobre las pérdidas producidas por los desastres, y lo es más todavía en los países en desarrollo, donde no existe la práctica de realizar una cuantificación de los bienes y las pérdidas. Por estas razones, las estadísticas disponibles implican elevados márgenes de error, sobre todo en lo que se refiere a las pérdidas económicas, pero también en cuanto a las víctimas.

Sólo se incluirán aquí algunas estadísticas generales que se consideran de utilidad para apreciar la importancia de ciertos factores básicos. En los capítulos respectivos, se presentan estadísticas más detalladas sobre la ocurrencia de los distintos tipos de desastres.

En cuanto a las estadísticas a nivel mundial, se ha escogido la información preparada por el Comité Alemán para la Década Internacional para la Reducción de Desastres Naturales; esta información se basa en distintas fuentes, principalmente relacionadas con la industria de seguros. Las tablas 1 y 2 catalogan como grandes desastres, los que han producido más de mil víctimas o pérdidas económicas superiores a mil millones de dólares. La regla es debatible, pero constituye al menos una referencia cuantitativa común. El catálogo de desastres por pérdidas de vidas abarca el siglo XX, mientras que el de pérdidas económicas comienza en 1976, por la dificultad de encontrar la información necesaria antes de dicha fecha.

En términos de víctimas, destacan las enormes pérdidas debidas a las sequías en Asia y África, y las debidas a algunas inundaciones y sismos en Asia. En términos de pérdidas económicas, se aprecia la ocurrencia de grandes

Tabla 1. Grandes desastres naturales en el mundo en términos de víctimas (1900-1998). (Más de 1,000 víctimas.)

Año	Desastre	País	Víctimas
1900	Huracán	EUA	6,000
1900	Sequía	India	1,250,000
1902	Erupción volcánica	Martinica	29,000
1902	Erupción volcánica	Guatemala	60,000
1906	Huracán	Hong Kong	10,000
1906	Sismo	Taiwan	6,000
1906	Sismo/Incendio	EUA	1,500
1908	Sismo	Italia	75,000
1911	Erupción volcánica	Filipinas	1,300
1915	Sismo	Italia	30,000
1916	Avalancha de tierra	Italia	10,000
1919	Erupción volcánica	Indonesia	5,200
1920	Sismo/Avalancha de tierra	China	200,000
1921	Sequía	Unión Soviética	1,200,000
1923	Sismo/Incendio	Japón	143,000
1928	Huracán/Inundación	EUA	2,000
1928	Sequía	China	3,000,000
1930	Erupción volcánica	Indonesia	1,400
1931	Inundación	China	1,400,000
1932	Sismo	U. Soviética /Turkmenistán	110,000
1932	Sismo	China	70,000
1933	Tsunami	Japón	3,000
1935	Sismo	India	60,000
1938	Inundación	China	500,000
1939	Inundación	China	20,000
1939	Sismo/Tsunami	Chile	30,000
1942	Sequía	India	1,500,000
1943/44	Sequía/Guerra	Bangladesh	3,000,000
1945	Inundación/Avalancha de tierra	Japón	1,200
1946	Tsunami	Japón	1,400
1948	Sismo	Unión Soviética	100,000
1949	Inundación	China	57,000
1949	Sismo/Inundación	Unión Soviética	18,000
1951	Erupción volcánica	Papua NG	2,900
1953	Inundación	Alemania (Mar del Norte)	1,800
1954	Inundación	China	40,000
1959	Huracán	Japón	4,600
1959	Inundación	China	2,000,000
1960	Sismo	Marruecos	13,100
1960	Sismo	Chile	3,000
1963	Erupción volcánica	Indonesia	3,870
1963	Sismo	Yugoslavia	1,070
1963	Huracán	Haití	5,100
1965-67	Sequía	India	1,500,000
1968	Sismo	Irán	12,000
1970	Sismo	Perú	67,000
1970	Huracán	Bangladesh	300,000
1972	Sismo	Irán	5,400
1972-75	Sequía	Sahel/Etiopía	250,000

Tabla 1 (continuación). Grandes desastres naturales en el mundo en términos de víctimas (1900-1998). (Más de 1,000 víctimas.)

Año	Desastre	País	Víctimas
1972	Sismo	Nicaragua	5,000
1974	Sismo	China	10,000
1974	Huracán	Honduras	8,000
1975	Sismo	Turquía	2,400
1976*	Sismo	Guatemala	22,778
1976*	Sismo	Italia	978
1976*	Sismo	China	242,000
1976	Sismo	Filipinas	3,564
1976	Sismo	Turquía	3,626
1977	Sismo	Rumania	1,387
1977*	Huracán (dos)	India	20,000
1978	Sismo	Irán	20,000
1979*	Huracán	Caribe/EUA	1,400
1980*	Sismo	Argelia	2,590
1980*	Sismo	Italia	3,114
1982	Sismo	Yemen	3,000
1983	Sismo	Turquía	1,346
1984	Huracán	Filipinas	1,000
1985	Huracán	Bangladesh	11,000
1984/85*	Sequía/Guerra	Etiopía, Sudán, Chad	más de 500,000
1985*	Sismo	México	10,000
1985	Erupción volcánica	Colombia	23,000
1986	Erupción volcánica de gas	Camerún	1,736
1986*	Sismo	El Salvador	1,000
1987	Sismo	Ecuador	1,000
1987	Onda de calor	Grecia	1,000
1987*	Monzón/Inundaciones (2 veces)	Bangladesh	3,496
1988*	Huracán	Bangladesh	5,708
1988*	Sismo	U. Soviética/Armenia	25,000
1989	Huracán	Tailandia	1,000
1990*	Sismo	Irán	36,000
1990*	Sismo	Filipinas	1,660
1991*	Huracán /Marea de tormenta	Bangladesh	140,000
1991*	Inundación	China	3,047
1991	Sismo	India	1,600
1991	Tormenta tropical	Filipinas	5,000
1992*	Sequía/Guerra	Somalia	más de 100,000
1992	Inundación	Paquistán/India	2,500
1992	Sismo/Tsunami	Indonesia (Flores)	2,000
1992	Inundación	Afganistán	3,000
1992/93	Sequía	Brasil	más de 10,000
1993*	Inundación	Región del Himalaya	4,300
1993	Inundación	China	1,000
1993*	Inundación	India/Nepal	2,560
1993	Sismo	India	10,000
1994*	Inundación	China	1,410
1994*	Huracán	China	1,100
1994	Huracán	Haití	1,000
1995*	Sismo	Japón (Kobe)	6,348
1995	Sismo	Rusia (Sachalin)	1,800

Año	Desastre	País	Víctimas
1995*	Inundación	China	1,400
1996*	Huracán	India	2,000
1997	Sismo	Irán	1,560
1997	Hambruna, inundación, sequía	Corea del Norte	más de 100,000
1997	Inundación	Burma	más de 1,000
1997	Inundación	Somalia/Kenia/Etiopía	2,000
1998	Sismo	Afganistán (N. Rostaq)	4,600
1998	Inundación	China (Yang-tse y Songhua)	3,656
1998	Onda de calor	India (Rajasthan)	3,028
1998	Sismo	Afganistán (N. Rostaq)	4,500
1998	Huracán	India	10,000
1998	Inundación	Bangladesh/India/Bengala/Nepal	4,750
1998	Tsunami	Papua Nueva Guinea	2,134
1998	Huracán (Georges)	Rep. Dominicana/Haití/EUA	más de 4,000
1998	Huracán (Mitch)	Costa Rica/El Salvador/Nicaragua EUA/Guatemala/Honduras/México	9,200

Fuente: Comité IDNDR alemán. La lista se basa en varias fuentes; los números de víctimas de sequía son estimaciones aproximadas; no están considerados los decesos por epidemias.

Después de 1976, los desastres marcados con un asterisco (*) (25 de 52) pueden ser clasificados como grandes desastres en términos de víctimas, así como en términos de daños (más de \$1,000 millones de dólares).

Tabla 2. Grandes desastres naturales en el mundo en términos de pérdidas económicas (1976-1998) en millones de dólares. (Pérdidas mayores de 1,000 millones de dólares.)

Año	Desastre	País	Económicas	Aseguradas
1976	Tormenta invernal	Europa	1,300	500
1976*	Sismo	Guatemala	1,100	55
1976*	Sismo	Italia	3,600	?
1976*	Sismo	China	5,600	?
1977*	Huracán (dos)	India	1,000	?
1979	Sismo	Yugoslavia	2,700	?
1979*	Huracán	Caribe/Estados Unidos	2,000	250
1979	Huracán	Estados Unidos	2,300	752
1980	Huracán	Caribe/Estados Unidos	1,500	58
1980*	Sismo	Argelia	3,000	?
1980*	Sismo	Italia	10,000	40
1982	Tormenta invernal	Estados Unidos	1,000	345
1983	Huracán	Estados Unidos	1,650	1,275
1983	Inundación	España	1,250	433
1983	Tormenta invernal	Estados Unidos	1,800	880
1984	Granizada	Alemania	3,000	1,500
1984/85*	Sequía/Guerra	Etiopía/Sudán/Chad	1,000	?
1985	Sismo	Chile	1,200	90
1985	Huracán	Estados Unidos	1,100	543
1985*	Sismo	México	4,000	275
1986	Inundación	China	1,210	?
1986	Sequía/Onda de calor	Estados Unidos	1,500	?
1986*	Sismo	El Salvador	1,500	75
1986	Inundación	Irán	1,560	?
1987*	Inundación/Monzón	Bangladesh	1,300	?

Tabla 2 (continuación). Grandes desastres naturales en el mundo en términos de pérdidas económicas (1976-1998) en millones de dólares. (Pérdidas mayores de 1,000 millones de dólares.)

Año	Desastre	País	Económicas	Aseguradas
1987	Tormenta invernal	Gran Bretaña/Francia	3,700	3,100
1988	Inundación	Sudán	1,000	?
1988*	Inundación/Monzón	Bangladesh	2,400	?
1988	Huracán	Jamaica/México	2,000	800
1988*	Sismo	Unión Soviética	14,000	?
1988	Plagas (langostas)	Países Sahel/Africa del Norte	más de 1,000	?
1989	Huracán	Caribe/EUA	9,000	4,500
1989	Sismo	EUA	6,000	900
1989	Sismo	Australia	3,200	870
1990	Tormenta invernal	Europa	15,000	10,000
1990*	Sismo	Irán	7,000	100
1990*	Sismo	Filipinas	2,000	20
1991*	Huracán	Bangladesh	1,400	?
1991*	Inundación	China	15,000	410
1991	Huracán	EUA	1,000	620
1991	Huracán	Japón	6,000	5,200
1991	Incendio forestal	EUA	1,500	1,700
1992	Huracán	EUA	30,000 aprox.	20,000
1992*	Sequía/Guerra	Somalia	más de 1,000	?
1992	Inundación	Pakistán	más de 1,000	?
1992	Huracán	EUA (Hawái)	3, - 5,000	1,600
1993	Inundación	EUA (Misisipi)	12,000	100
1993	Inundación	Nepal/India	7,100	?
1993	Inundación	China	2,450	?
1993	Inundación	Irán	10,000	?
1993	Tormenta invernal/tornado	EUA/ Cuba	1,000	?
1993	Inundación	Italia	1,000	?
1993	Inundación	Alemania/Europa Occidental	2,000 aprox.	800
1994	Sismo	EUA	30, - 40,000	12,500
1994*	Inundación	China	7,800	?
1994*	Granizada	Alemania	1,000	500
1994	Sequía	China	2,000	?
1994*	Huracán	China	1,800	?
1994	Incendios forestales	Indonesia	1,500	?
1994	Sequía	Australia	1,000	?
1994	Inundación	Italia	9,000	65
1995*	Sismo	Japón (Kobe)	más de 100,000	3,000
1995	Inundación	Alemania/ Países Bajos/ Bélgica/Francia	1,680	?
1995*	Inundación	China	6,700	?
1995	Inundación	Corea del Norte	15,000 aprox.	?
1995	Inundación	EUA	2,000	380
1995	Huracán	EUA	3,000	2,100
1995	Huracán	Caribe	2,500	1,500
1996	Incendios forestales	Mongolia	1,900	?
1996	Inundación	China	20,000	400
1996	Inundación	Corea del Norte	1,820	?
1996	Inundación	Yemen	1,200	?
1996	Huracán	EUA	3,000	1,600
1996*	Huracán	India	3,600	?
1996	Huracán	China	1,500	?

Año	Desastre	País	Económicas	Aseguradas
1996	Huracán	India	1,800	?
1997	Inundación	EUA	2,000	280
1997	Inundación	EUA	1,000	200
1997	Inundación	República Checa/Polonia	4,200	?
1997	Sismo	Italia	1,300	?
1998	Tormenta invernal	Canadá/EUA	2,500	1,150
1998	Incendios forestales	Indonesia/Malasia/Brunei	1,300	?
1998	Inundaciones	Argentina/Paraguay	1,100	?
1998	Sequías/Incendios forestales	EUA	4,775	?
1998	Inundaciones	China	30,000	1,000
1998	Inundaciones	Turquía	2,000	?
1998	Granizada	EUA	1,800	1,350
1998	Tornados	EUA	1,000	650
1998	Huracán	India	1,700	400
1998	Inundación	Bangladesh/India/ Bengala/Nepal	5,020	?
1998	Inundaciones	Corea del Sur	1,480	1
1998	Huracán (Bonnie)	Estados Unidos	1,500	360
1998	Huracán (Georges)	Puerto Rico/Haití/EUA	10,000	3,300
1998	Huracán (Vicki)/Inundación	Japón/Filipinas	1,500	700
1998	Inundación	EUA	1,000	110
1998	Huracán (Mitch)	Costa Rica/El Salvador/EUA/México Guatemala/Honduras/Nicaragua	7,000	150

Fuente: Comité IDNDR alemán, la lista se basa en diferentes fuentes.

Desastres marcados con un asterisco (*) (24 de 80) pueden ser clasificados como grandes desastres en términos de víctimas (>1,000) , así como en términos de daños.

desastres en los países más ricos.

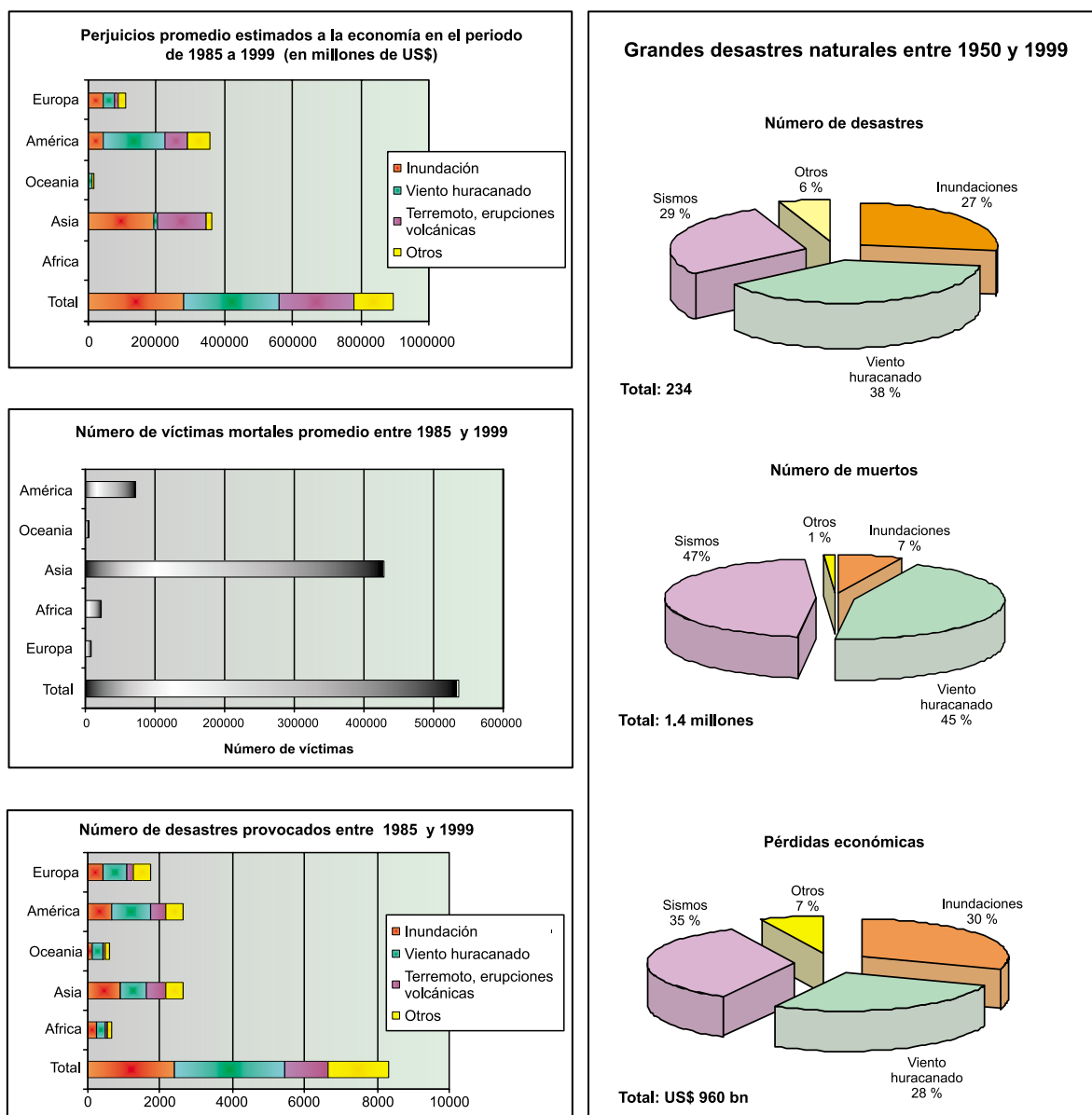
En la tabla 1 se revela un crecimiento acelerado en el número de desastres a partir de la década de los 60. Esto debe atribuirse al progresivo incremento de las comunicaciones y de la atención que los medios y las instituciones han puesto en este problema, lo que ha llevado a un registro cada vez más completo de los eventos y de sus consecuencias.

Un análisis más específico de la situación se tiene al clasificar los desastres por región geográfica y por tipo de fenómeno. Se aprecia en las gráficas de la figura 8 la gran concentración de víctimas en Asia, la predominancia de pérdidas económicas en Asia y América y la incidencia de los fenómenos hidrometeorológicos como causantes de daños económicos (58% de las pérdidas).

En relación con la distribución de daños entre países desarrollados y en vías de desarrollo, son reveladoras algunas cifras recabadas por la reaseguradora Swiss Re. De 1980 a la fecha, las víctimas por desastres naturales han sido veinte veces superiores en los países en desarrollo que en los desarrollados. Las pérdidas económicas totales han sido mayores en los países desarrollados, pero cuando se expresan en proporción del Producto Interno Bruto de cada país, son también cerca de veinte veces mayores en los países en desarrollo que en los desarrollados.

Las estadísticas anteriores indican que en los países desarrollados los desastres naturales representan un grave problema económico, y en mucho menor grado una amenaza a la integridad física de la población. Por el contrario, en los países en desarrollo ambos factores son relevantes y, globalmente, el problema es mucho más grave que para los países desa-

Figura 8. Distribución de daños por tipo de evento



Se muestran las proporciones en que inciden distintos tipos de eventos en los daños por desastres en el mundo, expresadas en número de desastres, en número de víctimas y en pérdidas económicas. Se aprecia que los fenómenos meteorológicos son los que mayor participación tienen, sobre todo en términos de pérdidas económicas. Información recabada por Munich Reinsurance.

rollados.

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 se-

quías o las inundaciones, generaban hambrunas prolongadas con la consecuente mortandad de grandes proporciones de la población. Por el otro lado, cuando se consideran las pérdidas económicas, por el contrario, las consecuencias de los desastres aumentan a escala mundial con una tendencia exponencial. Resulta reveladora, al respecto, la estadística producida por otra compañía reaseguradora, Munich Re, sobre la variación año con año de las pér-

didas totales por desastres, separando las pérdidas aseguradas de las totales.

La figura 9 revela, como es de esperarse, una gran variación de un año a otro, pero un crecimiento acelerado sobre todo en los últimos años. Cabe anotar que los valores más altos están asociados a eventos ocurridos en los países desarrollados, como el huracán Andrew de 1992, en la costa atlántica de los EUA, el sismo de Northridge, California, de 1994 y el de Kobe, Japón, de 1995. Las pérdidas han crecido a una tasa tal que, a valor constante, en el quinquenio 1994-1998 fueron 15 veces más que en el que va de 1960 a 1964.

Las razones de este aumento acelerado de las pérdidas deben atribuirse principalmente al crecimiento extraordinario del grado de exposición, o sea de la población asentada en las zonas de mayor incidencia de los fenóme-

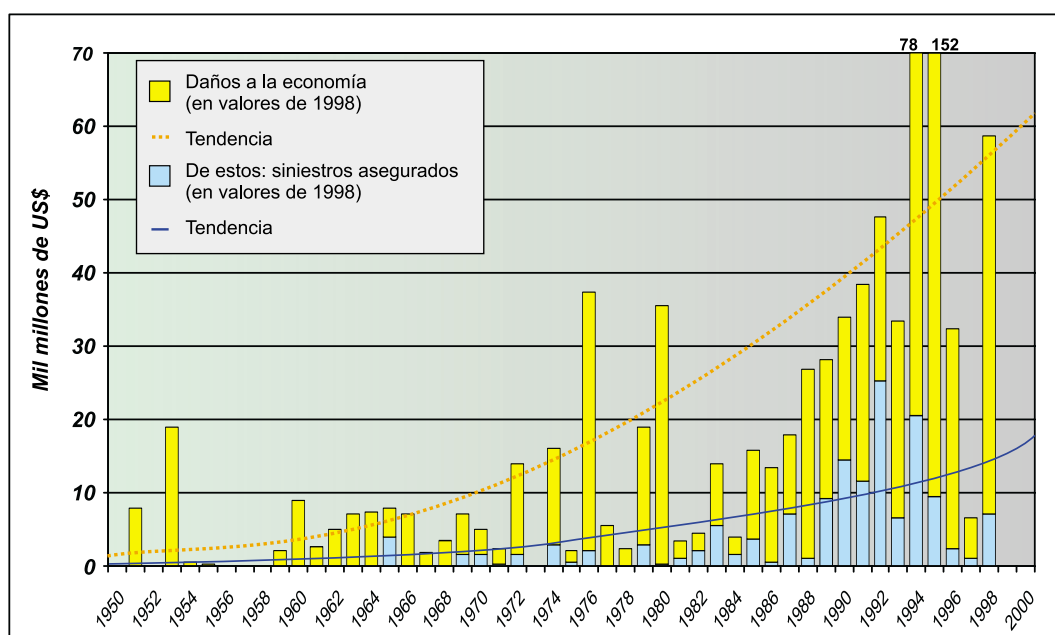
nos y al valor de los bienes expuestos a dichos fenómenos.

De los factores que intervienen en el riesgo en el esquema expuesto anteriormente, el peligro representado por la mayoría de fenómenos se mantiene aproximadamente constante en el tiempo, porque no hay evidencia estadística de una variación sistemática de la frecuencia con que ocurren los grandes eventos naturales (excepto quizás por los efectos del calentamiento global que se afirma han aumentado el número de los fenómenos meteorológicos extremos) ni de un crecimiento de su intensidad, la vulnerabilidad de los sistemas expuestos debería estar disminuyendo, debido a los

Ejemplos de mapas de peligro y de riesgo

Para ilustrar la amplia gama de tipos de

Figura 9. Daños a la economía y siniestros asegurados con tendencia



La gráfica muestra la variación de las pérdidas estimadas que han producido los desastres en el mundo, a partir de 1960, en miles de dólares a valor constante. Se indica también la fracción de estas pérdidas que se encontraba asegurada. Con línea punteada se indican las curvas ajustadas a los valores anuales. Información recabada por Munich Reinsurance.

avances tecnológicos en las medidas para la protección contra los fenómenos y la mejor organización en la protección civil. Por otra parte, se ha dado un gran crecimiento demográfico en zonas expuestas a eventos potencialmente desastrosos, sobre todo en las zonas costeras sometidas a huracanes y a inundaciones; además, el valor de los bienes que se han instalado en esas zonas ha crecido enormemente. En resumen, el aumento de valor de los bienes expuestos ha rebasado ampliamente los efectos de la posible reducción en la vulnerabilidad, dando lugar a un aumento importante en el riesgo.

En lo relativo a las estadísticas de desastres en México, se ha realizado una recopilación basada principalmente en fuentes periódicas sobre los eventos ocurridos en este siglo. Para la elaboración de la tabla 3 se ha recabado la información de la publicación **Pronuario de Contingencias del Siglo XX Mexicano**, la que se ha complementado con una búsqueda directa por parte del Cenapred.

El criterio para clasificar un evento como desastre fue, en este caso, que hubiera causado cien o más víctimas o una pérdida económica significativa a nivel nacional. Esta última fue sólo estimativa, ya que, excepto que para las últimas dos décadas, no se cuenta con una valoración de pérdidas económicas. Se aprecia la variedad de eventos que se han presentado a lo largo del siglo. 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.

El examen de la tabla 3 revela la alta frecuencia de los desastres sísmicos en distintas zonas del país y el impacto aún más frecuente de las inundaciones, asociadas principalmente a los huracanes, pero también a tormentas intensas que llegan a presentarse aun en zonas áridas donde la preparación para enfrentar estos fenómenos ocasionales es escasa.

Para la estimación de las pérdidas económicas, el trabajo más completo es el realizado por D. Bitrán, cuyas cifras se reproducen en la tabla 4. Sólo se consideran los eventos ocurridos a partir de 1980; destaca el sismo de 1985 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 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).

Las pérdidas económicas indicadas en la tabla son ciertamente subestimadas, por la falta de un registro completo de los daños y por no existir información sobre eventos menores que, por su número, influyen de manera significativa en el monto total de los daños.

Tabla 3. Grandes desastres en la República Mexicana (1900-1989). (Se incluyen eventos que causaron más de 100 víctimas o pérdidas económicas extraordinarias.)

Año	Desastre	Estado	Comentarios
1900-sep.	Incendio	Distrito Federal	Pérdidas estimadas en más de \$800,000.00 pesos, en el almacén de ropa “La Valenciana”.
1902-ene.	Explosión	Coahuila	106 cadáveres extraídos en Minas de Hondo.
1902-sep.	Incendio	Chihuahua	Pérdidas por un millón de pesos, en una empacadora.
1905-jul.	Inundación	Guanajuato	Pérdidas por más de por un millón de pesos.
1906-oct.	Inundación	Jalisco	Desbordamiento del río Tuxpan, más de 100 personas ahogadas en Guadalajara.
1909-feb.	Incendio	Guerrero	300 personas muertas, en el “Teatro Flores” de Acapulco.
1909-sep.	Inundación por huracán	Nuevo León	Pérdidas por veinte millones de pesos y cerca de 2,000 personas ahogadas en Monterrey.
1912-jul.	Inundación	Querétaro	Pérdidas por dos millones de pesos.
1912-nov.	Sismo	México	Entre 200 y 300 muertos en la población de El Oro.
1919-may.	Incendio	Tamaulipas	Pérdidas por más de un millón de pesos en Tampico; se inició en un tanque petrolero, destruyendo algunas casas.
1919-sep.	Incendio	Veracruz	Pérdidas por más de un millón de pesos, en una fabrica de Río Blanco.
1920-ene.	Sismo, corrientes de lodo	Veracruz	A causa del sismo se presentaron numerosos derrumbes y deslizamientos en laderas cercanas al río Huitzilapa-Los Pescados, provocando corrientes de lodo en la región al sur del Cofre de Perote. Lo anterior, junto con el colapso de numerosas construcciones, produjo entre 1800 y 2000 víctimas.
1922-ago.	Incendio	Tamaulipas	Pérdidas por 3 millones de pesos en Tampico, una manzana comercial destruida.
1926-sept.	Huracán	Veracruz, Yucatán Campeche	Barcos hundidos, líneas telefónicas rotas, el servicio de trenes suspendido.
1927-ene.	Sismo	Baja California	Pérdidas por tres millones de pesos, a causa de dos sismos.
1927-sep.	Inundación	Michoacán	20,000 damnificados, en Acámbaro.
1931-ene.	Sismo	Oaxaca y D.F.	71 muertos bajo la iglesia de Guelatao, Oax. La fuerte sacudida abarcó la mitad del territorio nacional. En el D.F. varios heridos y 50 derrumbes en edificaciones.
1932-jun.	Sismo	Colima y Jalisco	El mayor sismo registrado durante este siglo. Jalisco y Colima devastados por el sismo, la capital de Colima semidestruida, Tecomán, Autlán y Mascota se encuentran en ruinas. Cerca de 300 muertos.
1932-jun.	Sismo y tsunami	Colima	Réplica con una magnitud de Ms 6.9, Cuyutlán y las haciendas de Navidad y Barra de Navidad quedaron arrasadas por olas altas (altura máxima de 10 metros). Más de 20,000 damnificados.
1932	Inundación	Coahuila	En Piedras Negras y otras ciudades, 16,000 damnificados. Dos puentes internacionales destruidos, numerosos sembradíos arrasados.
1933	Huracán	Tamaulipas	Soto la Marina destruido, enormes daños en gran parte de la costa noreste de la República. Jiménez y Cd. Victoria fueron afectadas por el ciclón. La totalidad de las casas del poblado de Padilla arrasadas, miles de muertos.
1933-ago.	Huracán	Tamaulipas Tabasco, Veracruz	El norte de Tamaulipas incomunicado, 8,000 damnificados en Tampico; 5,000 en Pánuco, centenares de cadáveres.
1933-nov.	Epidemias	Tamaulipas	441 fallecimientos de enfermedades gastrointestinales: 68 por sarampión, 59 por bronconeumonía y 33 de tuberculosis.
1934 jun.	Inundación	Coahuila	12,000 damnificados en Allende de Coahuila.

Tabla 3 (continuación). Grandes desastres en la República Mexicana (1900-1989). (Se incluyen eventos que causaron más de 100 víctimas o pérdidas económicas extraordinarias.)

Año	Desastre	Estado	Comentarios
1935-jun.	Lluvias Corrientes de lodo	Distrito Federal	150 muertos. Fuerte tromba en el Ajusco provoca corrientes de lodo afectando la Delegación Milpa Alta.
1935 ago.-sep.	Huracán	Veracruz	27 barcos hundidos y 15 más seriamente dañados, muchos damnificados.
1937-jun.	Lluvias torrenciales	Michoacán	Más de 300 muertos a causa del derrumbe de los almacenamientos de lodo (jales) productos de la actividad de la mina “Dos Estrellas” en Tlalpujahua, el lodo cubrió totalmente 7 barrios de esta población.
1941-abr.	Sismo	Colima, Guerrero, Jalisco y Michoacán	Colima fue destruida, Tuxpan, Zapotiltic, Cd. Guzmán, Coalcoman Carapan, afectados. El terremoto ocasiona en Tuxpan, Jalisco más de 90 muertos.
1943	Vulcanismo	Michoacán	El volcán Parícutín nace el 20 de febrero y destruye las poblaciones de Parícutín y San Juan Parangaricutiro. Mayo de 1944 la lava a las puertas de Parangaricutiro. Su actividad termina en 1952.
1944-sep.	Lluvias torrenciales	Chihuahua y Durango	Cerca de 100 muertos y miles de heridos; Parral incomunicado en Bermejillo, Dgo. Se derrumbaron más de 100 casas.
1945-feb.	Accidente ferroviario	Jalisco	Tren de pasajeros destrozado e incendiado, 200 muertos y muchos heridos en la catástrofe de Cazadero.
1949-ene.	Inundación	Sinaloa y Sonora	Pérdidas estimadas en 1,745 millones de dólares; 150,000 damnificados en Sonora y 9,000 en Sinaloa.
1949-jun.	Lluvias torrenciales	Hidalgo	Cien muertos, por la inundación en Pachuca.
1949-sep.	Huracán	Sinaloa	Cien muertos por el ciclón, numerosos barcos zozobraron o quedaron semidestruidos.
1953-sep.	Huracán	Guerrero	Cien muertos por el fenómeno; miles de personas a la intemperie.
1948-1954	Sequía	Norte, noreste y centro del país	Grandes pérdidas económicas en la ganadería y agricultura (como la del algodón).
1954-oct.	Deslizamiento de tierra	Jalisco	Más de 100 muertos en Atenquique.
1955 sept. 1-6 sept. 12-20 sept. 22-29	Huracanes “Gladys” “Hilda”, “Janet”	Veracruz, San Luis Potosí Yucatán, Q. Roo y Tamaulipas	En este año tres huracanes consecutivos azotaron Tamaulipas. Pérdidas por más de cien millones de pesos, en Tuxpan; dos mil muertos en Tampico.
1957-jul.	Sismo	Distrito Federal, Guerrero, Oaxaca	Pérdidas por 25 millones de dólares y 160 muertos. Se registró un tsunami en Acapulco y Salina Cruz (con alturas de 2.6 m y 3.0 m, respectivamente). El epicentro en Guerrero.
1957-oct.	Huracán	Sinaloa	Pérdidas por más de cien millones de pesos en Mazatlán.
1958-sep.	Inundación	Michoacán	Pérdidas por 25 millones en Acámbaro, 12 pueblos desaparecieron.
1959-oct.	Deslizamiento de tierra	Veracruz	Más de 5,000 muertos en Minatitlán.
1959-oct.	Inundación	Tabasco	Pérdidas por cientos de millones de pesos; 20,000 damnificados por el norte.
1959-oct.	Huracán	Colima, Jalisco	Pérdidas por más de 1,000 millones; varios poblados de ambos estados arrasados, entre ellos Manzanillo, Minatitlán y Comitán; más de 1,500 muertos por el “Huracán de Manzanillo”.

Año	Desastre	Estado	Comentarios
1960-ene.	Inundación	Sinaloa y Sonora	Pérdidas estimadas en 18,815 millones de dólares; 24,000 damnificados, 30 pueblos inundados por desbordamiento del río Fuerte.
1961-nov.	Huracán	Guerrero	Más de 300 muertos y cerca de 8,000 damnificados causó el huracán Tara.
1963-sep.	Inundación	Tabasco	40,000 damnificados, 2 pueblos inundados y 3 campos petroleros.
1960-1964	Sequía	Norte, noreste, Golfo de México, centro occidente y centro sur del país	81 personas muertas (1962) en Nuevo León. Grandes pérdidas económicas en la ganadería y agricultura (maíz, algodón, frijol y bosques entre los más afectados).
1966-oct.	Huracán	Tamaulipas	Más de 20,000 damnificados por el huracán Inés.
1967-sep.	Huracán	Tamaulipas y Nuevo León	Pérdidas estimadas en más de 500 millones de dólares; 100,000 damnificados, por el huracán Beulah.
1967-sep.	Huracán	Guerrero, Nayarit, Sonora	Más de 15 muertos y 30,000 damnificados por el huracán Katrina.
1968-sep.	Huracán	Colima, Jalisco, Sinaloa, Sonora, Durango, Coahuila y Chihuahua	Más de 10 muertos y 50,000 damnificados por el huracán Naomi.
1969-mar.	Explosión	Coahuila	168 muertos en una mina, bolsas de gas Grisú causaron la tragedia.
1969-sep.	Inundación	Veracruz, Oaxaca	150,000 damnificados en Oaxaca; y 30,000 en Cosamaloapan.
1973-ago.	Sismo	Puebla, Oaxaca y Veracruz	Pérdidas por varios millones de pesos; 530 muertos.
1976-oct.	Huracán	Baja California Sur, Sonora	Pérdidas estimadas en 3 millones de dólares, más de 1000 muertes (en la Cd. de La Paz) y los damnificados fluctuaron entre 10,000 y 12,000, por el huracán "Liza".
1970-1978	Sequía	Norte, noreste, Centro occidente, Centro sur	100 niños mueren deshidratados en 1972, en Nuevo León; 24 en 1977 en Coahuila. Grandes pérdidas económicas en la ganadería y agricultura.
1979-mar.	Sismo	Distrito Federal y Guerrero	600 edificios dañados por el fenómeno; el epicentro en las costas de Guerrero.
1979-jun.	Derrame e incendio)	Yucatán Tabasco Campeche,	Pérdidas por 35 millones de pesos por el incendio en el pozo Ixtoc, 10 años para reparar daños ecológicos por el derrame de hidrocarburos.
1980-ene.	Inundación	Baja California	30,000 damnificados en Tijuana y Ensenada.
1980-feb.	Lluvias torrenciales	Baja California	14,000 damnificados en Tijuana, Ensenada y Tecate.
1980-ago.	Huracán	Tamaulipas	Pérdidas por 100 millones causó el huracán Allen en Matamoros; 25,000 personas desalojadas.
1980-oct.	Sismo	Oaxaca y Puebla	50 muertos y 15,000 damnificados, la mayoría en Huajuapán de León, Oaxaca.
1981-ago.	Inundación	Veracruz Guerrero	Más de 30,000 damnificados.
1981-ago.	Escape tóxico	San Luis Potosí	Fuga de cloro, cerca de la estación de tren Montaña; 28 muertos; 1,000 intoxicados y 5,000 personas evacuadas.
1981-oct.	Inundación	Sinaloa	Desbordamiento del río Fuerte provocado por la tormenta tropical Lidia, cerca de 63,000 damnificados.
1982-sep.	Huracán	Sinaloa	Pérdidas por 4,500 millones de pesos; 257,000 damnificados, por el huracán Paul.
1982 mar. / abr.	Vulcanismo	Chiapas	Erupción del Chichón; 20,000 damnificados. Mueren cerca de 2,000 personas por las erupciones del 28 de marzo y el 4 de abril.

Tabla 3 (continuación). Grandes desastres en la República Mexicana (1900-1989). (Se incluyen eventos que causaron más de 100 víctimas o pérdidas económicas extraordinarias.)

Año	Desastre	Estado	Comentarios
1983-jul.	Inundación	México	30,000 damnificados en el Valle de Toluca.
1984-nov.	Explosión	México	550 muertos y 5,000 damnificados por la explosión de tanques con gas propano en San Juan Ixhuatepec.
1984-dic.	Escape tóxico	Tamaulipas	Fuga de amoníaco, cerca de Matamoros; 182 intoxicados y 3,000 personas evacuadas.
1985-sep.	Sismo	Distrito Federal y Michoacán	Pérdidas por más de 4,000 millones de dólares; 4,287 muertos y 37,300 damnificados.
1985	Lluvias torrenciales	Nayarit	Pérdidas estimadas en 4,200 millones de pesos; 48,000 damnificados.
1986-jun.	Inundación	Veracruz	8,000 damnificados al desbordarse el río Ostula.
1986-dic.	Escape tóxico	Tabasco	Fuga en una tubería de gas natural cerca de Cárdenas; dos personas intoxicadas y más de 20,000 evacuadas.
1987-abr.	Accidente aéreo	Distrito Federal	166 muertos al caer un jet.
1988-sep.	Huracán, Gilbert	Yucatán, Q. Roo, Campeche, Nuevo León, Tamaulipas y Coahuila	Pérdidas estimadas en más de 750 millones de dólares; 250 muertes y 150,000 damnificados.
1989-jun.	Incendio forestal	Quintana Roo	Doce incendios afectaron 119,000 ha., de las cuales 80,000 corresponden a selva media, y 35,000 a selva baja.
1989-dic.	Plagas	Yucatán	Más de 200,000 hectáreas daña la langosta, principalmente hortalizas y pastizales.
1990-ago.	Huracán, Diana	Veracruz, Hidalgo	Pérdidas por más de 250 mil millones en Veracruz; 50,000 damnificados y 66 muertos en Hidalgo.
1990-dic. 1991-ene.	Inundación	Sonora, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Chihuahua	Pérdidas estimadas en más de 53,000 millones de dólares; 40,000 damnificados.
1991-jul.	Inundación	Zacatecas	10,500 damnificados y dos puentes caídos por el desbordamiento de una presa.
1992-ene.	Inundación	Nayarit	Pérdidas estimadas en más de 161,000 dólares; 10,000 damnificados.
1992-abr.	Explosión	Jalisco	206 muertos y 6,500 damnificados por la explosión de hidrocarburos en el alcantarillado de Guadalajara.
1992-may.	Incendio	Nuevo León	Pérdidas por 37,000 millones de pesos en la planta de rayón.
1993-ene.	Inundación	Baja California	Pérdidas estimadas en 600 millones de pesos en el sector industrial; 92 muertos y 10,000 damnificados en Tijuana.
1993-sep.	Huracán	Veracruz, Hidalgo, Tamaulipas, S.L.P.	40 muertes y más de 72,000 damnificados por el huracán Gert.
1993-nov.	Inundación	Baja California Sur	Pérdidas estimadas en más de 63 millones de dólares y 10,000 damnificados en Los Cabos.
1995-sep.	Huracán	Sonora, Sinaloa	Entre 150 y 200 pescadores murieron en Sinaloa y más de 24,000 damnificados por el huracán Ismael.
1995-oct.	Huracán	Veracruz, Tabasco, Yucatán, Q. Roo, y Campeche	Más de 40,000 damnificados por el huracán Roxanne. 32 muertes y 250,000 damnificados por el huracán Opal.
1995-sep.	Sismo	Guerrero y Oaxaca	10,000 damnificados.
1995-oct.	Sismo	Colima y Jalisco	Pérdidas por más de 7 millones de dólares; 34 muertos; más de 1,000 damnificados.

Año	Desastre	Estado	Comentarios
1993-1996	Sequía	Norte, noroeste, sur y centro	54 personas mueren por deshidratación (1994) en Chihuahua; grandes pérdidas económicas en la ganadería y agricultura; trigo y maíz los más afectados.
1997-oct.	Huracán	Oaxaca y Guerrero	Pérdidas por más de 80,000 millones de pesos; más de 200 muertos y 50,000 damnificados por el huracán Pauline.
1998-sep.	Huracán	Sonora, Sinaloa,	Más de 50 millones de pesos en pérdidas por el huracán Isis.
1998-sep.	Lluvias torrenciales	Chiapas	407 muertos; 28,753 damnificados; 353 poblaciones afectadas.
1998-oct.	Huracán	Tabasco, Yucatán, Campeche y Q. Roo	13,000 damnificados por el huracán Mitch.
1998	Incendios forestales	Oaxaca, Chiapas y Durango	849,632 hectáreas dañadas; los estados más afectados fueron Oaxaca con 241,708; Chiapas con 198,808 y Durango con 68,960.
1999-jun.	Sismo	Puebla, Oaxaca	15 muertos. Daños estimados en \$1,434.7 millones de pesos, principalmente en viviendas y edificios históricos. Causó daños de consideración al sur de Puebla y norte de Oaxaca, y en menor medida en los estados de Guerrero, Morelos, México, Tlaxcala y Veracruz.
1999-sep.	Sismo	Oaxaca	35 muertos; más de 10,000 viviendas afectadas. Daños estimados en 1,424 millones de pesos, principalmente por derrumbes en carreteras.
1999-oct.	Lluvias torrenciales	Puebla, Hidalgo Veracruz, Tabasco y Oaxaca	329 muertos, más de 295,000 damnificados y 178 municipios afectados. Los daños estimados en más de 10,000 millones de pesos. Las ciudades de Villahermosa, Tab. y Tulancingo Hgo. estuvieron inundadas por varios días. Un alud sepultó casas en Teziutlan, Pue.

Tabla 4. Efectos económicos de desastres documentados en México, en millones de dólares.

Año	Fenómenos documentados	Muertos	Total de daños
1980	Sequías en el norte del país, y otros	3	310.4
1981	n.d.	n.d.	n.d.
1982	Huracán Paul, erupción Chichonal y otros	50	314.0
1983	n.d.	n.d.	n.d.
1984	Explosión San Juanico y otros	1,000	26.3
1985	Sismo Cd. México, lluvias Nayarit y otros	aprox. 5,000	4,159.8
1986	Incendios	0	1.5
1987	Nevadas	6	0.3
1988	Huracán Gilberto, flamazo oleoducto y otros	692	2,092.9
1989	Incendios	0	648.0
1990	Huracán Diana y otros	391	94.5
1991	Explosión planta petrolera y otros	11	167.5
1992	Explosión Guadalajara y otros	276	192.5
1993	Huracán Gert y otros	28	125.6
1994	Sequías y otros	0	3.8
1995	Huracanes Opal e Ismael, sismo Guerrero-Oaxaca, explosión gasoductos y otros	364	689.6
1996	Heladas y otros	224	5.3
1997	Huracán Paulina y otros	228	447.8
1998	Lluvias Chiapas y otros	199	2,478.8
1999	Sismos e inundaciones	313	1,100

Notas: Las cifras corresponden a estimaciones con base en información dispersa y sin una metodología uniforme, por lo que sólo pueden considerarse como aproximaciones.

n.d.- No disponible.

Datos recopilados por D. Bitrán

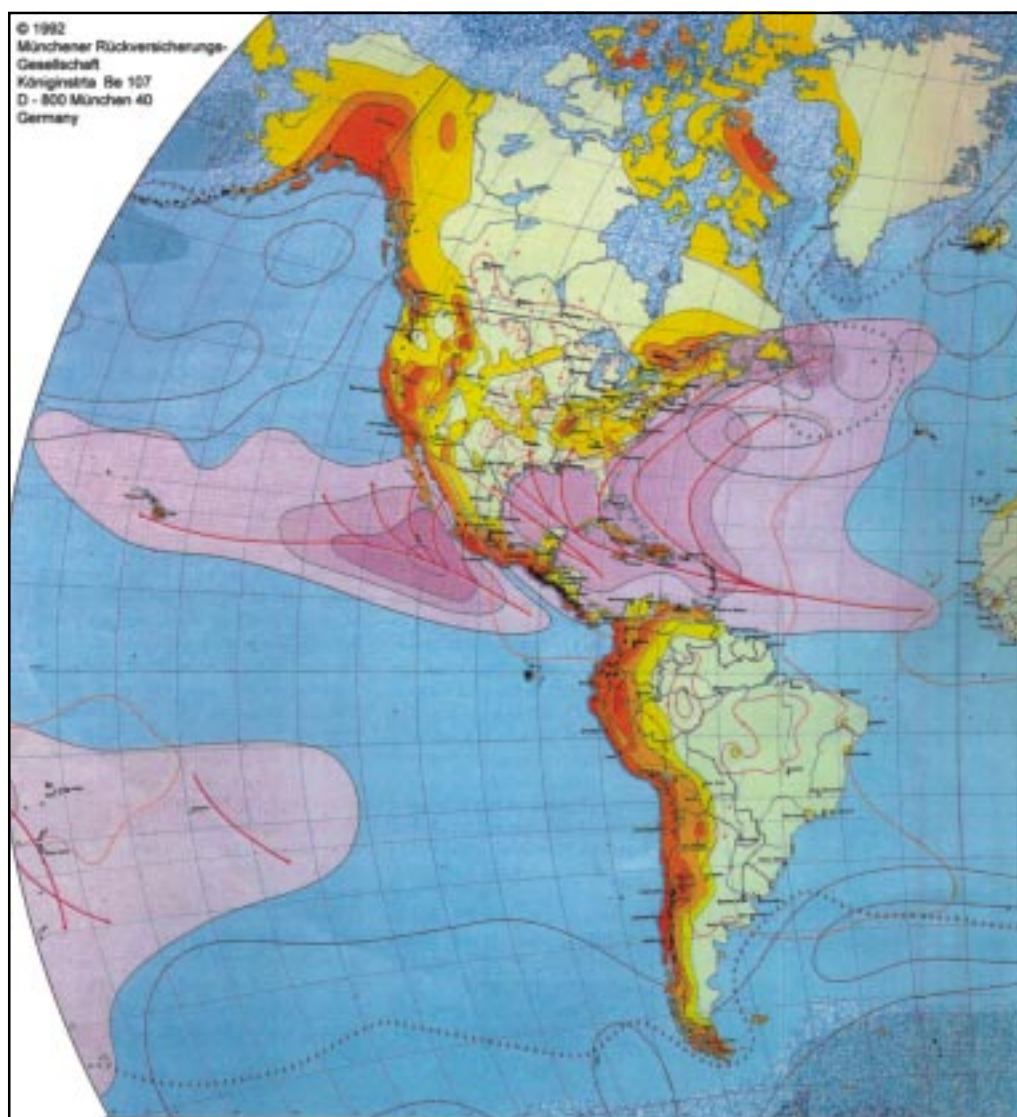
representación del peligro o del riesgo de desastres, se incluyen

algunos ejemplos sobresalientes.

En lo referente a la escala, se tienen mapas mundiales o continentales que son útiles para entender las características globales de los fenómenos. Con frecuencia estos mapas son **multipeligro** en cuanto reúnen en un mismo mapa los principales fenómenos que pueden

ocasionar desastres. El más conocido de estos mapas es el que ha producido la reaseguradora Munich Re y se muestra en la figura 10. Aunque su escala impide distinguir la situación de áreas específicas, el mapa tiene una calidad gráfica excelente y proporciona una idea de conjunto que es de gran utilidad.

Figura 10. Mapa mundial de peligros de la naturaleza



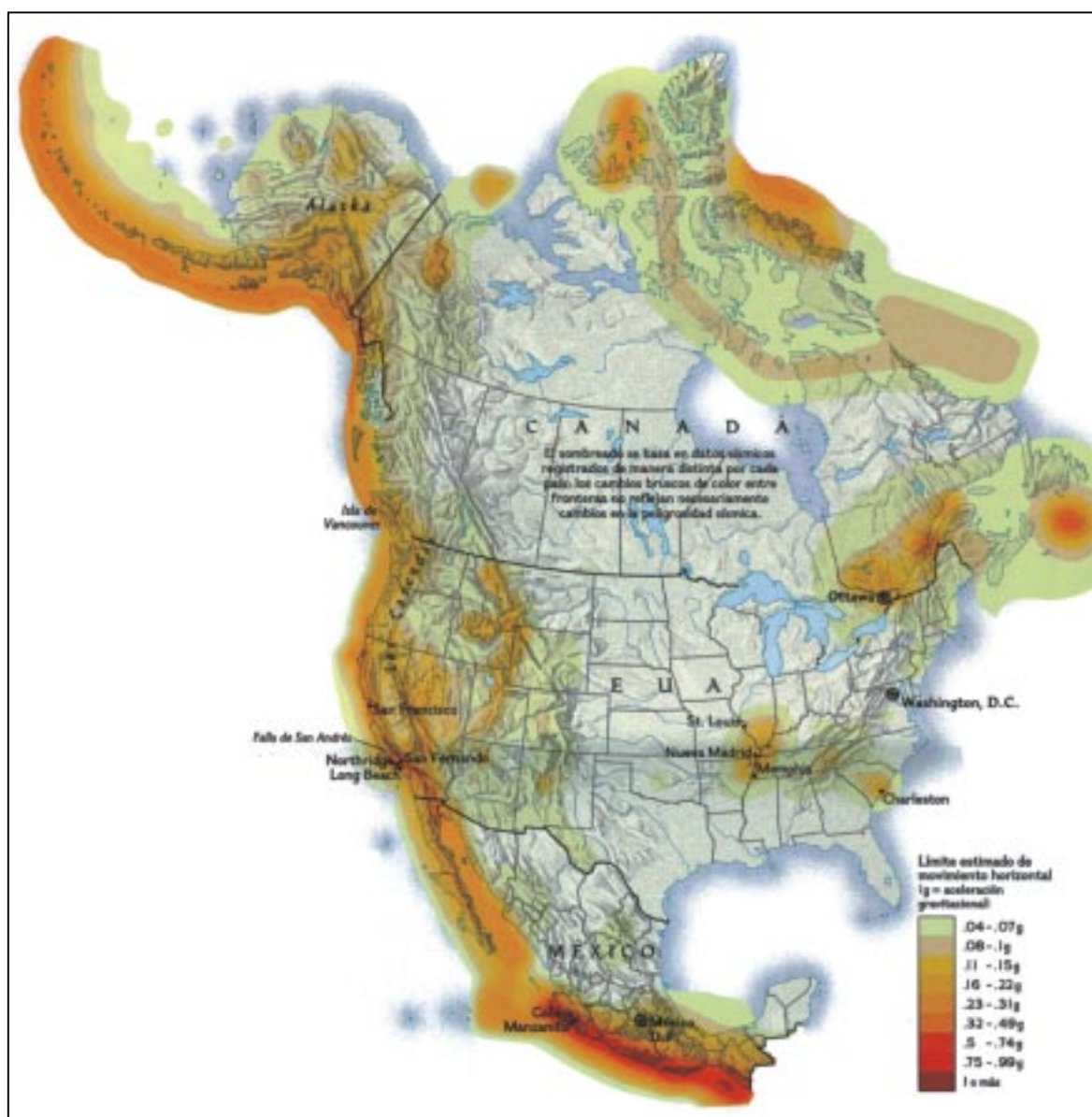
En este el mejor intento de representación de la situación global del problema mediante un mapa multipeligro a nivel mundial. Aunque es laborioso de interpretar, proporciona una idea de conjunto de mucha utilidad. El mapa es elaborado por Munich Reinsurance y se actualiza con frecuencia. La figura solo muestra la porción occidental del mapa.

Un mapa de peligro a escala continental y referido a un solo fenómeno es el que está incluido en la publicación de la National Geographic Society, titulada **Peligros Naturales de América del Norte**. El mapa de la figura 11 representa la máxima aceleración del terreno que puede esperarse por los sismos que ocurren en distintas zonas del continente. El significado de la aceleración máxima del terreno, en términos del peligro sísmico, se expli-

ca en el capítulo correspondiente. Nuevamente la gráfica permite ubicar las zonas de mayor actividad sísmica, pero no da suficiente detalle para fines de protección civil.

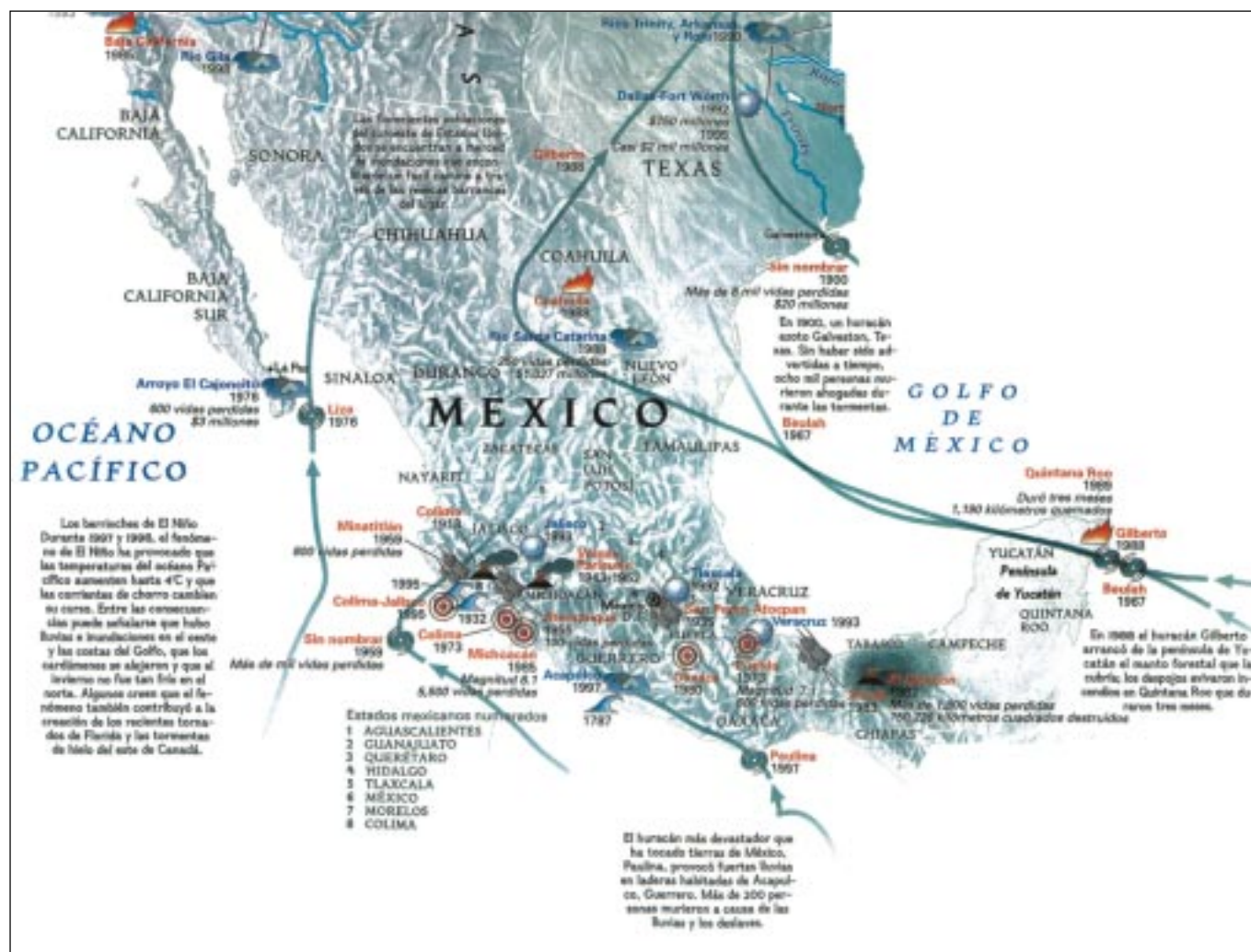
Una representación poco científica, pero de utilidad didáctica es la que, en lugar de los riesgos o los peligros, incluye los desastres ocurridos, ubicándolos en los sitios, y con una simbología que identifica su tipo y carácter. De

Figura 11. Mapa de peligro sísmico de América del Norte



Se presenta la ubicación de las zonas de mayor peligro sísmico, en términos de aceleraciones máximas esperadas del terreno; este parámetro es el más indicativo para fines de ingeniería. Se aprecia que la costa del Pacífico mexicano constituye la zona de máxima intensidad esperada.

Figura 12. Extracto del mapa de peligros de América del Norte



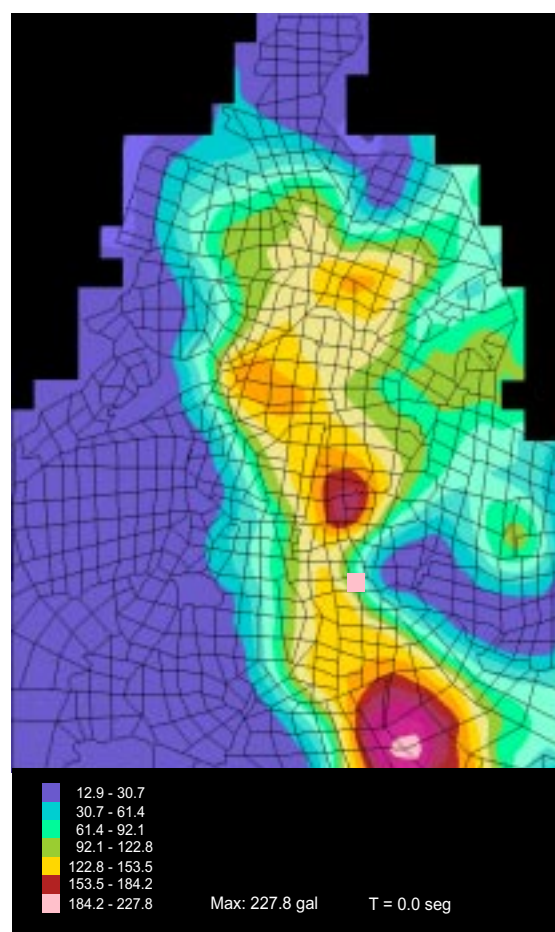
Se muestra la parte correspondiente a nuestro país de un mapa multipeligro preparado por la National Geographic Society con la contribución de instituciones científicas de Canadá, Estados Unidos y México. Se trata de un documento de difusión, más que un mapa cuantitativo de peligro.

la misma publicación del National Geographic, se reproduce en la figura 12 un mapa donde se representan los grandes desastres naturales ocurridos en México.

Como un ejemplo de un mapa de riesgo a nivel local, se muestra la figura 13 correspondiente a un sistema informático sobre la microzonificación sísmica de la ciudad de México. La existencia de una amplia red de instrumentos de registro sísmico en la ciudad ha permitido conocer con precisión las diferencias en las intensidades de los movimientos que se presentan en distintos sitios, y elaborar escenarios para distintos eventos, como en este caso para un sismo igual al que ocurrió el 19 de septiembre de 1985. Finalmente, la figura 14 reproduce un mapa de peligro para un periodo de retorno determinado, como los que se emplean para diseño de obras de ingeniería.

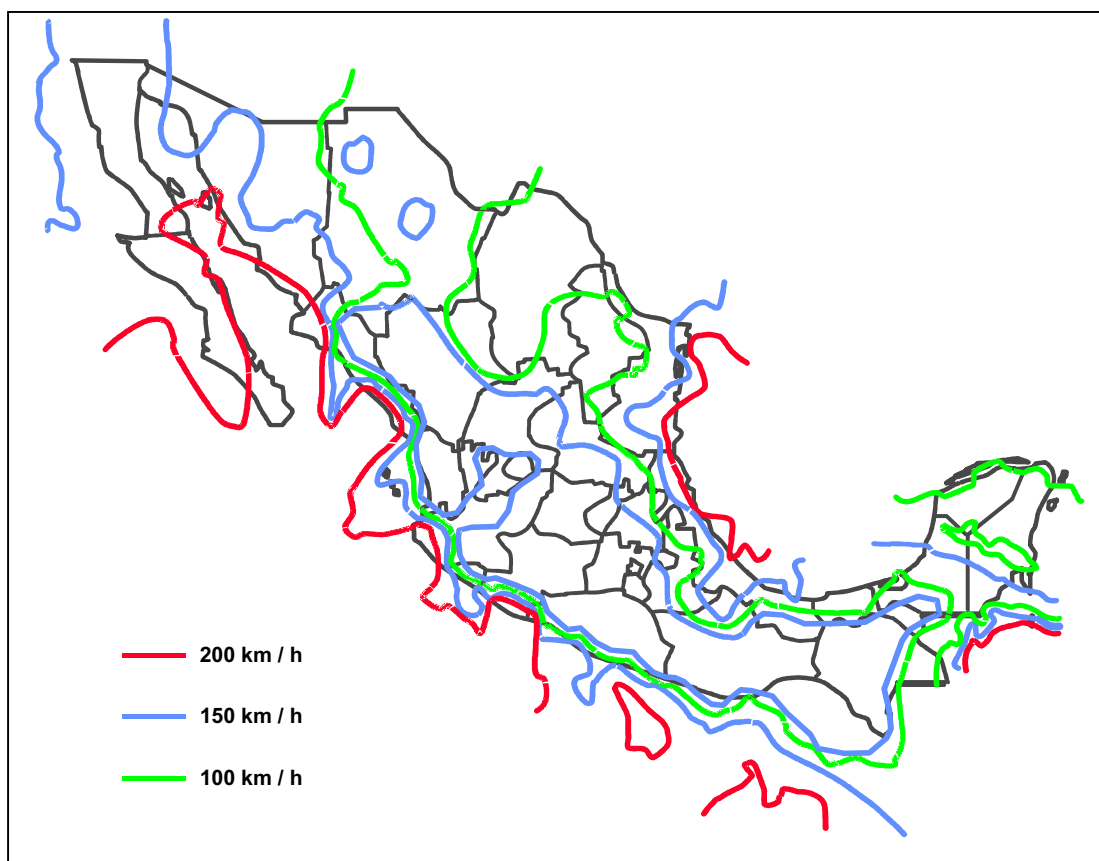
En los distintos capítulos de este libro se hace énfasis en la descripción de los fenómenos y en análisis de los peligros y riesgos, más que en la representación formal de estos últimos como correspondería a un Atlas propiamente dicho. Para tal efecto se recomienda recurrir al Atlas Nacional producido por el Instituto de Geografía de la UNAM, que contiene, además de muchas otras, una sección dedicada a los desastres con mapas relativos a distintos tipos de peligro. Adicionalmente, información abundante relacionada con esta temática ha sido producida por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), tanto en forma de mapas y otros productos cartográficos, como bases de datos y productos electrónicos.

Figura 13. Mapa de aceleraciones máximas del terreno en el D.F.



El mapa es un ejemplo de microzonificación del peligro sísmico, en que se toman en cuenta las diferencias en las características del subsuelo que llevan a que las intensidades del movimiento del terreno sean notablemente distintas en el territorio de la ciudad, aun en sitios relativamente cercanos entre sí. Los colores corresponden a aceleraciones máximas del terreno que pueden esperarse si se repite un sismo con características semejantes al del 19 de septiembre de 1985. Las aceleraciones se expresan en cm/s^2 .

Figura 14. Velocidad de viento con período de retorno de 200 años

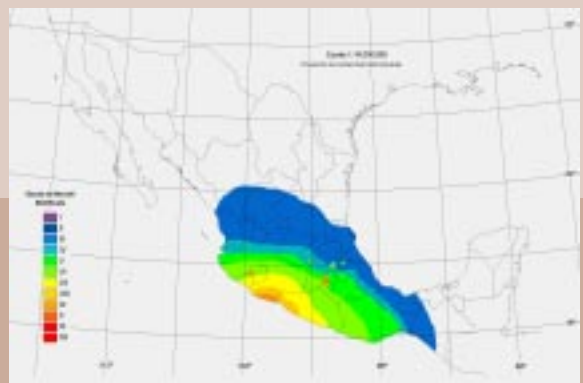


Este es un ejemplo de un mapa de peligros expresado en forma cuantitativa y en términos probabilistas, lo que le da utilidad para fines de toma de decisiones y de planificación. Este mapa es parte del Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad, y se emplea para el diseño de estructuras industriales en todo el país. Por su escala, no puede representar los efectos locales debidos a características topográficas y clima; éstos se toman en cuenta por separado con factores correctivos.



RIESGOS GEOLÓGICOS

2



INTRODUCCIÓN

Aquellos fenómenos en los que intervienen la dinámica y los materiales del interior de la Tierra o de la superficie de ésta son denominados fenómenos geológicos, los cuales, para nuestros fines, pueden clasificarse de la siguiente manera: **sismicidad, vulcanismo, tsunamis y 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; 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 amenazas grandes 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 son propios de la superficie terrestre y son debidos esencialmente a la acción del intemperismo y la fuerza de gravedad, teniendo a ésta como factor determinante para la movilización 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.

En las siguientes páginas se presenta una compilación de la información más relevante acerca de cada uno de los fenómenos mencionados, considerando lo sucedido en el pasado para estimar posibles escenarios futuros y orientar las acciones de prevención necesarias, en vista de la persistencia y tamaño de los fenómenos que individualmente o en conjunto influyen en la vida del hombre.

Figura 15 (página siguiente). Movimientos de placas tectónicas

Con excepción de la península de Baja California, el territorio nacional se encuentra contenido en la Placa Norteamericana. Con ésta interactúan las placas del Pacífico, Rivera, Cocos y del Caribe. Se muestra para cada una de ellas, la dirección de desplazamiento así como sus velocidades relativas en cm/año. Estas velocidades no son constantes; sus valores han sido determinados tomando en cuenta la movilidad promedio de las placas durante periodos largos. La gran mayoría de los sismos se produce 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 de Norteamérica y el Pacífico. Durante los sismos grandes ocurren los mayores desplazamientos entre placas, pudiendo ser éstos hasta de algunos metros.

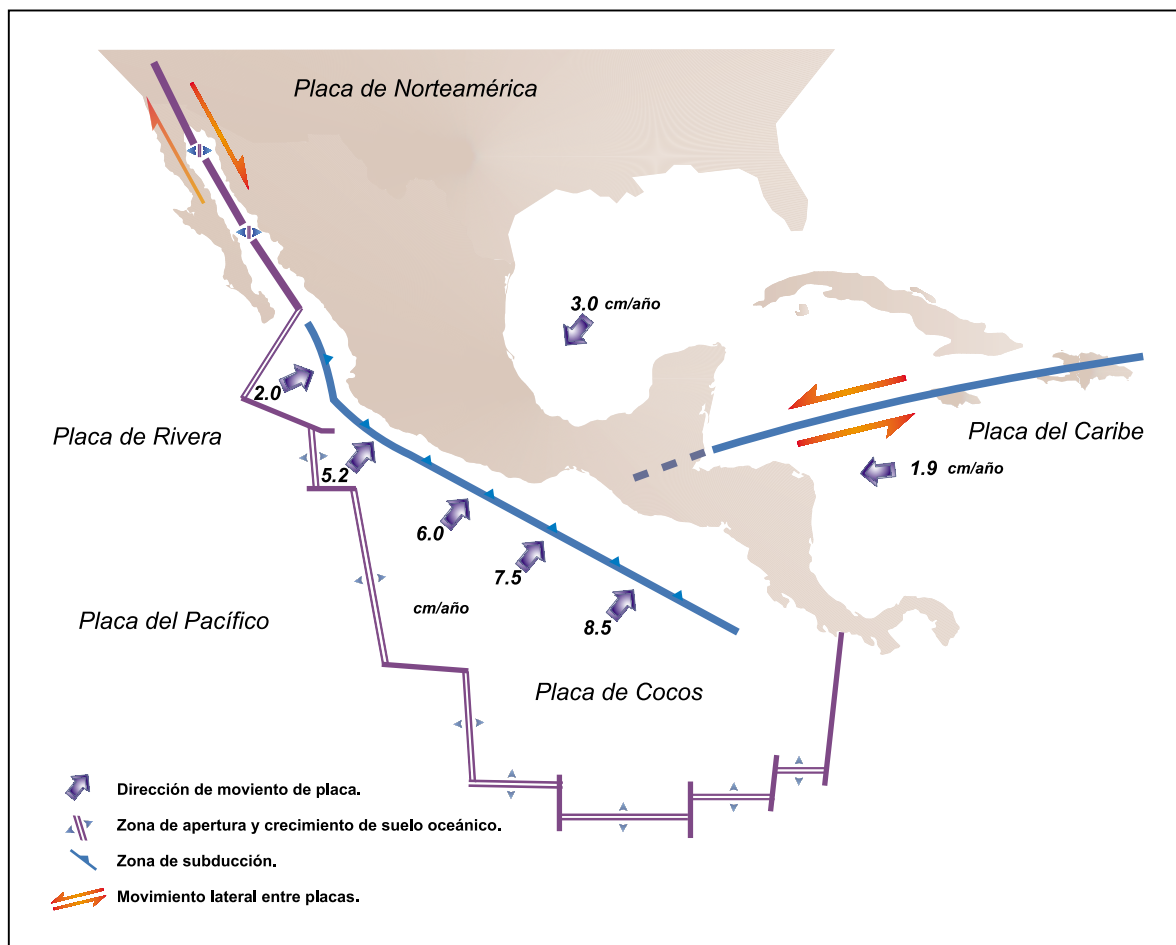
SISMOS

Marco tectónico de la República Mexicana

Más del 80 % de la sismicidad mundial tiene lugar en el Cinturón Circumpacífico, franja que incluye las costas de Asia y América, principalmente (ver fascículo Sismos-Cenapred).

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 15 se muestra la configuración de estas placas; las flechas indican las direcciones y velocidades promedio de desplazamiento relativo entre ellas.

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.



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, aun 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 originan, 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.

Relación entre la magnitud de los sismos y la energía liberada

Para comparar el tamaño de los terremotos, Richter definió una escala de **magnitud**. La manera de medir el tamaño real de un sismo tiene que ver con la cantidad de energía liberada y es independiente de la localización de los instrumentos que lo registren.

La diferencia de un grado de magnitud entre dos sismos cualesquiera implica, en tér-

minos de energía liberada, una diferencia de **32 veces**.

Un sismo de magnitud 8 equivale en términos de energía liberada a:

32	sismos de magnitud	7
1000	sismos de magnitud	6
32,000	sismos de magnitud	5
ó 1'000,000	de magnitud	4

Por tanto, es fácil notar que un sismo de magnitud 4, como los que llegan a ocurrir varias veces por semana a lo largo de la costa occidental de México, no es la mitad de uno de magnitud 8, el que se presenta una vez cada varias décadas en dicha región.

Intensidades sísmicas

La **intensidad** de un sismo en un lugar determinado, se evalúa mediante la Escala Modificada de Mercalli (tabla 5) y se asigna en función de los efectos causados en el hombre, en sus construcciones y en el terreno.

Figura 16. Daños ocasionados por el sismo de Bavispe, Sonora en 1887



Parte exterior de una iglesia en Bavispe, Sonora dañada por el terremoto del 3 de mayo de 1887 (Mw 7.2), con epicentro cercano a ese poblado.

Tabla 5. Escala de intensidad Mercalli-Modificada abreviada.

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. Objetos delicadamente suspendidos pueden oscilar.
III.	Sentido muy claramente en interiores, especialmente en pisos altos de los edificios, aunque mucha gente no lo reconoce como un terremoto. Automóviles parados pueden balancearse ligeramente. Vibraciones como al paso de un camión. Duración apreciable.
IV.	Durante el día sentido en interiores por muchos, al aire libre por algunos. Por la noche algunos despiertan. Platos, ventanas y puertas agitadas; las paredes crujen. Sensación como si un camión pesado chocara contra el edificio. 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. Daño insignificante en edificios de buen diseño y construcción; leve a moderado en estructuras comunes bien construidas; considerable 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. Expulsión 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 sólidos, colapso parcial. Edificios desplazados de los cimientos. Grietas visibles en el suelo. Tuberías subterráneas rotas.
X.	Algunas estructuras bien construidas en madera, destruidas; la mayoría de estructuras de mampostería y marcos destruidas incluyendo sus cimientos; suelo muy agrietado. Rieles torcidos. Corrimientos 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 albañilería 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.

(Bolt, 1978)

Figura 17. Daños en la Universidad Iberoamericana durante un sismo en 1979

Edificio de la Universidad Iberoamericana en la Cd. de México colapsado a consecuencia del sismo del 14 de marzo de 1979, con epicentro en la costa de Guerrero.

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 se muestran en la figura 18. 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.

Como resultado de la superposición de todos los mapas de intensidades de sismos mexicanos disponibles hasta ahora se tiene la figura 19. Ésta despliega las intensidades máximas de 49 sismos de gran magnitud, que ocurrieron entre 1845 y 1985 (Figueroa, 1986; Gutiérrez *et al.*, 1991).

Aunque en este mapa global de intensidades máximas no están incluidos los efectos

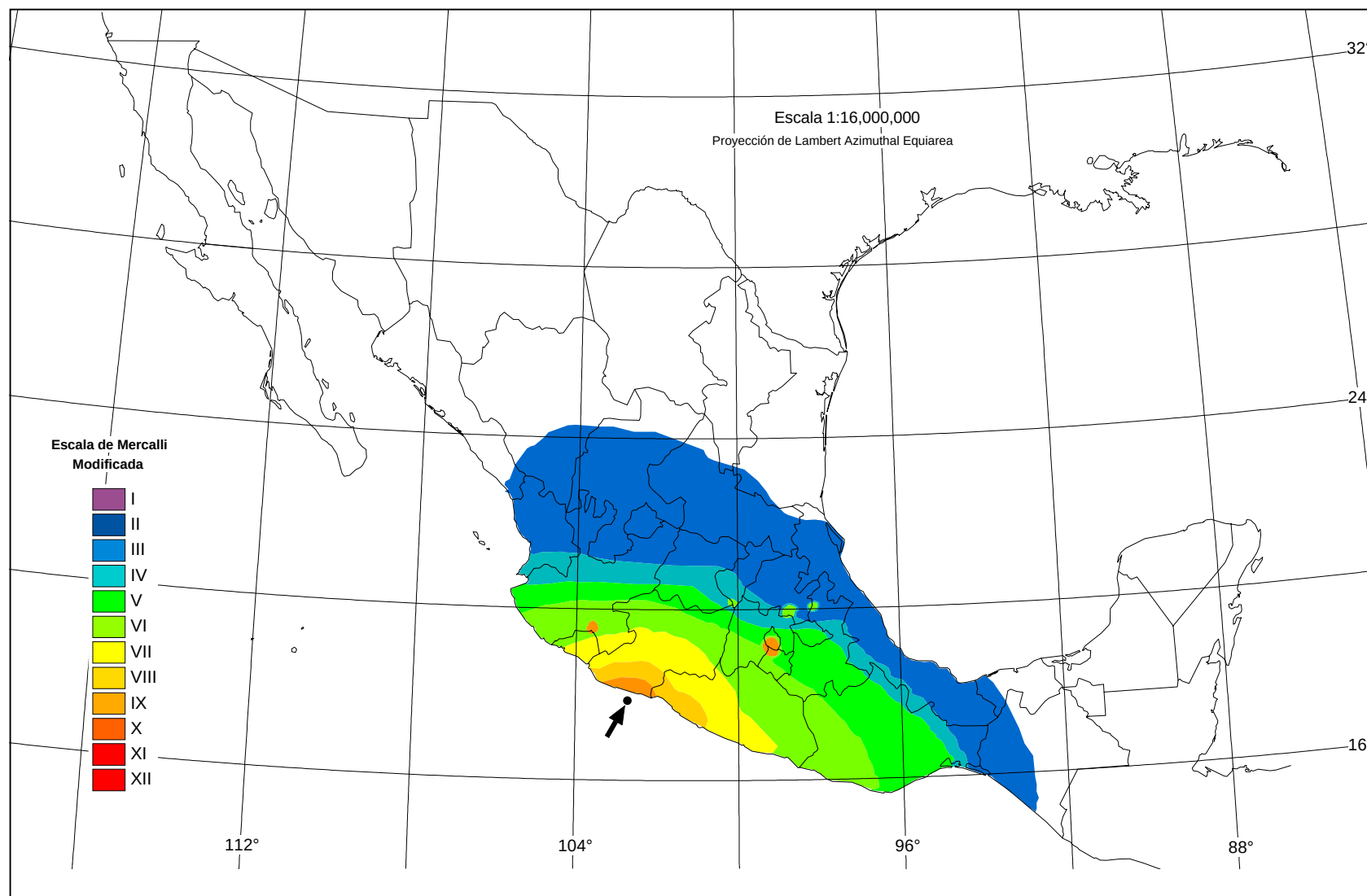
de todos los grandes sismos en ese periodo, la distribución de los temblores correspondientes se considera representativa de la sismicidad en México. Así, es posible tener una apreciación útil de los diferentes niveles de peligro por sismo en nuestro país.

En la zona norte de la península de Baja California sólo se representan valores puntuales de intensidad ya que, debido a la baja densidad de población, no ha sido fácil definir áreas con una intensidad determinada.

De este modo es posible apreciar con detalle cuáles han sido las áreas más expuestas a daños en diferentes niveles, así como el tamaño de éstas durante un periodo relativamente grande.

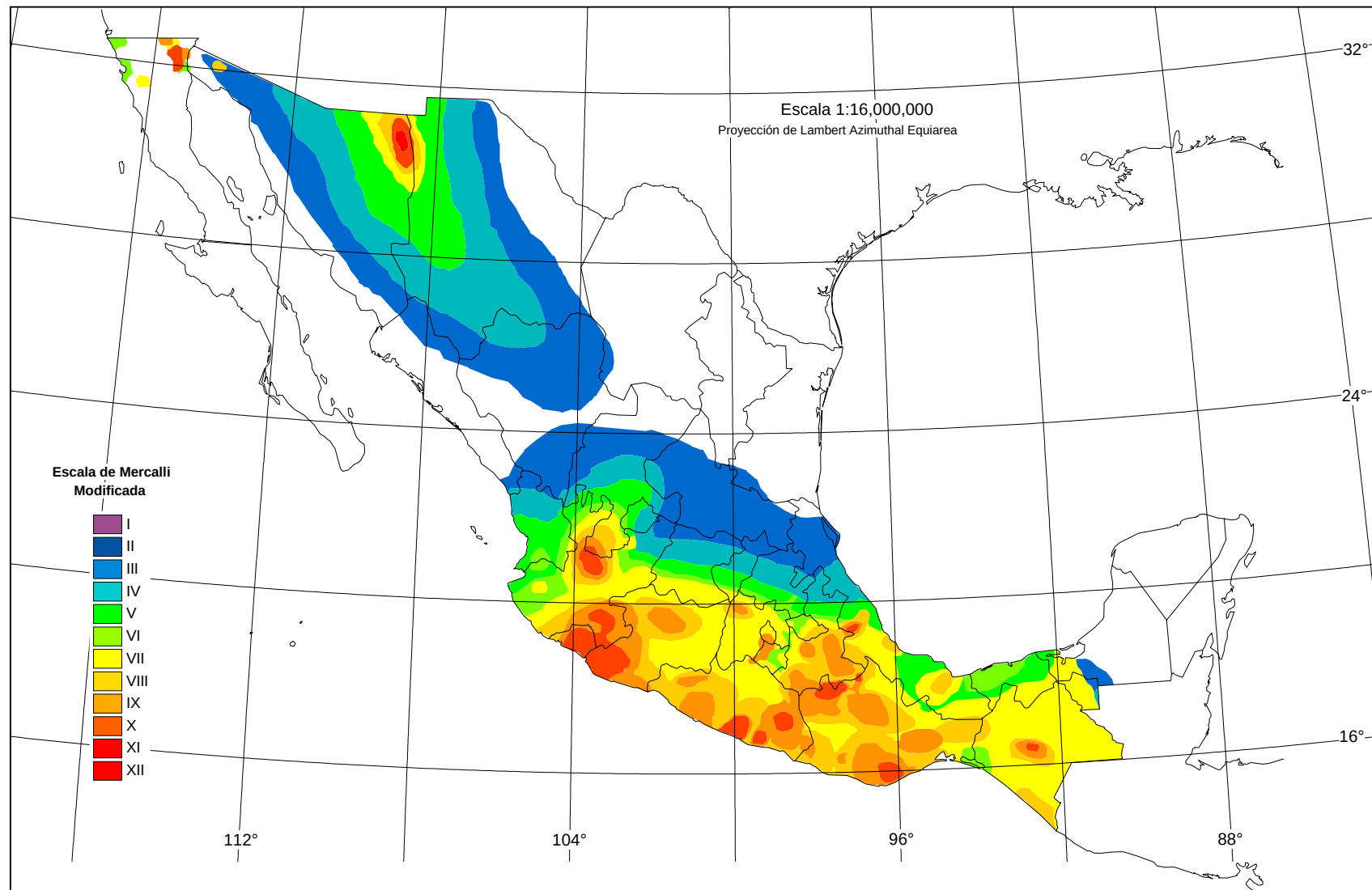
Tomando en cuenta el carácter recurrente de los sismos, al igual que el resto de los fenómenos geológicos, es posible estimar escenarios futuros y adecuar los criterios para la mitigación del riesgo.

Figura 18. Isosistas del 19 de septiembre de 1985



Los distintos grados de la Escala Modificada de Mercalli se representan con colores. Los efectos asociados a cada uno de ellos se describen en la tabla 5. 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.

Figura 19. Mapa global de intensidades



Se muestran las intensidades sísmicas máximas obtenidas de 49 mapas de isosistas de temblores importantes ocurridos entre 1845 y 1985, la mayoría con magnitud superior a 7. Aunque no se cubren todos los temblores grandes ocurridos en ese lapso, la distribución de los eventos considerados en este mapa es representativa de la sismicidad en México.

Para el mismo periodo, se muestran intensidades sísmicas para la península de Baja California, sólo en los sitios donde se contaba con reportes. La forma y el tamaño de las áreas indicadas para esta zona no representan el alcance total de los efectos del temblor.

Sismicidad en el mundo

Tomando en cuenta la sismicidad a escala mundial, se han calculado los promedios anuales de los eventos sísmicos más importantes por sus magnitudes:

Eventos por año en el mundo	Magnitud
2	8-8.9
15 a 20	7-7.9
100 a 150	6-6.9

(Kulhanek, 1990)

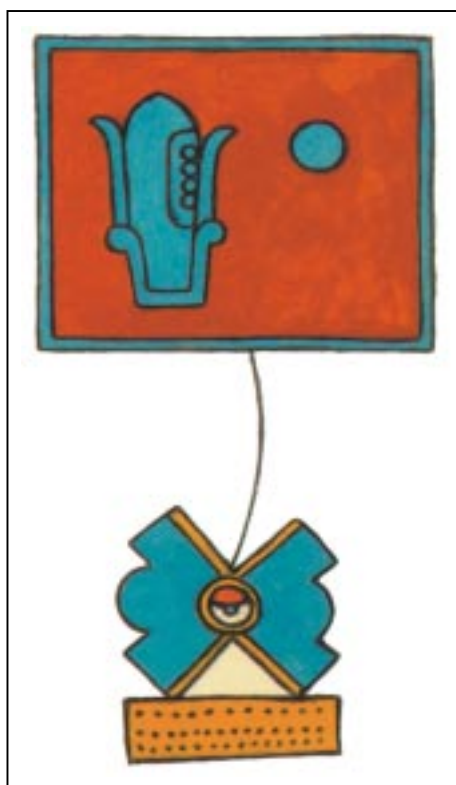
Algunos autores afirman que cada año ocurren en la Tierra cerca de un millón de sismos, desde aquellos que escapan a la detección con instrumentos altamente sensibles has-

ta los de consecuencias catastróficas. Esto significa que se tienen en promedio dos sismos cada minuto (Kulhanek, 1990).

Sismicidad en México

En la figura 21, se muestran los epicentros de los sismos de gran magnitud ($M \geq 7$), ocurridos durante el siglo XX en la República Mexicana (tabla 6). Aproximadamente el 77% de esos eventos tuvo su origen a profundidades menores que 40 km lo que, aunado a sus magnitudes y frecuencia de ocurrencia, implica un nivel de peligro considerable. Estos grandes sismos se concentran principalmente en la costa occidental, entre Jalisco y Chiapas, así como a lo largo del Golfo de California y parte norte de la península.

Figura 20. 1480 "...hubo un temblor de tierra..." (Códice Telleriano-Remensis, lámina XVII)

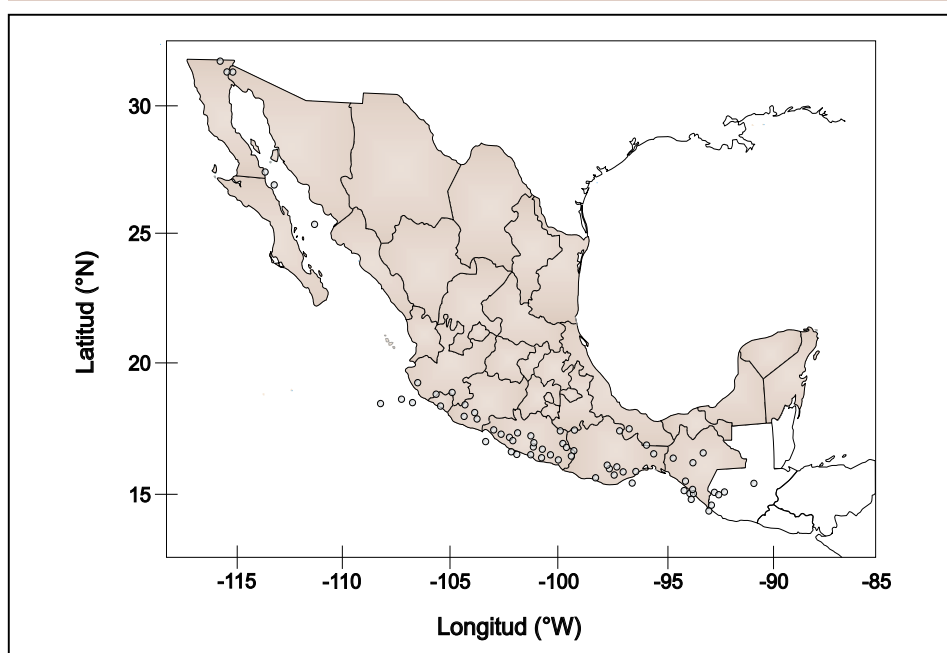


El dibujo muestra el glifo *tlalollin* o temblor de tierra, que resulta de la asociación del glifo *tlalli* o tierra (rectángulo punteado y el glifo *ollin* o movimiento (aspas). Al centro del *ollin* aparece el "ojo de la noche". *Tlalollin* está unido con un lazo gráfico al cuadrete cronológico que indica la fecha indígena uno pedernal, el cual corresponde, según la glosa en español, a 1480. De acuerdo con Fuentes (1987:181), la "lectura pictográfica sería: "en el año uno pedernal hubo un temblor de tierra durante la noche".

Magnitud	Número de sismos	Profundidad	
		<40 m	>40 m
$M \geq 8$	3	3	0
$7 < M < 8$	68	52	16

Nuestro país cuenta con datos históricos acerca de sismos a partir del siglo XIV, periodo 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.

Figura 21. Sismos del siglo XX



Epicentros de sismos de gran magnitud ($M \geq 7$) ocurridos durante el siglo XX en México (ver tabla 6). La distribución de los epicentros muestra relación con las fronteras entre placas ilustradas en la figura 15. La gran mayoría de los sismos se origina por fricción entre placas; otros se deben a fracturamientos en el interior de una sola placa o a la presencia de fallas activas; por ejemplo, el sismo de Acambay, Estado de México (M 6.9), en 1912.

Tabla 6. Sismos ocurridos en México durante el siglo XX con magnitud 7.0 o mayor.

Año	Mes	Día	Lat °N	Long °W	Prof (km)	$M_{\text{máx}}$	M_s	Región
1900	01	20	20.000	105.000	33	7.4	7.3	Jalisco
1901	12	9	26.000	110.000	S	7.0	7.0	Golfo de California
1902	01	16	17.620	99.720	S	7.0	7.0	Guerrero
1902	04	19	14.900	91.500	25	7.5	7.4	Guatemala. (A 70 km de la frontera con México)
1902	09	23	16.500	92.500	25	7.7	7.7	Chiapas
1902	12	12	29.000	114.000	S	7.1	7.0	Baja California Norte
1903	01	14	15.000	93.000	S	7.6	7.6	Costa de Chiapas
1907	04	15	16.700	99.200	33	7.6	7.6	Costa de Guerrero
1907	10	16	28.000	112.500	10	7.1	7.1	Golfo de California
1908	03	26	16.700	99.200	33	7.5	7.5	Costa de Guerrero
1908	03	27	17.000	101.000	33	7.0	7.0	Costa de Guerrero
1909	07	30	16.800	99.900	33	7.2	7.2	Costa de Guerrero
1911	06	7	17.500	102.500	33	7.6	7.6	Jalisco
1911	12	16	16.900	100.700	50	7.5	7.5	Costa de Guerrero
1912	12	9	15.500	93.000	S	7.0	7.0	Costa de Chiapas
1914	03	30	17.000	92.000	150	7.2		Chiapas
1915	11	21	32.000	115.000	10	7.0	7.0	Baja California Norte
1916	06	2	17.500	95.000	150	7.0		Sur de Veracruz
1921	02	4	15.000	91.000	120	7.4		Guatemala. (A 120 km de la frontera con México)
1925	11	16	18.00	107.000	S	7.0		A 260 km de las costas de Jalisco

Año	Mes	Día	Lat °N	Long °W	Prof (km)	M _{máx}	M _s	Región
1925	12	10	15.500	92.500	S	7.0	7.0	Chiapas
1928	03	22	15.670	96.100	33	7.5	7.3	Oaxaca
1928	06	17	16.330	96.700	33	7.6	7.6	Oaxaca
1928	08	4	16.830	97.610	33	7.4	7.4	Oaxaca
1928	10	9	16.300	97.300	33	7.5	7.4	Oaxaca
1931	01	15	16.340	96.870	40	7.8	7.6	Oaxaca
1932	06	3	19.570	104.420	33	8.2	8.2	Jalisco
1932	06	18	19.500	103.500	33	7.8	7.8	Jalisco
1934	11	30	19.000	105.310	33	7.0	7.0	Costa de Jalisco
1934	12	31	32.000	114.750	S	7.1	7.1	Baja California Norte
1935	12	14	14.750	92.500	S	7.3	7.2	Costa de Chiapas
1937	07	26	18.450	96.080	85	7.3	7.2	Oaxaca-Veracruz
1937	12	23	17.100	98.070	33	7.4	7.3	Oaxaca-Guerrero
1940	05	19	32.700	115.500	S	7.1	7.1	Baja California Norte
1941	04	15	18.850	102.940	33	7.6	7.5	Michoacán
1942	08	6	14.800	91.300	50	7.9	7.7	Guatemala. (A 80 km de la frontera con México)
1943	02	22	17.600	101.100	33	7.4	7.3	Guerrero
1944	06	28	15.000	92.500	S	7.1	7.1	Chiapas
1948	01	6	17.000	98.000	80	7.0	7.0	Oaxaca
1950	09	29	19.000	107.000	60	7.0	6.6	A 200 km de las costas de Jalisco
1950	10	23	14.300	91.800	33	7.2	7.2	Guatemala. (A 50 km de la frontera con México)
1950	12	14	17.220	98.120	33	7.2	7.1	Oaxaca
1951	12	12	17.000	94.500	100	7.0		Oaxaca-Veracruz
1954	04	29	28.500	113.000	S	7.0	7.0	Golfo de California
1957	07	28	17.110	99.100	33	7.8	7.5	Guerrero
1962	05	11	17.250	99.580	33	7.2	7.0	Guerrero
1962	05	19	17.120	99.570	33	7.1	6.9	Guerrero
1964	07	6	18.030	100.770	55	7.2		Guerrero
1965	08	23	16.178	95.877	12	7.6	7.6	Oaxaca
1968	08	2	16.600	97.800	16	7.3	7.2	Oaxaca
1970	04	29	14.463	92.683	44	7.3	7.1	Costa de Chiapas
1973	01	30	18.412	103.019	24	7.6	7.3	Costa de Michoacán
1973	08	28	18.248	96.551	82	7.3	7.1	Oaxaca-Veracruz
1976	02	4	15.262	89.198	13	7.5	7.5	Guatemala. (A 150 km de la frontera con México)
1978	11	29	16.013	96.586	23	7.6	7.6	Oaxaca
1979	03	14	17.750	101.263	25	7.4	7.4	Guerrero
1980	10	24	18.174	98.222	65	7.1		Oaxaca-Puebla
1981	10	25	18.088	102.061	21	7.3	7.3	Costa de Guerrero
1982	06	7	16.516	98.339	19	7.0	7.0	Oaxaca-Guerrero
1983	12	2	14.032	91.956	35	7.0		Guatemala. (A 70 km de la frontera con México)
1985	09	19	18.419	102.468	15	8.1	8.1	Costa de Michoacán
1985	09	21	17.828	101.681	17	7.6	7.6	Costa de Michoacán
1986	04	30	18.361	103.045	22	7.0	7.0	Costa de Michoacán
1993	09	10	14.800	92.687	34	7.2	7.2	Costa de Chiapas

Tabla 6 (continuación). Sismos ocurridos en México durante el siglo XX con magnitud 7.0 o mayor

Año	Mes	Día	Lat °N	Long °W	Prof.(km)	M _{max}	M _s	Región
1995	09	14	16.752	98.667	21	7.3	7.2	Oaxaca-Guerrero
1995	10	9	18.993	104.245	25	8.0	7.3	Colima-Jalisco
1995	10	21	16.811	93.474	160	7.1		Chiapas
1996	02	25	15.880	97.980	15	7.1	6.9	Costa de Oaxaca
1997	01	11	18.340	102.580	40	7.1	6.9	Michoacán
1999	06	15	18.133	97.539	63	7.0	6.5	Puebla
1999	09	30	16.010	97.000	42	7.5	7.5	Oaxaca

Para cada evento se presenta el valor máximo de magnitud de una de las tres escalas más usadas en la investigación sismológica, m_b (magnitud de ondas de cuerpo), M_s (magnitud de ondas superficiales) o M_w (magnitud de momento sísmico), de acuerdo con el Servicio Sismológico Nacional. Además, se presentan de manera particular las magnitudes M_s para la mayoría de los eventos, en vista de que son las más utilizadas en estimaciones de riesgo sísmico y generalmente reportadas en los medios de difusión como valores de la escala de Richter.

Debe tomarse en cuenta que pueden encontrarse diferencias menores en localización geográfica, profundidad o valores de magnitud con respecto a otros catálogos, sin que deban interpretarse necesariamente como errores. Los parámetros sísmicos, especialmente aquellos de las primeras décadas, fueron determinados con un número escaso de instrumentos, que aún no contaban con todos los atributos tecnológicos actuales.

S significa *superficial*, es decir con profundidad menor de 40 km.

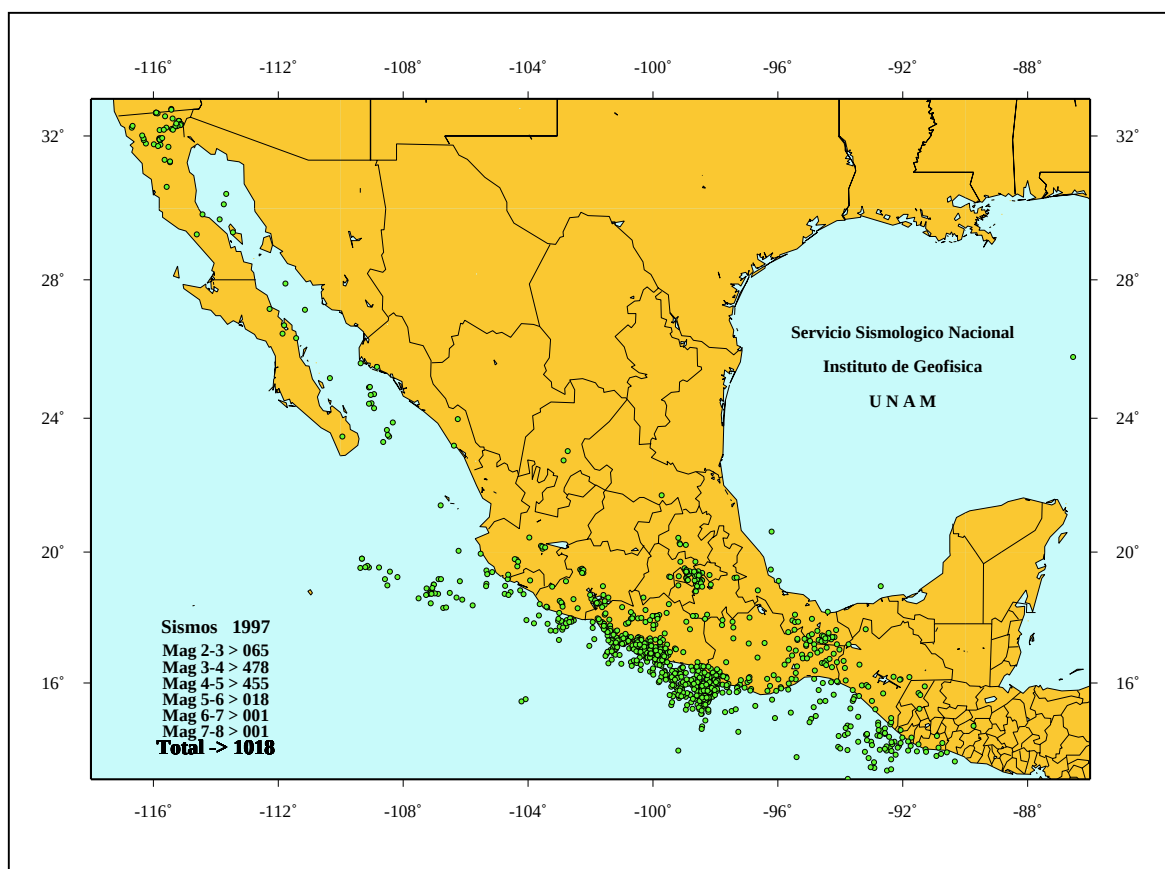
Las fechas corresponden a tiempo del meridiano de Greenwich (tiempo local + 6 horas; + 5 horas de horario verano).

Estaciones para el registro de sismos

Como complemento importante para la figura anterior, se muestra en la figura 22 la distribución de la sismicidad en el país durante 1997, elaborada por el Servicio Sismológico Nacional. Puede observarse que la distribución típica de la sismicidad de baja magnitud tiene, en general, una relación directa con la de los eventos de gran magnitud. También conviene volver a señalar que en regiones distintas a las fronteras entre placas, también se presentan eventos sísmicos con magnitudes que sólo en algunos casos llegan a representar un peligro mayor. Por ejemplo, para el año señalado, se registraron sismos en los estados de Zacatecas, San Luis Potosí, Hidalgo o incluso el Golfo de México, al igual que en Tamaulipas, Nuevo León, Chihuahua, Durango y Sonora, en otros años. Este tipo de actividad sísmica indica la presencia de fallas geológicas de menor escala y no necesariamente señala el advenimiento de un evento desastroso.

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 (figura 23) 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 22. Sismicidad en México durante 1997



Se presentan los epicentros de todos los eventos localizados por el Servicio Sismológico Nacional. El sismo de mayor magnitud en ese año (M 7.1, enero 11), cercano a la costa de Michoacán, causó daños importantes en esa zona. Además de ese temblor, sólo algunos con magnitudes alrededor de 6 fueron sentidos en localidades cercanas al epicentro. La enorme mayoría de los eventos sísmicos solamente se identifican a través de instrumentos de registro, con muy alta sensibilidad.

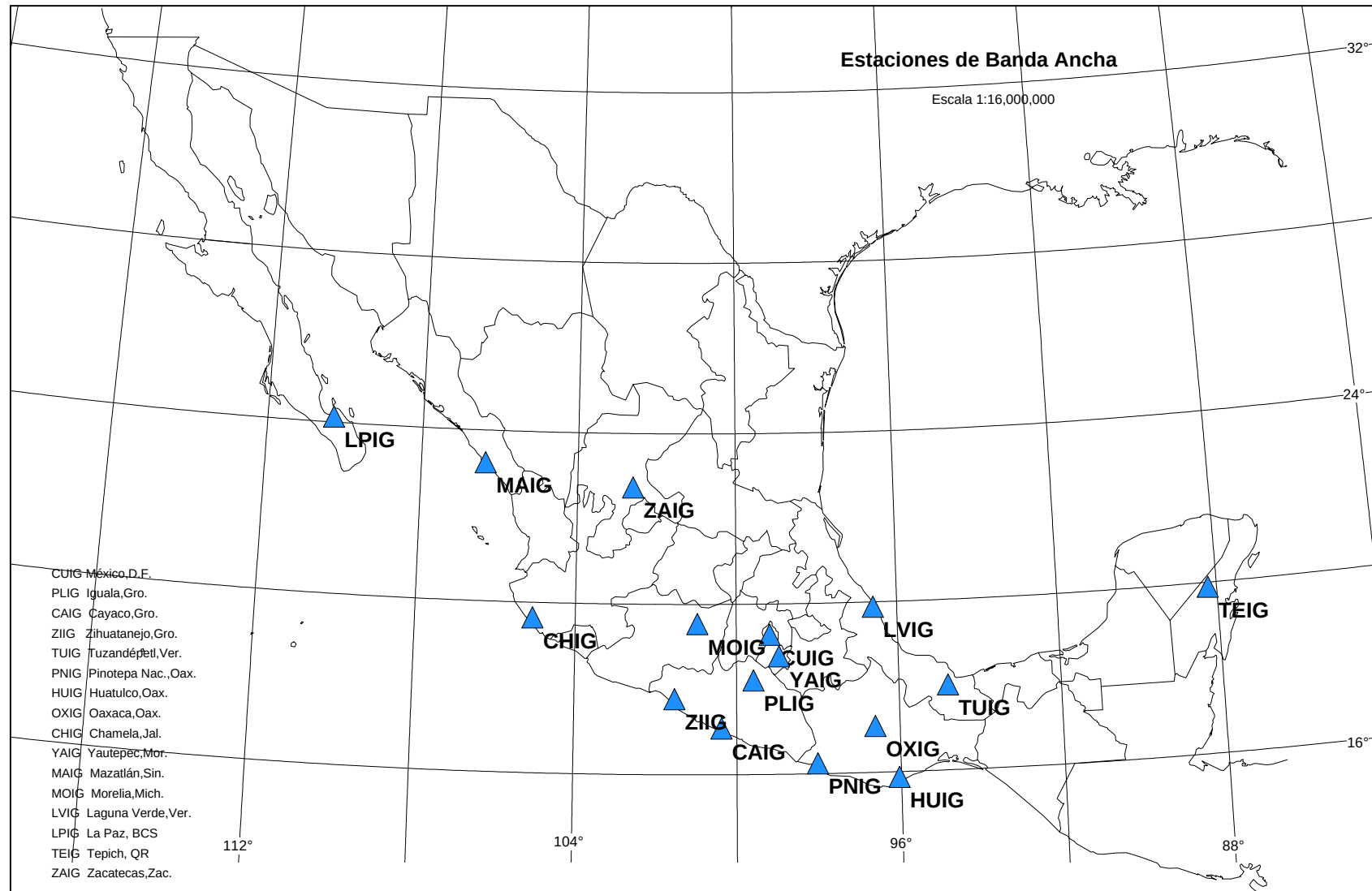
El grupo de epicentros al oriente de la Ciudad de México corresponde a sismos debidos a la actividad del volcán Popocatepetl. También puede observarse sismicidad, aunque muy escasa, en sitios alejados de las fronteras de placas, por ejemplo, en Zacatecas, San Luis Potosí, Hidalgo, Estado de México o la parte central de Veracruz.

La brecha sísmica de Guerrero

Con base en estudios recientes, se ha llegado a la conclusión de que la zona con mayor potencial sísmico en el país, se encuentra a lo largo de la costa de Guerrero. En esa zona ocurrieron grandes temblores en 1899, 1907, 1908, 1909 y 1911. Después de ese periodo de gran actividad, se han presentado pocos temblores de magnitud intermedia (1957, 1962 y 1989) y ninguno de gran magnitud. Se estima que podrían ocurrir uno o dos terremotos de magnitud 8 o bien entre 2 y 4 de magnitud 7.8.

Aunque se conoce el tamaño posible de los sismos, no es posible precisar la fecha de ocurrencia.

Figura 23. Red de sismógrafos del Servicio Sismológico Nacional



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.

Periodos de retorno de aceleraciones del terreno

Una manera cuantitativa de representar el peligro por grandes sismos, es el cálculo de aceleraciones máximas posibles del terreno. Para el caso de México, se ha observado que aquellas aceleraciones que rebasan el 15% del valor de la aceleración de la gravedad (g), producen daños y efectos de consideración, sobre todo para los tipos constructivos que predominan en México. En la figura 24 se muestran los periodos promedio con que pueden repetirse, para distintas regiones, valores de aceleración de 0.15 g , o mayores.

Regionalización sísmica

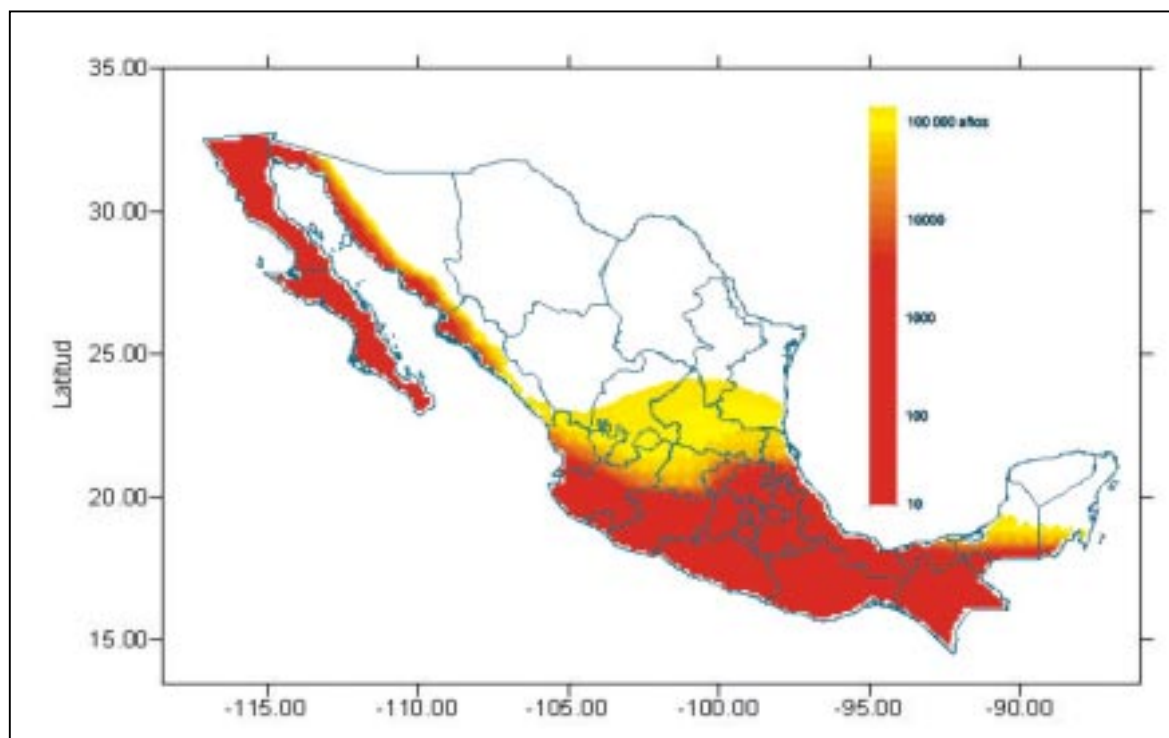
Para conocer el grado de peligro sísmico que tiene una región determinada, se recurre

a la regionalización sísmica que, en el caso de México, se encuentra definida por cuatro niveles (figura 25). Esta clasificación del territorio se emplea en los reglamentos de construcción para fijar los requisitos que deben seguir los constructores para diseñar las edificaciones y otras obras civiles de tal manera que éstas resulten suficientemente seguras ante los efectos producidos por un sismo

Efectos de sitio

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.

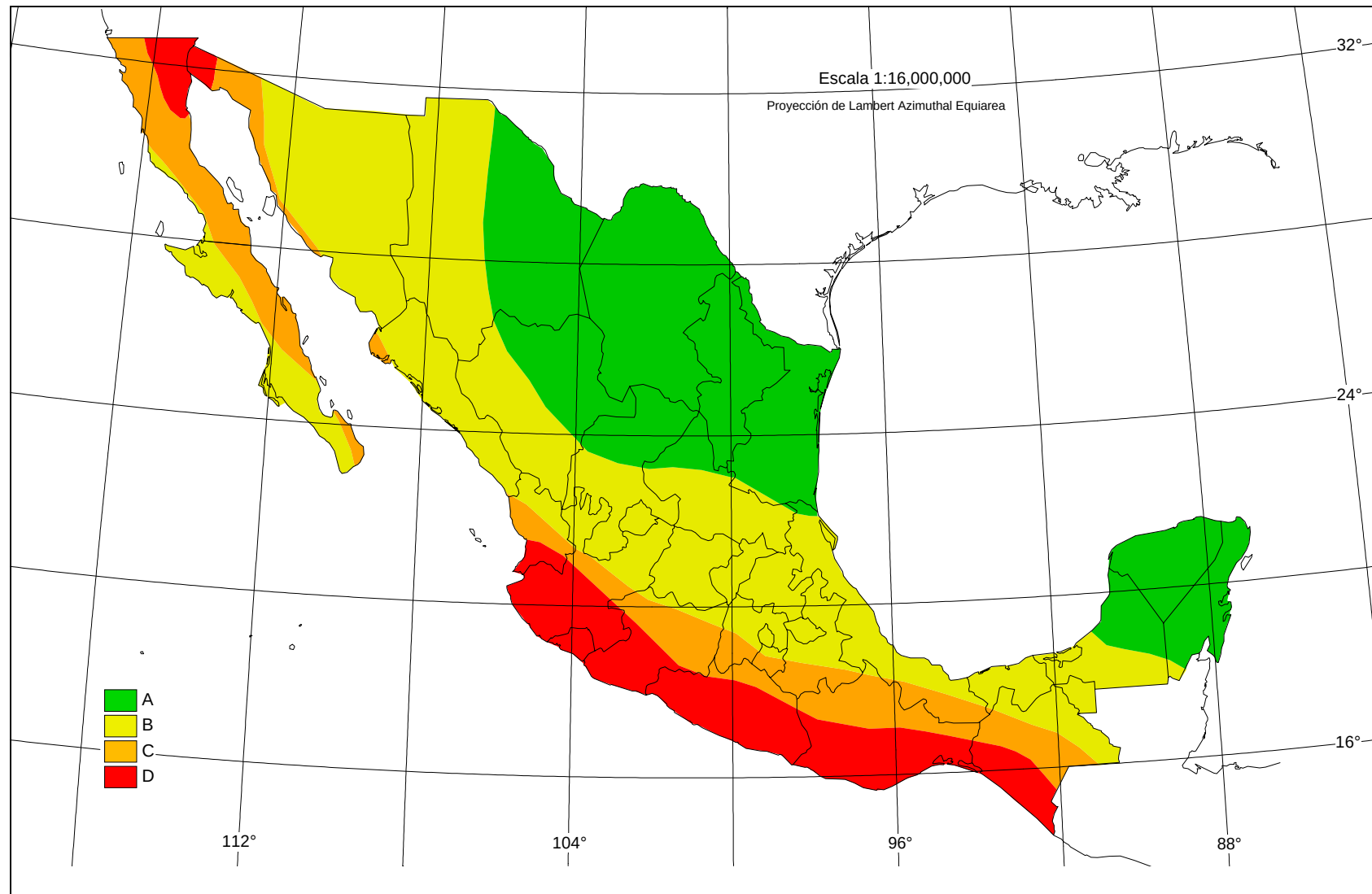
Figura 24. Períodos de retorno para aceleraciones de 0.15 g o mayores



Se presenta, para distintas regiones, el número de años promedio que puede tardar en repetirse una aceleración del terreno de al menos 15% del valor de la aceleración de la gravedad.

Dicho valor representa un nivel de intensidad de movimiento del terreno a partir del cual pueden esperarse efectos y daños de importancia en el terreno natural y/o en las construcciones.

Figura 25. Regionalización sísmica de México



Empleando los registros históricos de grandes sismos en México, los catálogos de sismicidad y datos de aceleración del terreno como consecuencia de sismos de gran magnitud, se ha definido la Regionalización Sísmica de México.

Ésta cuenta con cuatro zonas. 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 grandes 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.

Figura 26. Desplazamiento de árboles debido a un sismo

Fila de árboles desplazada más de 3 m como consecuencia del movimiento lateral durante el temblor del 4 de febrero de 1976 (M 7.5) en Guatemala. La distancia se midió entre la estaca a la izquierda y los árboles del lado derecho.

Como ejemplos más notables de este fenómeno, pueden citarse los daños ocurridos en la Ciudad de México en 1985, Leninakan, Rusia, en 1988 y Loma Prieta, California en 1989, entre otros.

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 y Ciudad Guzmán.

Otros fenómenos locales que pueden producir consecuencias severas son la licuación, los movimientos de laderas y los desplazamientos permanentes del terreno por la presencia de fallas activas.

La licuación es la pérdida de la capacidad de carga de suelos arenosos saturados de agua debido a la vibración producida por un sismo; los edificios sobre estos suelos pueden

Predicción de sismos

Aunque a nivel mundial se han realizado esfuerzos por encontrar un procedimiento capaz de predecir la ocurrencia de terremotos, hasta ahora no ha habido institución o persona que haya tenido éxito en ello, con el suficiente sustento científico.

De acuerdo con las experiencias recientes, se ha reconocido que la herramienta más útil para abatir el riesgo por sismo en las grandes concentraciones urbanas es la buena calidad de la construcción. En la medida en que se tengan reglamentos de construcción adecuados para el tipo de suelo y edificación aplicados cuidadosamente durante la ejecución de una obra, la probabilidad de que se tengan daños y víctimas, disminuirá.

presentar grandes hundimientos y, en casos extremos, colapso por volteo.

Las laderas de cerros o terraplenes de suelos poco compactos y fuertes pendientes pueden sufrir deslizamientos y arrastrar las construcciones sobre ellas edificadas.

Finalmente, en ocasiones se presentan fallas geológicas superficiales que, además de llegar a producir excitación sísmica en mayor o menor grado, dejan como consecuencia desplazamientos permanentes del terreno, en sentido horizontal y/o vertical, que llegan a producir graves daños a las construcciones ubicadas sobre la traza de la falla.

Por lo anterior, es necesario que para todas aquellas ciudades importantes o donde ya

se hayan observado efectos de sitio, se realicen estudios que definan la distribución y características de los materiales superficiales, y en particular su respuesta dinámica, así como la presencia de laderas inestables o de fallas activas.

Con esta información es posible realizar estudios de microzonificación y los correspondientes mapas detallados de la distribución de peligro sísmico a escala local.

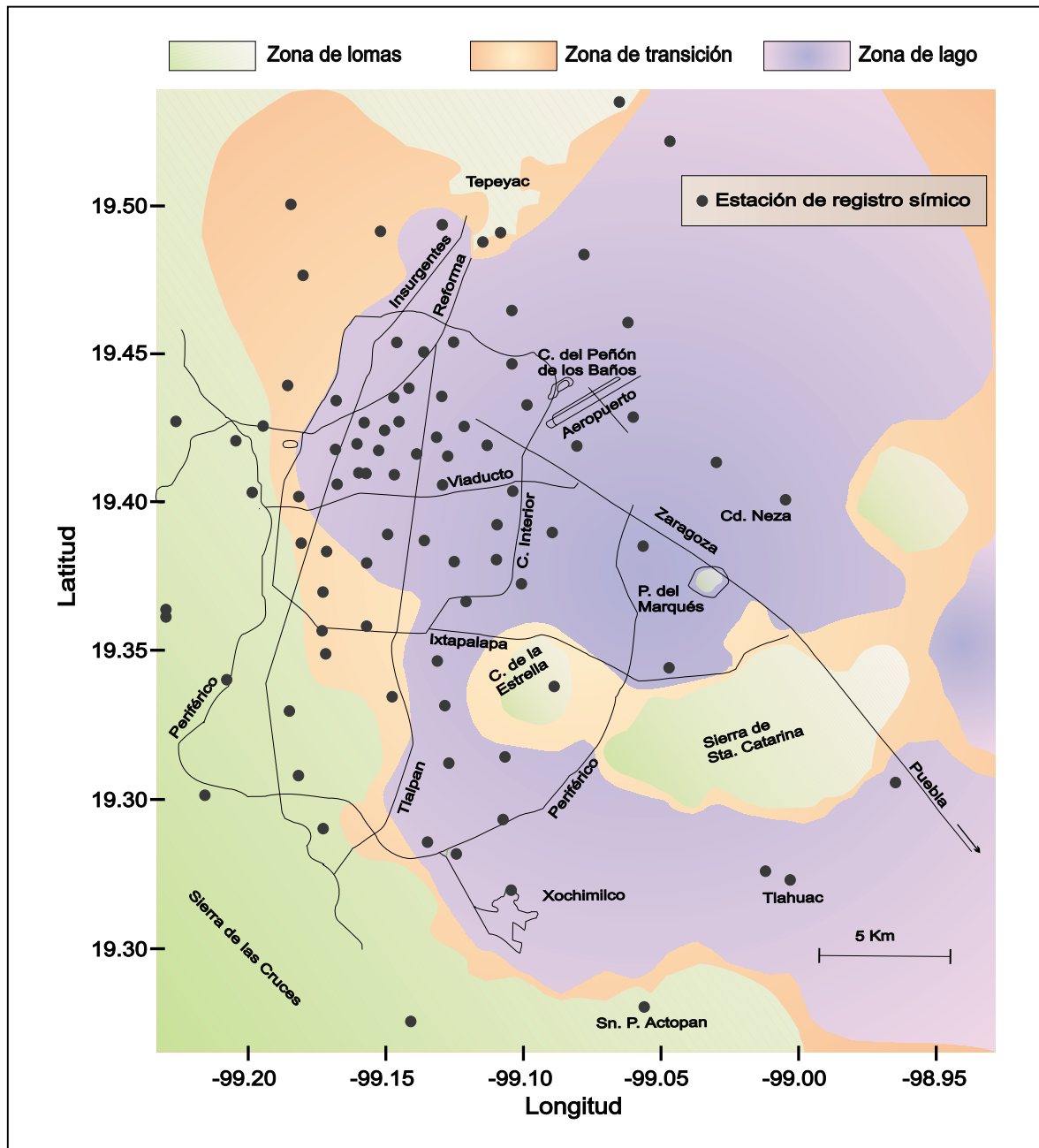
Como ejemplo de la distribución de materiales aluviales en valles se muestra, en la figura 28, la zonificación geotécnica de la Ciudad de México. Los daños por sismos se han concentrado en la zona de lago, por esa razón se ha colocado la mayor cantidad de acelerógrafos con fines de investigación.

Figura 27. Daños típicos en construcciones de adobe



La separación y colapso de paredes de adobe en viviendas rurales es una de las fallas por sismo que ocurren con mayor frecuencia.

Figura 28. Zonificación geotécnica de la Ciudad de México



El terreno del Valle de México se ha clasificado en tres tipos tomando en cuenta principalmente, su deformabilidad y resistencia.

Terreno firme o de lomas (Zona I). Se encuentra en las partes altas, con suelos poco compresibles y de alta resistencia.

Zona de lago (Zona III). Formada por depósitos lacustres, muy blandos. El contenido de agua en estos depósitos varía entre 50 y 500 %. Llega a tener grandes espesores, por ejemplo, de 60 m en Texcoco o mayores de 100 m en Tláhuac.

Zona de transición (Zona II). El suelo tiene propiedades intermedias con respecto a los tipos anteriores, o tiene espesores de depósitos blandos que no exceden 20 m.

En la zona de lago, y en menor medida en la de transición, se presentan grandes amplificaciones de las ondas sísmicas, que hacen mucho más grave el peligro sísmico.

Nótese que la zona del lago es aquella donde preferentemente se ha desarrollado la Ciudad de México y los daños por grandes sismos han sido mayores. Por tal motivo, como se puede ver en la figura, la instrumentación sísmica en esa zona se ha intensificado en los últimos años. Esto ha permitido conocer con mayor detalle el comportamiento del terreno ante la ocurrencia de grandes sismos.

TSUNAMIS

A la secuencia de olas que se generan cuando cerca o en el fondo del océano ocurre un terremoto, se le denomina tsunami o maremoto. Al acercarse a la costa estas olas pueden alcanzar alturas de varios metros y provocar grandes pérdidas humanas y materiales.

La gran mayoría de los tsunamis tiene su origen en el contorno costero del Pacífico, es decir, en zonas de subducción. Se generan cuando se presenta un movimiento vertical del fondo marino ocasionado por un sismo de gran magnitud cuya profundidad sea menor que 60 km.

Otras causas mucho menos frecuentes de tsunamis son las erupciones de volcanes submarinos, impacto de meteoritos o deslizamientos de tierra bajo el mar.

Los tsunamis se clasifican en **locales**, cuando el sitio de arribo se encuentra dentro o muy cercano a la zona de generación, **regionales**, cuando el litoral invadido está a no más de 1000 km, y **lejanos**, cuando se originan a más de 1000 km.

La estadística de maremotos ocurridos en la costa occidental de México es poco precisa, ya que excepto algunos lugares, por ejemplo Acapulco, antes del siglo XIX esta región tuvo una muy escasa población y, por otra parte, la operación de la red de mareógrafos con

que se registran tales fenómenos comenzó a funcionar hasta 1952.

En las tablas 7 y 8 se listan los tsunamis de origen local en México, a partir de 1732, y los de origen lejano desde 1952.

Las zonas de origen y arribo de tsunamis se ilustran en la figura 29. Para las costas de Baja California, Sonora y Sinaloa se considera en términos generales que la altura de ola máxima esperable es de 3 m, mientras que en el resto de la costa occidental dicha altura es hasta de 10 m.

Dado que en el Golfo de California el movimiento entre placas es lateral y el componente vertical en el movimiento del fondo marino es mínimo, se esperaría que no se produjeran tsunamis locales. La zona señalada en la figura 29 como generadora de tsunamis locales en la desembocadura del río Colorado, se debe a la altura de olas de 3 m reportada en 1852, por un sismo cuyo epicentro se ubicó en el área de Cerro Prieto (Balderman *et al.*, 1978). Muy probablemente este tsunami fue ocasionado por un deslizamiento de grandes dimensiones de los sedimentos que constituyen el delta del Río Colorado.

Como ejemplos de los patrones de inundación que pudieran producirse en sitios específicos, en las figuras 30 a 32 se muestran los mapas para Ensenada, Zihuatanejo y Salina Cruz.

Los tsunamis de 1932

En junio 3 y 18 de 1932, ocurrieron grandes sismos con magnitudes 8.2 y 7.8, respectivamente, con epicentros en el estado de Jalisco. El primero de ellos es el sismo más grande ocurrido en México durante el siglo XX. Ambos produjeron tsunamis que afectaron principalmente las costas de Colima. Sin embargo, como consecuencia de un sismo con magnitud significativamente menor que los dos anteriores (M_s 6.9), ocurrido el día 22 en las costas de ese estado, se produjo uno de los tsunamis más destructivos en la historia de nuestro país, con olas de hasta 10 m de altura y que llegaron hasta 1 km tierra adentro en Cuyutlán, Colima.

Tabla 7. Tsunamis de origen local observados o registrados en México.

Fecha (GMT)	Epicentro del sismo (°N,°W)	Zona del sismo	Magnitud del sismo	Lugar de Registro del tsunami	Altura max. de olas (m)
25-feb-1732	No definido	Guerrero	-	Acapulco	4.0
1-sep-1754	No definido	Guerrero	-	Acapulco	5.0
28-mar-1787	No definido	Guerrero	>8.0(?)	Acapulco	3.0-8.0
3-abr-1787	No definido	Oaxaca	-	Puerto Ángel	4.0 (*)
4-may-1820	17.2°, 99.6°	Guerrero	7.6	Acapulco	4.0
10-mar-1833	No definido	Guerrero	-	Acapulco	(*)
11-mar-1834	No definido	Guerrero	-	Acapulco	(*)
7-abr-1845	16.6°, 99.2°	Guerrero	-	Acapulco	-
29-nov-1852	No definido	B.California	-	Río Colorado	3.0 (*)
4-dic-1852	No definido	Guerrero	-	Acapulco	-
11-may-1870	15.8°, 96.7°	Oaxaca	7.9	Puerto Ángel	(*)
23-feb-1875	No definido	Colima	-	Manzanillo	(*)
15-abr-1907	16.7°, 99.2°	Guerrero	7.6	Acapulco	2.0
30-jul-1909	16.8°, 99.8°	Guerrero	7.2	Acapulco	-
16-nov-1925	18.5°, 107.0°	Guerrero	7.0	Zihuatanejo	7.0-11.0
22-mar-1928	15.7°, 96.1°	Oaxaca	7.5	Puerto Ángel	(*)
17-jun-1928	16.3°, 96.7°	Oaxaca	7.6	Puerto Ángel	-
3-jun-1932	19.5°, 104.3°	Jalisco	8.2	Manzanillo San Pedrito Cuyutlán San Blas	2.0 3.0 - -
18-jun-1932	19.5°, 103.5°	Jalisco	7.8	Manzanillo	1.0
22-jun-1932	19.0°, 104.5°	Jalisco Manzanillo	6.9 -	Cuyutlán	9.0-10.0
29-jun-1932	No definido	Jalisco	-	Cuyutlán	(*)
4-dic-1948	22.0°, 106.5°	Nayarit	6.9	Islas Mariás	2.05-5.0
14-dic-1950	17.0°, 98.1°	Guerrero	7.2	Acapulco	0.3
28-jul-1957	16.5°, 99.1°	Guerrero	7.8	Acapulco Salina Cruz	2.6 0.3
11-may-1962	17.2°, 99.6°	Guerrero	7.2	Acapulco	0.8
19-may-1962	17.1°, 99.6°	Guerrero	7.1	Acapulco	0.3
23-ago-1965	16.3°, 95.8°	Oaxaca	7.6	Acapulco	0.4
30-ene-1973	18.4°, 103.2°	Colima	7.5	Acapulco Manzanillo Salina Cruz La Paz Mazatlán	0.4 1.1 0.2 0.2 0.1
29-nov-1978	16.0°, 96.8°	Oaxaca	7.6	Pto. Escondido	1.5 (*)
14-mar-1979	17.3°, 101.3°	Guerrero	7.4	Acapulco Manzanillo	1.3 0.4

(*) Tsunami probable

Tabla 7 (continuación). Tsunamis de origen local observados o registrados en México.

Fecha (GMT)	Epicentro del sismo (°N,°W)	Zona del sismo	Magnitud del sismo	Lugar de registro del tsunami	Altura máx. de olas (m)
25-oct-1981	17.8°, 102.3°	Guerrero	7.3	Acapulco	0.1
19-sep-1985	18.1°, 102.7°	Michoacán	8.1	Lázaro Cárdenas	2.5
				Ixtapa-Zihuatanejo	3.0
				Playa Azul	2.5
				Acapulco	1.1
				Manzanillo	1.0
21-sep-1985	17.6°, 101.8°	Michoacán	7.6	Acapulco	1.2
				Zihuatanejo	2.5
9-oct-1995	18.9°, 104.1°	Colima-Jalisco	8.0	Manzanillo	2.0
				Barra de Navidad	5.1
				Melaque	4.5
				Cuastecomate	4.4
				La Manzanilla	0.4
				Boca de Iguanas	5.1
				El Tecuán	3.8
				Punta Careyes	3.5
				Chamela	3.2
				San Mateo	4.9
				Pérula	3.4
				Punta Chalacatepec	2.9

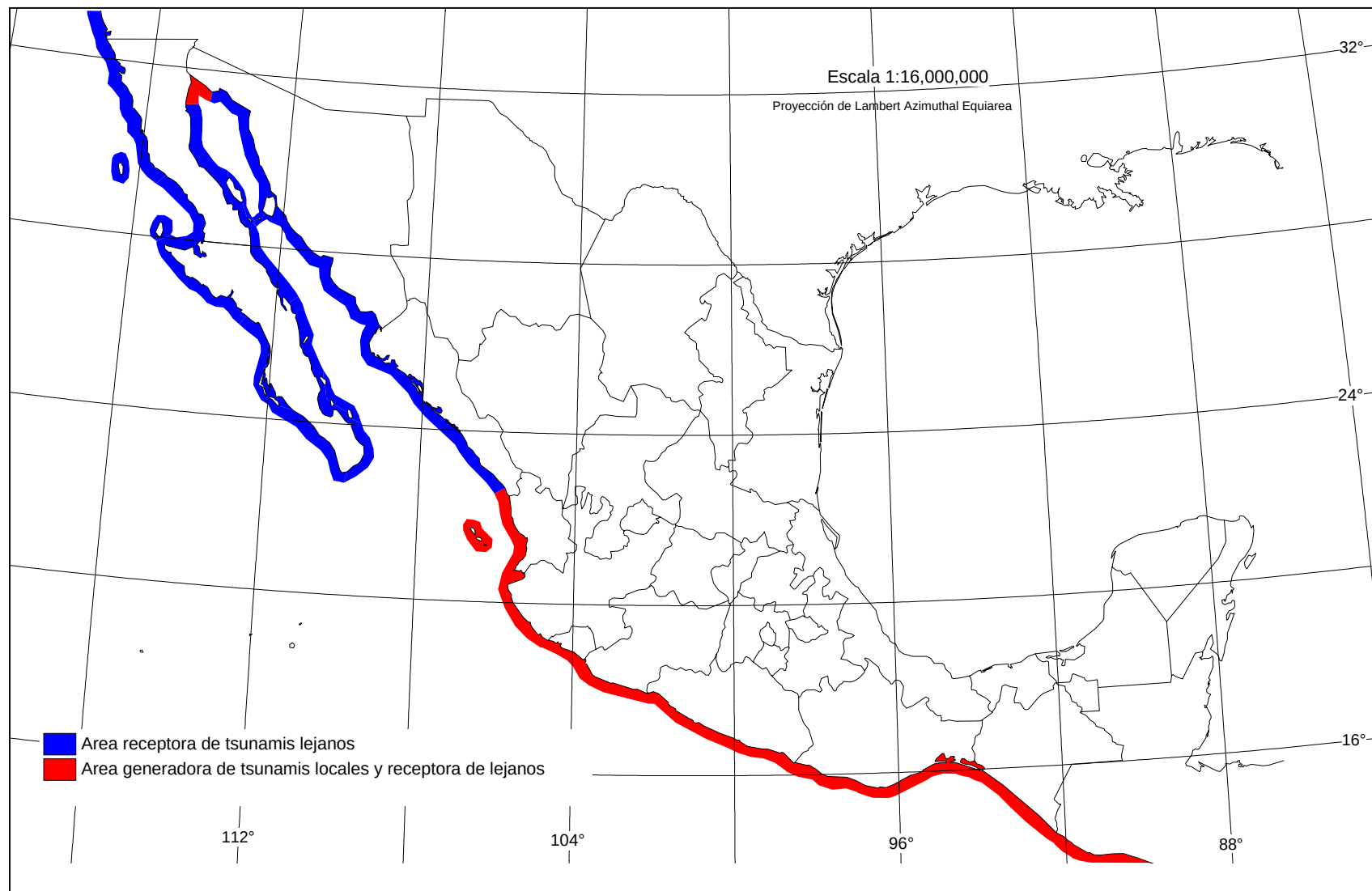
Tabla 8. Tsunamis de origen lejano posteriores a 1950, registrados en México.

Fecha (GMT)	Epicentro del sismo (°N,°W)	Zona del sismo	Magnitud del sismo	Lugar de registro del tsunami	Altura max. de olas (m)
4-nov-1952	52.8°N, 159.5°E	Kamchatka	8.3	La Paz, B.C.	0.5
				Salina Cruz, Oax.	1.2
9-mar-1957	51.3°N, 175°W	I. Aleutianas	8.3	Ensenada, B.C.	1.0
				La Paz, B. C.	0.2
				Guaymas, Son.	<0.1
				Mazatlán, Sin.	0.2
				Salina Cruz, Oax.	0.4
				Manzanillo, Col.	0.6
				Acapulco, Gro.	0.6
22-may-1960	39.5°S, 74.5°W	Chile	8.5	Ensenada, B.C.	2.5
				La Paz, B.C.	1.5
				Guaymas, Son.	0.6
				Topolobampo, Sin.	0.2
				Mazatlán, Sin.	1.1
				Acapulco, Gro.	1.9
				Salina Cruz, Oax.	1.6

Fecha (GMT)	Epicentro del sismo (°N,°W)	Zona del sismo	Magnitud del sismo	Lugar de registro del tsunami	Altura máx. de olas (m)
20-nov-1960	6.8°S, 80.7°W	Perú	6.8	Acapulco, Gro.	0.1
13-oct-1963	44.8°N, 149.5°E	I. Kuriles	8.1	Acapulco, Gro.	0.5
				Salina Cruz, Oax.	0.5
				Mazatlán, Sin.	0.1
				La Paz, B.C.	<0.1
28-mar-1964	1.1°N, 147.6°W	Alaska	8.4	Ensenada, B.C.	2.4
				La Paz, B. C.	0.5
				Guaymas, Son.	0.1
				Mazatlán, Sin.	0.5
				Salina Cruz, Oax.	0.8
				Manzanillo, Col.	1.2
				Acapulco, Gro.	1.1
4-feb-1965	51.3°N, 179.5°E	I. Aleutianas	8.2	Mazatlán, Sin.	0.1 (*)
				Manzanillo, Col.	0.3
				Acapulco, Gro.	0.4
				Salina Cruz, Oax.	0.5
17-oct-1966	10.7°S, 78.6°W	Perú	7.5	Salina Cruz, Oax.	0.2
16-may-1968	41.5°N, 142.7°E	Japón	8.0	Ensenada, B.C	0.3
				Mazatlán, Sin.	0.1
				Manzanillo, Col.	0.4
				Acapulco, Gro.	0.4
29-nov-1975	19.4°N, 155.1°W	Hawaii	7.2	Ensenada, B.C.	0.5
				Isla Guadalupe	0.4
				San Lucas, B.C.S.	0.3
				Loreto, B.C.S.	0.1
				Manzanillo, Col.	0.3
				P. Vallarta, Jal.	0.2
				Acapulco, Gro.	0.3
				Salina Cruz, Oax.	0.3
14-ene-1976	29.0°S, 178.0°W	Pacífico Sur	7.3	San Lucas, B.C.S.	0.1
				Pto. Vallarta, Jal.	0.1
				Manzanillo, Col.	0.2
				Acapulco, Gro.	0.2
				Salina Cruz, Oax.	0.2
12-dic-1979	1.6°N, 79.4°W	Colombia	7.9	Acapulco, Gro.	0.3
1-sep-1992	11.8°N, 87.4°W	Nicaragua	7.2	Isla Socorro	0.29
				Cabo San Lucas, B.C.S.	0.28
30-jul-1995	24.2°S, 70.7°W	Chile	7.8	Isla Socorro	0.23
				Cabo San Lucas, B.C.S.	0.1
21-feb-1996	9.6°S, 80.2°W	Perú	7.8	Isla Socorro	0.25

(*) Tsunami probable

Figura 29. Peligro por tsunami



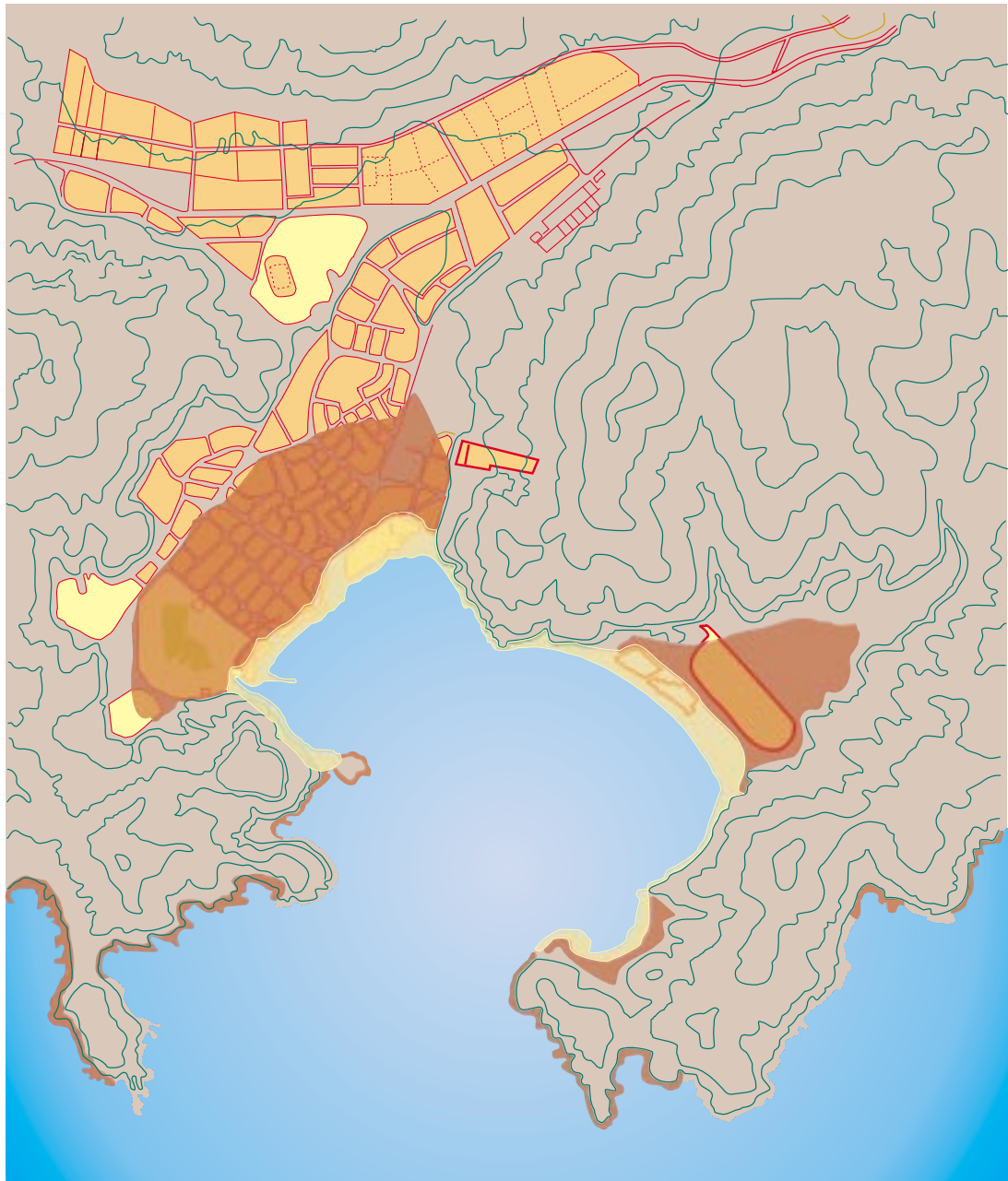
En las costas de Baja California, Sonora y Sinaloa la altura máxima esperable de olas es de 3 metros; para el resto de la costa occidental dicha altura puede ser hasta de 10 metros.

Figura 30. Áreas de posible inundación por tsunami con distinto grado de riesgo en Ensenada, Baja California



- Alto-mediano (ocurrencia muy probable)
- Bajo (ocurrencia menos probable)

Figura 31. Áreas de posible inundación por tsunami con distinto grado de riesgo en Zihuatanejo, Guerrero



Alto-mediano (ocurrencia muy probable)

Bajo (ocurrencia menos probable)

Figura 32. Áreas de posible inundación por tsunami con distinto grado de riesgo en Salina Cruz, Oaxaca

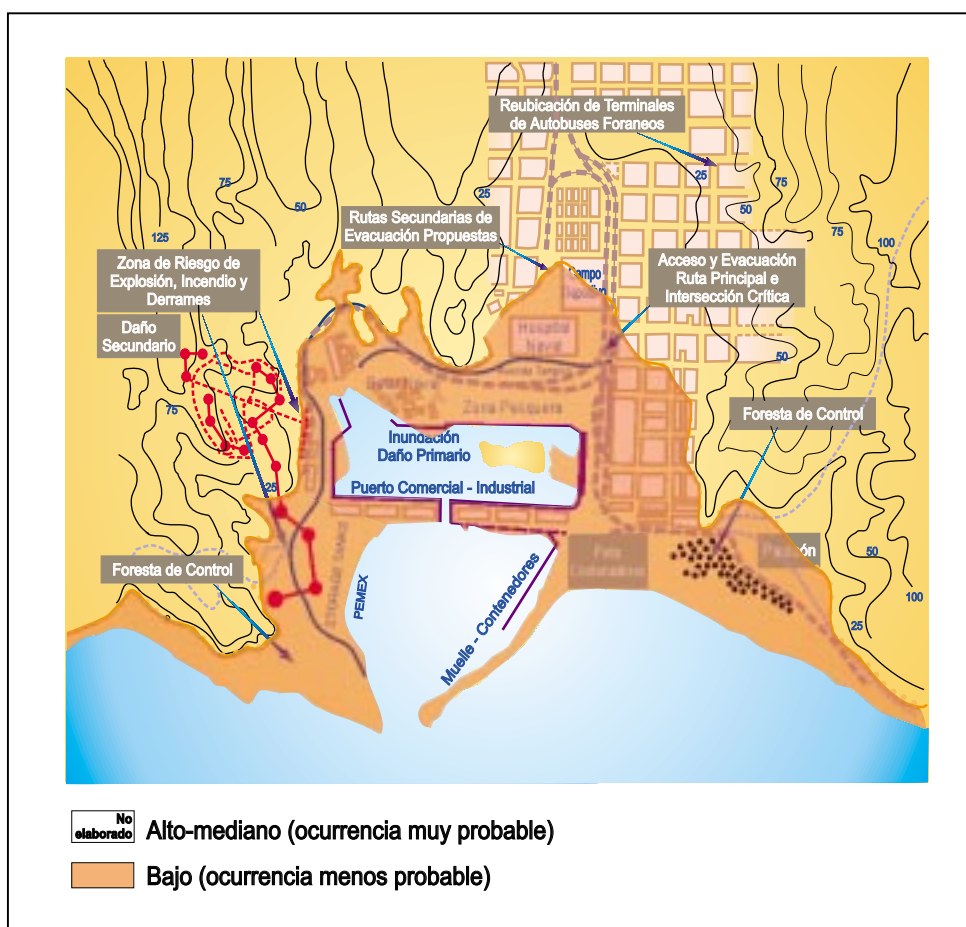


Figura 33. Tsunami en el Puerto de Hilo, Hawaii



Tsunami en el puerto de Hilo, Hawaii en 1946 como consecuencia de un sismo en las Islas Aleutianas.

VOLCANES

Introducción

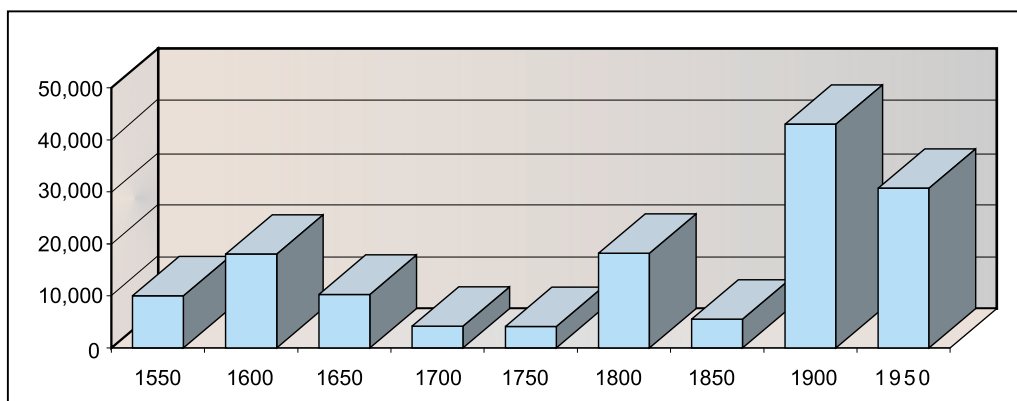
Los volcanes activos se distribuyen por diferentes regiones del planeta. En particular, México es una de esas regiones y los volcanes son parte característica del paisaje de muchas regiones del país, particularmente en una faja central que se extiende desde Nayarit hasta Veracruz. La actividad volcánica puede tener efectos destructivos, pero también 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 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 equivocada del riesgo volcánico.

A lo largo de la historia, poblaciones establecidas cerca de los casi 600 volcanes activos en distintas partes del mundo han soportado los efectos de la actividad volcánica, que

globalmente promedia unas 50 erupciones por año. Se estima que cerca de 270,000 personas han perecido en distintos lugares del mundo por efecto de desastres volcánicos desde el año 1,700 de nuestra era. 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 con frecuencia 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, en los que el valor de los daños puede llegar a ser comparable o incluso exceder su Producto Interno Bruto. La figura 34, obtenida a partir de datos publicados por UNDRO/UNESCO (1985), nos muestra la distribución del número global de víctimas causadas por efecto de manifestaciones volcánicas directas (flujos de ceniza, de lodo y de lava) en lapsos de 50 años desde 1550.

Figura 34. Víctimas de erupciones desde 1550



Distribución temporal de fatalidades causadas en el mundo por efectos primarios de erupciones volcánicas.

En esa gráfica no se muestran decesos causados por efectos secundarios derivados de las erupciones, como hambrunas o tsunamis para el caso de erupciones en islas volcánicas. La figura indica que el número de víctimas causadas directamente por efecto de erupciones ha aumentado al presente. Esto indica que, no obstante los avances en materia de ciencia y tecnología en el campo de la vulcanología y ciencias afines, que se han traducido en una crecientemente exitosa capacidad de pronóstico de la actividad eruptiva, desastres volcánicos continúan ocurriendo en distintos lugares del mundo. Es necesario entonces identificar y eliminar o al menos reducir las causas de esos desastres.

Este capítulo busca proporcionar al lector información básica referente al riesgo volcánico en México, la forma como se distribuye, las manifestaciones que puede tener y sus posibles efectos. De esta forma los interesados tendrán bases para desarrollar una percepción realista del riesgo y un criterio preventivo acorde.

El fenómeno volcánico

Las erupciones volcánicas son emisiones de mezclas de roca fundida rica en materiales volátiles (**magma**), gases volcánicos que se separan de éste (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, 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**. Si el magma acumula más presión de la que puede liberar, las burbujas crecen hasta tocarse y el magma se fragmenta violentamente, produciendo una erupción **explosiva**.

Los volcanes que se forman por la acumulación de materiales emitidos por varias erupciones a lo largo del tiempo geológico se llaman **poligenéticos** o volcanes **centrales**. Existe otro tipo de volcanes que nacen, desarrollan una erupción que puede durar algunos años y se extinguen sin volver a tener actividad. En lugar de ocurrir otra erupción en ese volcán, puede nacer otro volcán similar en la misma región. A este tipo de volcán se le denomina **monogenético** y es muy abundante en México. Los volcanes Xitle, Jorullo y Parícutín (figura 35) son de este tipo, y se encuentran en regiones donde abundan conos monogenéticos similares. Generalmente, los volcanes de este tipo son mucho más pequeños que los volcanes centrales y en su proceso de nacimiento y formación producen erupciones menos intensas.

Los materiales emitidos durante una erupción pueden causar diferentes efectos sobre el entorno, dependiendo de la forma como se manifiestan. Las principales manifestaciones volcánicas son:

Flujos de lava

La roca fundida emitida por una erupción efusiva puede avanzar con velocidades que dependen de la topografía del terreno, y de su composición y temperatura, pero que por lo general son bajas. Esto permite a la gente ponerse a salvo y contar con tiempo suficiente para desalojar sus bienes. Sin embargo, los terrenos y las construcciones invadidas por la lava son destruidos y no pueden volver a ser utilizados (figura 36).

Figura 35. Volcán Paricutín



a) Erupción monogenética del volcán Paricutín, iniciada en 1943.



b) Aspecto actual del Paricutín. Volcanes similares lo rodean.

Figura 36. Flujos de lava



▲ a) Flujo de lava de bloques incandescentes generado en el volcán de Colima en 1982.

► b) Detalle de la misma colada de lava. Flujos de lava similares se han producido en varias ocasiones en ese volcán desde 1960.

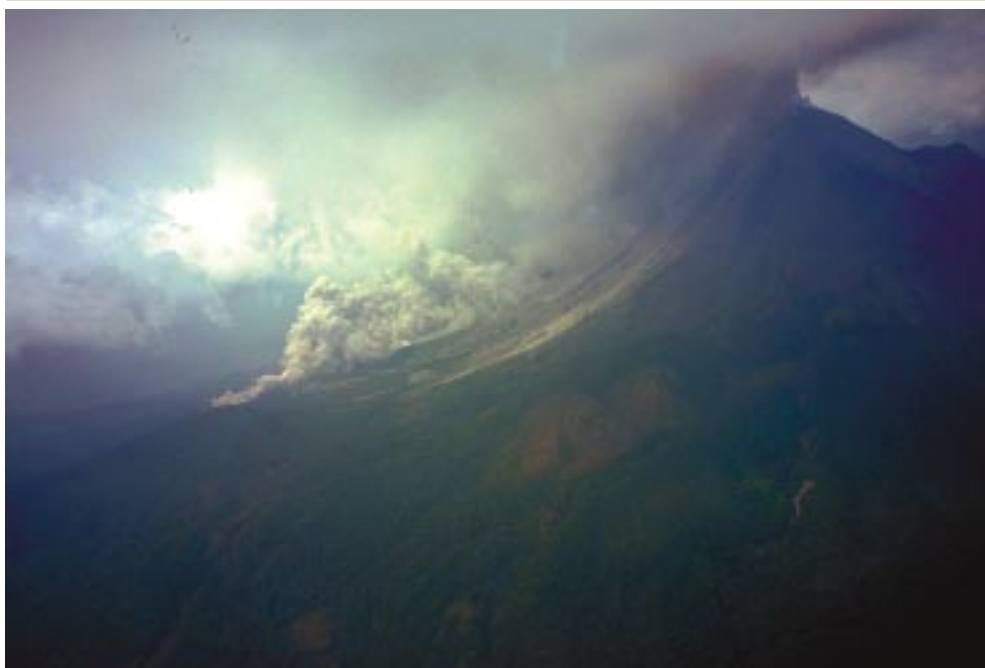


Flujos piroclásticos

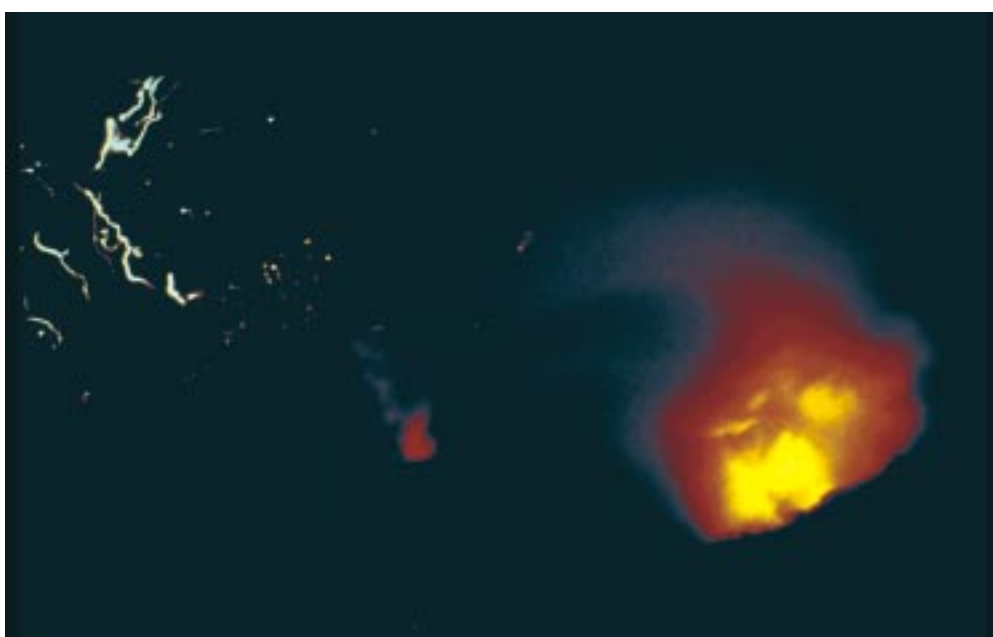
Durante las erupciones explosivas, pueden generarse avalanchas formadas por mezclas de fragmentos o bloques grandes de lava, ceniza volcánica (magma finamente fragmentado), y gases muy calientes, que se deslizan

cuesta abajo por los flancos del volcán a grandes velocidades y pueden llegar a ser muy destructivas y peligrosas. Estas avalanchas reciben varios nombres: flujos piroclásticos, nubes ardientes, flujos de ceniza caliente (figura 37).

Figura 37. Flujos piroclásticos



a) Flujo piroclástico de magnitud moderada producido por el derrumbe de bloques de lava en el volcán de Colima a finales de 1998. Numerosos flujos de este tipo han motivado varias evacuaciones preventivas de poblaciones cercanas a ese volcán.



b) Flujo piroclástico de gran tamaño y poder destructivo, generado durante la erupción del volcán El Chichón, el 3 de abril de 1982.

Flujos de lodo (lahares)

La mezcla de bloques, ceniza y cualquier otro escombros con agua puede producir avenidas muy potentes de lodo y escombros, que tienen un poder destructivo similar a los flujos piroclásticos y por lo general mayor alcance. El agua que forma la mezcla puede tener varios orígenes, tales como lluvia intensa, fusión de nieve o glaciares, o lagunas (figura 38). Estas avenidas se mueven con rapidez, siguiendo las barrancas que forman el drenaje del volcán y pueden ocurrir durante o después de las erupciones.

Lluvias de fragmentos

Las erupciones explosivas lanzan al aire grandes cantidades de gases calientes y fragmentos de todos tamaños. Los gases calientes pueden arrastrar las partículas hasta grandes alturas (en la erupción de El Chichón de 1982, la columna eruptiva alcanzó cerca de 20 km de altura). Los fragmentos más grandes caen cerca del volcán y los fragmentos más finos pueden ser arrastrados por el viento sobre grandes distancias, produciendo lluvias de ceniza sobre grandes extensiones (figura 39). Cuando la ceniza depositada se humedece o se compacta, su peso puede producir hundimientos de los techos y caída de hojas y ramas de plantas y cables de todo tipo.

Figura 38. Flujos de lodo



Generación de flujos de lodo o lahares. En este caso, el agua de la lluvia se mezcla con la ceniza volcánica de la erupción del Chichón en 1982, produciendo grandes cantidades de lodo.

Figura 39. Efectos de la lluvia de fragmentos

a) Los fragmentos finos de las erupciones de 1982 del Chichón se acumularon sobre las calles y los techos de poblaciones a decenas de kilómetros del volcán.



b) En regiones más cercanas, aparte de la ceniza volcánica, los fragmentos de mayor tamaño produjeron perforaciones en los techos.

Derrumbes y deslizamientos

Los edificios volcánicos están formados por los depósitos de materiales emitidos en erupciones pasadas, y no son estructuras muy firmes. Una erupción o un terremoto puede provocar el derrumbamiento de material acumulado en las partes altas del volcán y esto producir una avalancha de escombros, que puede llegar a ser muy destructiva, dependiendo de la cantidad de material involucrado, de la altura a la que se origina y de la topografía del terreno.

Algunos de los peligros asociados a los distintos tipos de erupciones volcánicas y a sus diferentes manifestaciones se resumen en las tablas 9 y 10.

Las velocidades y los alcances están descritos aquí en términos cualitativos, dado que dependen de muy diversos factores, como altura del volcán, intensidad de la erupción, topografía del terreno, vientos dominantes, etc. En términos muy generales, estos rangos pueden acotarse como si-

Tabla 9. Erupciones efusivas.

Manifestación	Peligro asociado	Velocidad	Alcance	Efecto más frecuente
Lava líquida	Flujos de lava	Baja	Corto	Destrucción del terreno
Ceniza	Lluvia de ceniza	Media	Intermedio	Acumulación de ceniza

Tabla 10. Erupciones explosivas.

Manifestación	Peligro asociado	Velocidad	Alcance	Efecto más frecuente
Fragmentos de todos tamaños	Flujos piroclásticos	Muy alta	Corto a intermedio	Devastación
Ceniza	Lluvia de ceniza	Media	Largo	Acumulación de ceniza
Lodo (agua y fragmentos)	Flujo de lodo (lahar)	Media a alta	Intermedio a largo	Devastación
Derrumbe o deslizamiento	Avalancha de escombros	Alta	Intermedio a largo	Devastación

gue: velocidades bajas están en el rango de metros por hora, intermedias de pocos kilómetros por hora y altas de varias decenas de kilómetros por hora. Alcances cortos implican de cientos de metros a pocos kilómetros, intermedios algunas decenas de kilómetros, y largos hasta cientos de kilómetros.

Los volcanes poligenéticos pueden producir cualquier tipo de erupción con un rango amplio de intensidades. En los volcanes monogenéticos por lo general domina la actividad efusiva, pero ésta puede ir acompañada de fases moderadamente explosivas.

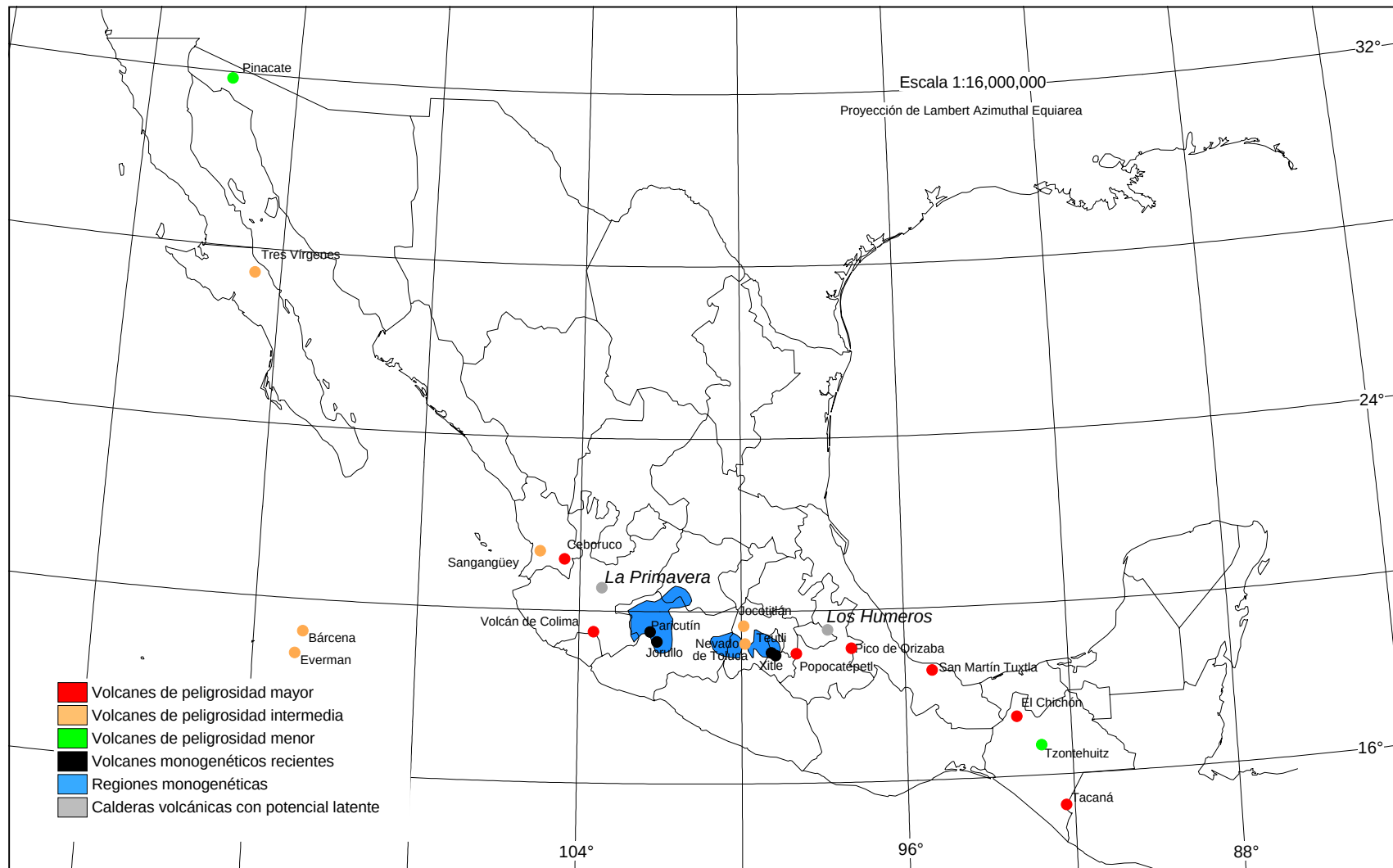
La actividad volcánica en México

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 y 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. En la figura 40 se muestran los volcanes mexicanos que han desarrollado algún tipo de actividad eruptiva en tiempos geológicamente recientes y en las tablas 11 a 22 se describen las erupciones más importantes que han ocurrido en tiempos históricos.

No se mencionan en esta recopilación otros volcanes importantes que pueden ser considerados activos, pero de los que no existen reportes de erupciones históricas. No se intenta representar la totalidad del vulcanismo geológicamente activo de México.

Figura 40. Vulcanismo activo, calderas y regiones monogenéticas



Volcanes de México que han tenido erupciones en tiempos históricos. Nótese que algunos de los volcanes señalados (Xitle, Jorullo y Parícutín) son monogenéticos. También se incluyen algunas de las calderas volcánicas más importantes, aunque no hayan mostrado actividad reciente.

Tabla 11. Volcán Tres Virgenes.**Estratovolcán traquítico basáltico Localización: 27.47° N, 112.59° O (B.C.S.) Altura: 1,940 msnm**

Fecha (D/M/A)	Tipo de erupción y efectos
Erupciones poco documentadas.	Se ignoran daños.

Tabla 12. Volcán Fuego de Colima.**Estratovolcán andesítico Localización: 9.51° N, 103.62° O (Jalisco-Colima) Altura: 3,820 msnm**

Fecha (D/M/A)	Tipo de erupción y efectos
1560	Erupción menor poco documentada.
1576	Abundante caída de ceniza, estragos, posibles pérdidas humanas.
10/01/1585	Abundante caída de ceniza a distancias de hasta 100 km. Se reporta gran pérdida de ganado.
14/01/1590	Erupción explosiva con abundante lluvia de ceniza.
25/11/y 13/12/1606	Erupciones grandes, con abundante caída de ceniza hasta Michoacán.
15/04/1611	Actividad explosiva con abundante lluvia de ceniza.
08/06/1622	Gran erupción con intensas lluvias de cenizas a distancias de 200 km.
1690 y 1771	Erupciones explosivas con importantes lluvias de ceniza.
1795	Erupción con emisiones de lava.
25/03/1806	Flujos de bloques y ceniza.
15/02/1818	Gran erupción con extensas lluvias de ceniza, que llegan hasta Guadalajara, Zacatecas, Guanajuato, San Luis Potosí y Ciudad de México.
12/06/1869	Varias erupciones forman un nuevo cono adventicio en el flanco NE del volcán (Volcancito).
26/02/1872	Erupción explosiva del Volcancito, con abundante lluvia de ceniza.
06/01/1886, 26/10/1889	Erupciones explosivas con lluvias de ceniza y flujos de lava.
16/02/1890	Erupción explosiva importante, con lluvia de ceniza sobre distancias mayores de 100 km.
1891 - 1893	Repetidas erupciones con frecuentes emisiones moderadas de ceniza. Se instala un observatorio vulcanológico.
15/02 al 31/03/1903	Erupciones explosivas con lluvias de ceniza al N y NE del volcán y flujos piroclásticos.
18/12/1908, 04/02/1909	Erupciones explosivas, lluvias de ceniza. Fragmentos incandescentes lanzados, causan incendios en las faldas de los volcanes.
20/01/1913	Gran erupción explosiva con abundante lluvia de ceniza y flujos piroclásticos. Algunas víctimas.
1960	Se inicia un nuevo episodio de crecimiento de domo.
14/02/1991	La Red Sísmica de Colima detecta una considerable actividad sísmica en el volcán de Colima. Se alerta a los sistemas de protección civil de Colima, Jalisco y Nacional.
01/03/al 17/04/1991	Se inicia la extrusión de un domo de lava, que genera numerosas avalanchas de rocas incandescentes y algunos flujos de bloques y ceniza sobre los flancos sur y suroeste del volcán. Se toman medidas preventivas que incluyen simulacros de evacuación.
21/07/1994	La red de monitoreo volcánico RESCO detecta un incremento en la actividad sísmica desde el 15 de julio de 1995, que culmina con una explosión el 21 de julio del mismo año alrededor de la media noche que destruye parte del domo y forma un cráter de 135 m de diámetro.
1998	Desde marzo se detecta actividad sísmica creciente. El 17 de noviembre se evacúan las poblaciones más cercanas al volcán. El 20 de noviembre se observa un nuevo domo de lava creciendo en la cumbre. Posteriormente, ocurren derrames de bloques de lava, flujos piroclásticos menores y explosiones.
1999	Se registran explosiones aisladas. Una mayor ocurre el 10 de febrero, que lanza fragmentos incandescentes y produce incendios en la vegetación de las faldas del volcán y algunos flujos de bloques y ceniza. Se efectúa una segunda evacuación de las poblaciones más cercanas. Otra explosión similar se registra el 10 de mayo, motivando una tercera evacuación.

Tabla 13. Volcán Sangangüey.**Estratovolcán andesítico Localización: 21.45° N, 104.72° O (Nayarit) Altura: 2,340 msnm**

Fecha (D/M/A)	Tipo de erupción y efectos.
1742 y 1859	Erupciones poco documentadas.

Tabla 14. Volcán Popocatepetl.**Estratovolcán Andesítico-dacítico Localización: 19.02° N, 98.62° O (México, Puebla y Morelos.)
Altura: 5,454 msnm**

Fecha (D/M/A)	Tipo de erupción y efectos
Entre 3200 y 2800 a.C.	Erupciones plinianas con intensos flujos piroclásticos, algunos derrames de lava y generación de grandes lahares.
Entre 800-200 a.C.	Erupción pliniana similar
Entre 700-1100 d.C.	Erupción pliniana, similar a las anteriores.
1347	Erupción poco documentada .
1354 y 1363	Episodios de actividad eruptiva moderada.
1509, 1512	Emisión de fumarolas.
1518-1528 y 1530	Episodios de actividad eruptiva moderada, con fumarolas, explosiones y esporádicas emisiones de rocas incandescentes.
1539-1540	Erupciones moderadas, similares a las anteriores.
1548	Erupción moderada, con algunas explosiones y emisión de material incandescente.
1571-1592	Actividad persistente. Emisiones de gases y cenizas.
20/10/1697	Explosión moderada.
1720	Actividad moderada.
19/02/1919-1927	Episodio de actividad eruptiva consistente de la emisión y destrucción de domos de lava en el interior del cráter. A lo largo de varios años se manifestaron explosiones, emisiones de ceniza y materiales incandescentes y fumarolas. Hubo una víctima y dos heridos entre miembros de una expedición al borde del cráter, al ocurrir una explosión el 25/03/1921.
1989	Se instala la primera estación de monitoreo sísmico del volcán
1993-1994	Aumento en la actividad microsísmica y fumarólica.
21/12/1994	A las 01:31 del 21/12/1994, ocurren cuatro explosiones seguidas por una emisión creciente de gases y ceniza. En esa ocasión, se evacuaron unas 20,000 personas en poblaciones del Estado de Puebla al pie del volcán. Las emisiones de ceniza o exhalaciones continuaron en 1995 y 1996. En marzo de 1996, ocurre otro episodio de emisión intensa de gases y cenizas. A finales de marzo, se detecta un domo creciente de lava en el interior del cráter. Las explosiones subsiguientes se hacen más intensas y lanzan fragmentos incandescentes alrededor el cráter. El 30/04/1996, una explosión causa la muerte de 5 alpinistas cerca del labio inferior del cráter y lluvias de ceniza y arenilla en poblaciones cercanas. En 1997, continúa el crecimiento del domo de lava y la actividad de exhalaciones y explosiones. La de mayor intensidad, el 30 de junio de 1997, produce una columna eruptiva de 8 km sobre la cima y una leve lluvia de ceniza en la Ciudad de México. Otras explosiones en 1997, 1998 y 1999 lanzaron cantidades importantes de fragmentos incandescentes y causaron incendios en la vegetación de las faldas del volcán, provocando la destrucción parcial del domo.

Tabla 15. Volcán Ceboruco.**Estratovolcán andesítico Localización: 21.13° N, 104.51° O (Nayarit) Altura: 2,280 msnm**

Fecha (D/M/A)	Tipo de erupción y efectos
c. 1000 d.C.	Gran erupción pliniana produjo abundante lluvia de ceniza y flujos piroclásticos. Se ignoran daños.
16/02/1870	Erupción con emisión de ceniza y lava.
1870-1875	Erupción efusiva produce 1.1 km de lava, con la destrucción de algunas tierras cultivables.

Tabla 16. Volcán Citlaltépetl o Pico de Orizaba.**Estratovolcán andesítico Localización: 19.03° N, 97.27° O (Puebla - Veracruz) Altura: 5,700 msnm**

Fecha (D/M/A)	Tipo de erupción y efectos
1533-1539	Emisiones de ceniza
1545	Flujos de lava y ceniza
1566	Emisiones de lava
1569-1589-1687-1846	Emisiones de ceniza
1864-1867	Fumarolas y emisiones de ceniza

Tabla 17. Volcán San Martín Tuxtla.**Cono basáltico Localización: 18.56° N, 95.19° O (Veracruz) Altura: 1,600 msnm**

Fecha (D/M/A)	Tipo de erupción y efectos
15/01/1664	Erupción explosiva con lluvias de ceniza.
02/03/1793	Erupción explosiva con abundante lluvia de ceniza. Se mantuvo actividad menor hasta 1805.
1838	Actividad menor.

Tabla 18. Volcán El Chichón o Chichonal.**Complejo dómico andesítico Localización: 17.36° N, 93.23° O (Chiapas) Altura: 1,070 msnm**

Fecha (D/M/A)	Tipo de erupción y efectos
c. 300, 680 y 1300	Erupciones explosivas (plinianas) con abundantes lluvia de ceniza y flujos piroclásticos.
28/03/1982	Gran erupción explosiva (vulcaniana) con una duración de 5 a 6 horas y altura de unos 17 km con abundante lluvia de ceniza. Aproximadamente 20 víctimas por derrumbes de techos, producidos por acumulación de cenizas de caída libre.
03/04/- 04/04/1982	Dos grandes erupciones explosivas (plinianas) con columnas eruptivas de más de 20 km de altura, abundante lluvia de ceniza y flujos piroclásticos destructivos. Numerosas víctimas, aproximadamente 150 km ² de tierras cultivadas devastadas, grandes pérdidas de ganado en un radio de 10 km a la redonda y de cultivos de plátano y cacao en un radio de 50 km. Cerca de 20,000 damnificados. El domo en la cumbre del volcán fue destruido, formándose un cráter de cerca de 1 km de diámetro y casi 200 m de profundidad.

Tabla 19. Volcán Tacaná.

Estratovolcán andesítico **Localización: 15.13° N, 92.10° O (Chiapas-Guatemala)** **Altura: 4,060 msnm**

Fecha (D/M/A)	Tipo de erupción y efectos
1855-1878-1900-1903-1949-1951	Episodios de actividad fumarólica, acompañada en ocasiones de pequeñas explosiones freáticas.
08/05/1986	Después de algunos meses de actividad sísmica precursora, ocurrió una explosión freática mediana, que abrió una fisura alargada de unos 20 m en el flanco NO del volcán a 3,600 msnm. Esto produjo una fumarola de vapor y gases que continúa hasta la fecha.

Tabla 20. Volcán Bárcena.

Cono cinerítico **Localización: 19.29° N, 110.81° O (Isla San Benedicto, Colima)** **Altura: 381 msnm**

Fecha (D/M/A)	Tipo de erupción y efectos
01/08/1952	Nace este volcán en la isla San Benedicto del archipiélago de las Revillagigedo, deshabitada en esa época. La actividad fue principalmente de tipo stromboliano y se prolongó hasta marzo de 1953.

Tabla 21. Volcán Evermann o Socorro.

Volcán de escudo **Localización: 18.78° N, 110.95° O (Isla Socorro, Colima)** **Altura: 1,235 msnm**

Fecha (D/M/A)	Tipo de erupción y efectos
1848, 1896, 1905 y 22/05/1951	Erupciones poco documentadas.
01/02/1993	Leve actividad eruptiva por una ventila submarina en el flanco oeste del volcán, a una profundidad de unos 300 m. Algunos fragmentos de pómez emitidos por esta actividad fueron vistos flotando en la superficie del mar.

Tabla 22. Volcanes monogenéticos.

Conos cineríticos

Nombre y Fecha (D/M/A)	Tipo de erupción y efectos
Parícutín 20/02/1943 Localización: 19.49° N, 102.25° O (Michoacán)	Nace de una fisura abierta en un campo de cultivo; a las 24 horas forma un pequeño cono de 50 m de alto y para febrero 6 alcanza 150 m. A los 12 días llega a más de 400 m y produce grandes cantidades de cenizas y lava. La actividad eruptiva termina en 1952 y emite un total de 1.3 km ³ de ceniza y 0.7 km ³ de lava. Dos poblaciones y cerca de 25 km ² de tierras cultivables son destruidas por los flujos de lava. No se reportan víctimas.

Conos cineríticos

Nombre y Fecha (D/M/A)	Tipo de erupción y efectos
Jorullo 29/09/1759 Localización: 18.97° N, 101.72° O (Michoacán)	En forma similar al Parícutín, nace de una fisura abierta en terrenos de la hacienda El Jorullo en el Estado de Michoacán. Emite abundantes cantidades de ceniza y lava. En las etapas iniciales posiblemente produjo algunas víctimas entre la población de una hacienda, que se encontraba aislada y muy cerca del lugar de nacimiento del volcán. Las erupciones continuaron hasta 1774. Los flujos de lava destruyeron aldeas y 9 km ² de tierras cultivables.
Xitle c. 470 a.C. Localización: 19.25° N, 99.22° O (D.F.)	En forma análoga al Parícutín y el Jorullo, nace de una fisura en el campo volcánico monogenético de la Sierra de Chichinautzin. Emite abundantes cantidades de ceniza, y de lava que forman el pedregal de San Ángel, D.F. Causa la destrucción de la ciudad de Cuicuilco. El campo de lava formado por esa erupción cubre un área de 72 km ² .

El riesgo volcánico en México

La evaluación y la representación del riesgo volcánico plantea un problema complejo que involucra varios componentes.

Peligro volcánico

El peligro volcánico puede representarse de varias formas. La más utilizada es en forma de un mapa, donde se muestran los alcances más probables de las diferentes manifestaciones volcánicas. Para su elaboración, primero se identifican, con base en la información geológica disponible obtenida del estudio de los depósitos de materiales arrojados en erupciones previas (que es un indicador de lo que el volcán en estudio ha sido capaz en el pasado), las regiones que han sido afectadas por erupciones previas.

La información anterior, conjuntamente con los datos topográficos que permiten prever las trayectorias de algunos de los productos volcánicos, se integra en un mapa de peligros o

amenazas volcánicas, que debe incluir también las bases para delimitar las zonas de riesgo: las fuentes de datos, las suposiciones e hipótesis hechas durante la elaboración y las condiciones en las que puede aplicarse el mapa. Los mapas de peligro o amenaza deben también distinguir entre los riesgos primarios, como los flujos piroclásticos, o las lluvias de fragmentos, describiendo sus velocidades, alcances y efectos sobre el hombre y el medio, y los riesgos secundarios posibles, incluyendo todos aquellos efectos que pueden presentarse después de la erupción, como flujos de lodo o impactos sobre el medio. Normalmente estos mapas se representan en escalas entre 1:50 000 y 1:250 000. Como ejemplos de mapas de peligros volcánicos, se incluyen aquí versiones reducidas y simplificadas de los mapas de peligro para el volcán Popocatepetl (figura 41), y para el volcán de Colima (figura 42). Ambos mapas han sido publicados por el Instituto de Geofísica de la UNAM, y pueden ser adquiridos a una escala más detallada en esa institución.

Figura 41 (página siguiente).

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 con base en el alcance máximo de los productos originados por estas erupciones y en las distancias máximas de los flujos modelados por computadora. Además, el borde de cada área fue incrementado en varios kilómetros como margen de seguridad.

El mapa muestra 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) y 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.

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 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 41. Mapa de peligros del Volcán Popocatepetl

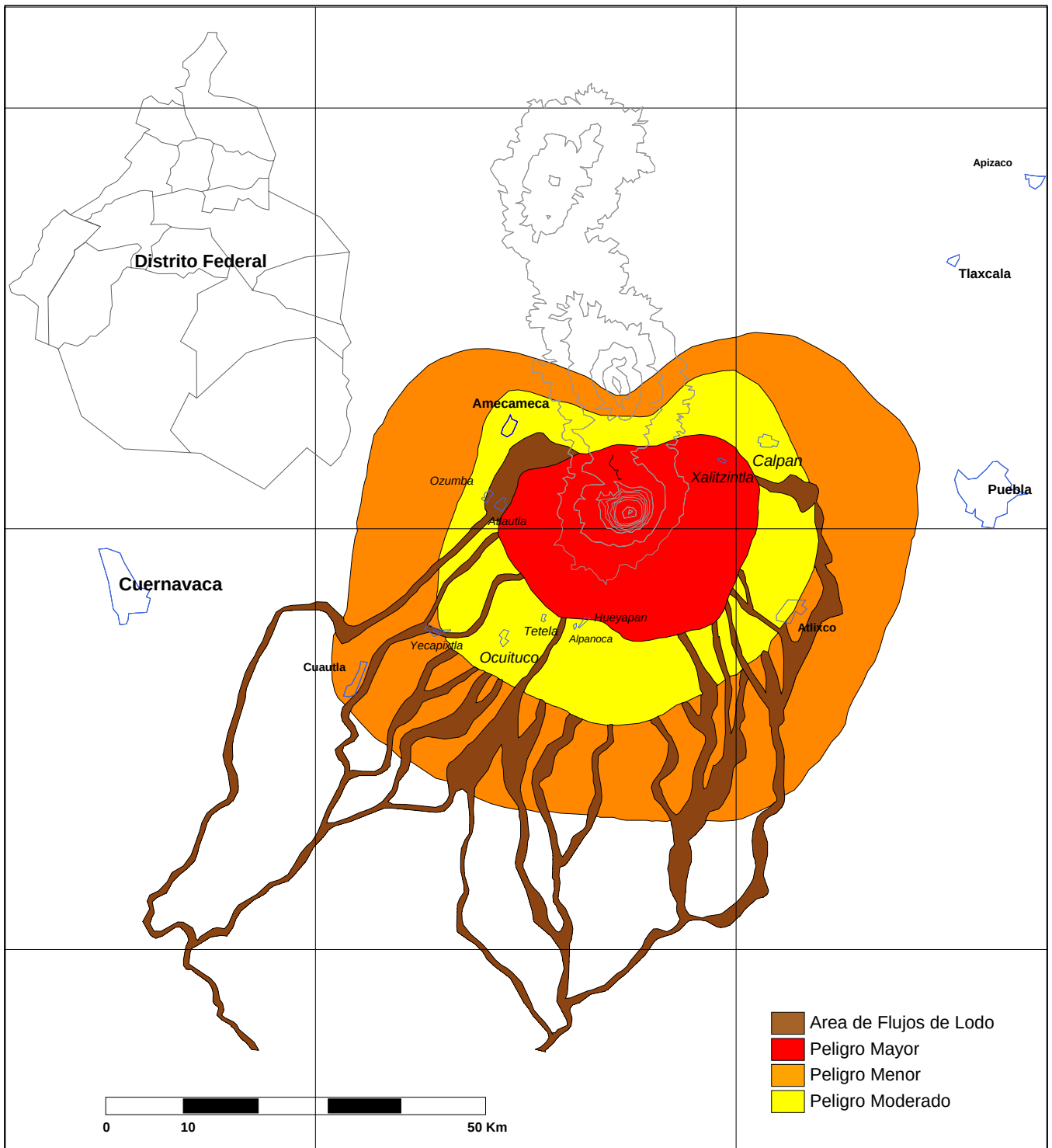


Figura 42. Mapa de Peligros del Volcán de Colima

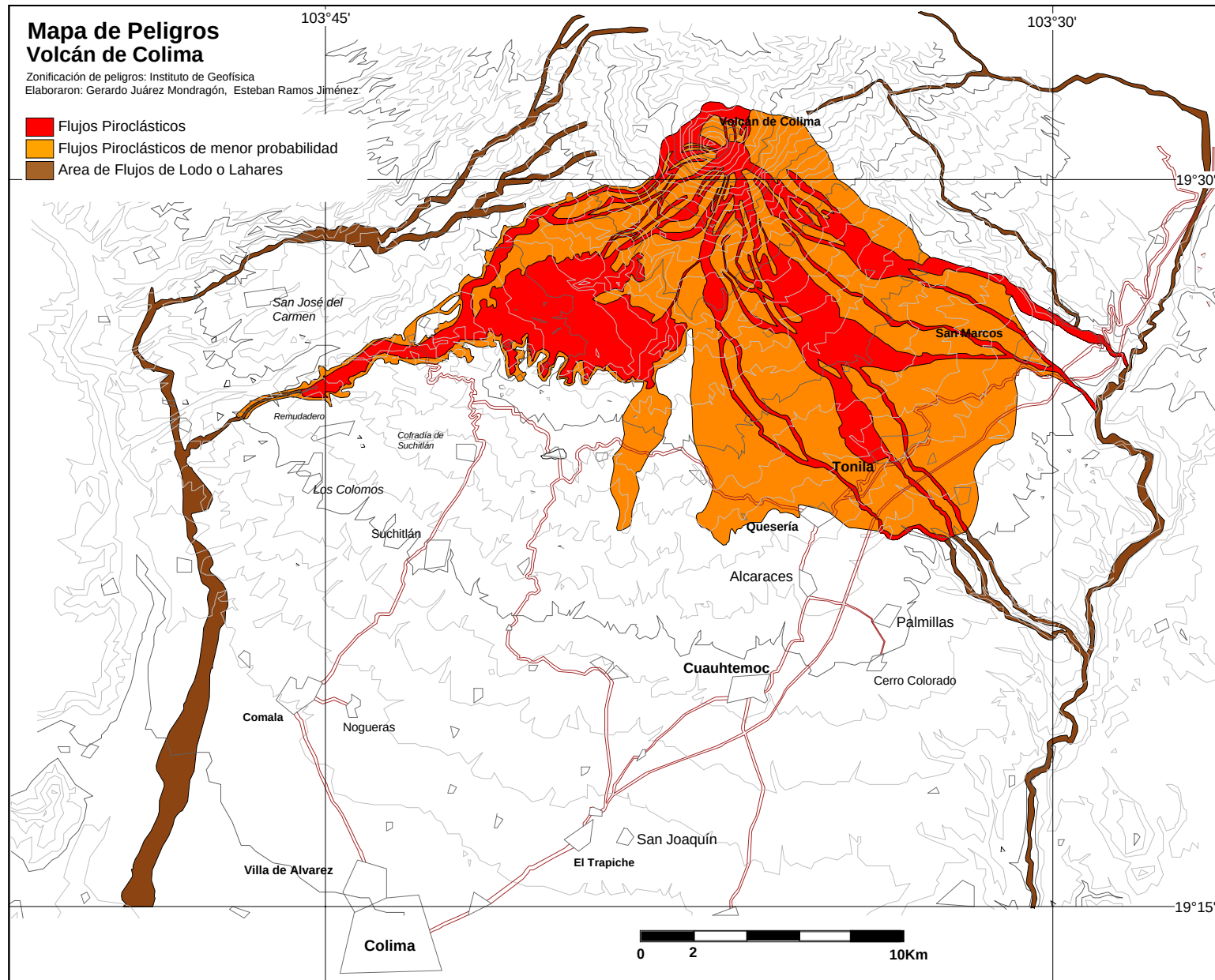


Figura 42 (página anterior)

Mapa de peligros del volcán de Colima, reducido y adaptado del mapa publicado por el Instituto de Geofísica en 1995. En esta versión reducida no se muestran los efectos de caída de ceniza ni algunos otros detalles. Las áreas de peligros señaladas se calcularon con base en estudios geológicos y geomorfológicos así como en registros históricos de observaciones sobre las erupciones anteriores y sus efectos. Un margen de 2 km fue agregado a las áreas amenazadas por flujos piroclásticos con mayor movilidad.

Las áreas frecuentemente afectadas por flujos piroclásticos y lahares secundarios están marcadas en rojo. Estos flujos ocurren por lo menos una vez cada 100 años. Los lahares pequeños o ríos de lodo pueden presentarse varias veces en una década mientras que los lahares grandes están asociados a erupciones fuertes que ocurren aproximadamente cada 100 años. La parte superior del cono también está sujeta a explosiones y a la caída de fragmentos balísticos.

En naranja se marcan la áreas que pueden ser alcanzadas por flujos piroclásticos y nubes de ceniza con gran movilidad. Estas nubes pueden sobrepasar cerros como ocurrió en la parte sureste del volcán. Sin embargo, este tipo de flujo es poco frecuente.

En café se marcan las áreas sujetas a inundaciones por acumulación de productos volcánicos que obstruyen el flujo de agua.

Figura 43 (página siguiente)

Mapa de riesgos del volcán Popocatepetl, reducido y adaptado del mapa producido por el Sistema Nacional de Protección Civil de la Secretaría de Gobernación en 1995. Las zonas sombreadas muestran regiones alrededor del volcán que pudieran ser afectadas por diferentes tipos de erupciones de acuerdo con el mapa de peligros.

Estas regiones han sido divididas en sectores numerados. El primer dígito indica el nivel de peligro de los sectores de acuerdo con las áreas definidas en el mapa de la figura 41. El segundo dígito señala la posición azimuthal del sector. Las regiones marcadas con un primer dígito 4 muestran áreas amenazadas por flujos de lodo en el evento de una erupción extrema. Las poblaciones en cada sector se listan a la derecha del mapa. También se presenta la red de vías de comunicación.

Zonificación del riesgo volcánico

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. También puede representarse esta información en un mapa, pero considerando el gran número de datos que comprende, es más conveniente procesarla y representarla por medio de un sistema computarizado de información geográfica (SIG). Actualmente, se encuentran en desarrollo sistemas de este tipo en varias instituciones, tanto para la región del Popocatepetl como para otros volcanes de México.

La figura 43 muestra una versión reducida de un mapa de riesgos para el volcán Popocatepetl que sirve de base para la planeación de emergencias en la eventualidad de una erupción mayor. Las regiones de peligro definidas en el mapa de la figura 41, han sido divididas en sectores. La lista de poblaciones en los distintos sectores se incluye a la derecha del mapa.

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.

Manejo o gestión del riesgo volcánico

Los aspectos tratados en las secciones previas reflejan una condición estacionaria; esto es, esas representaciones del peligro y el riesgo integran toda la información pasada disponible y muestran la distribución espacial del riesgo, independientemente del tiempo en que se les considere. Sin embargo, si surge una condición de amenaza derivada de un incremento en la actividad volcánica, debe contarse con una serie de mecanismos que permitan enfrentar esa condición conforme evoluciona. Por ello, una vez que se han definido los peligros volcánicos y se ha zonificado el riesgo, es necesario desarrollar un grado de **preparación**, entendida como una capacidad de respuesta ante la posibilidad de actividad volcánica, o de cualquier otra amenaza. La preparación involucra una clara comprensión, por parte de la población vulnerable y de las autoridades responsables de su protección, del fenómeno natural y de todas sus posibles manifestaciones destructivas, y la elaboración de medidas de reducción de la vulnerabilidad. La preparación considera también el desarrollo de planes operativos de respuesta ante la posibilidad de que esas manifestaciones se presenten.

En términos generales la gestión del riesgo comprende dos fases principales:

- a) La fase pre-crítica o pre-evento de preparación, que incluye:
 - ♦ Evaluación del peligro y del riesgo, reducción de la vulnerabilidad y postulación de escenarios probables.

- ♦ Monitoreo volcánico.
 - ♦ Desarrollo de planes operativos para el caso de emergencia.
- b) La fase crítica y la aplicación de las medidas operativas, que comprende:
- ♦ Procedimientos de información, comunicación y alerta.
 - ♦ Respuesta: aplicación de medidas de emergencia.
 - ♦ Definición del fin de la fase crítica.

De las componentes de la fase pre-crítica, los aspectos de evaluación del peligro y del riesgo se han discutido en secciones previas. En lo que respecta a las medidas preventivas de reducción de la vulnerabilidad, éstas generalmente se derivan de la zonificación y microzonificación del riesgo y de los escenarios de riesgo. Así, por ejemplo, en una población por la que pasa un río, con ese tipo de información es posible reconocer aquellas construcciones que son más vulnerables y planificar medidas de protección a sus pobladores ante distintos escenarios, como lahares o desbordamientos.

Ciertas medidas pueden implementarse directamente sobre la población vulnerable, a través de programas de difusión de la información sobre el riesgo y el desarrollo de estrategias de reducción a la exposición del mismo, como diseño de procedimientos de alertamiento, evacuación y reubicación. Otras, son las llamadas medidas estructurales de reducción de la vulnerabilidad, relacionadas con la construcción de obras de ingeniería diseñadas para proteger a la población y sus bienes, como por ejemplo, obras de contención, o de desviación del curso, en el caso del río.

El **monitoreo** consiste de un dispositivo de vigilancia del volcán constituido por equipos de alta tecnología, tales como redes de instrumentos desplegados sobre el volcán para detectar su actividad sísmica, las deformaciones que experimenta, los cambios en la composición de fumarolas, manantiales, y otras manifestaciones y para observarlo en forma directa por medio de equipos de video (figura 44). Estos instrumentos transmiten sus datos a un centro de recepción y análisis, donde los científicos responsables de vigilar al volcán reunidos en un Comité Científico Asesor, elaboran diagnósticos del estado del volcán y pronostican su actividad en el corto plazo. Estos pronósticos permiten el alertamiento temprano y la puesta en marcha de los planes operativos de respuesta aun antes del inicio de la actividad eruptiva.

Los planes operativos de respuesta representan una parte crucial en la gestión de una emergencia y deben elaborarse considerando todos los posibles escenarios de actividad que pueda desarrollar el volcán, la distribución de la vulnerabilidad de las poblaciones de acuerdo con esos escenarios, y la capacidad de poner en marcha los mecanismos de protección y movilización de la población, y de seguridad sobre sus bienes.

Los planes operativos deben definir las responsabilidades de cada autoridad involucrada y de la población misma, establecer los mecanismos de comunicación y alertamiento, y describir las acciones de respuesta.

En el caso de iniciarse una actividad eruptiva, entraría la fase crítica de la gestión del riesgo, que involucra la aplicación de los planes operativos. Parte fundamental de esta fase es la relacionada con los meca-

nismos de comunicación y alerta. En México se ha desarrollado un instrumento de comunicación y alertamiento genéricamente conocido como el Semáforo de Alerta Volcánica para el Popocatepetl. La Tabla 23 muestra los elementos de este instrumento de comunicación, que permite definir el nivel de actividad del volcán, de acuerdo con el consenso del Comité Científico Asesor, en seis niveles (columna izquierda), comunicarlo a las autoridades de Protección Civil para que éstas realicen acciones recomendadas (columna central), y a su vez lo comuniquen a la población para que ésta defina su nivel de alertamiento (columna derecha) en tres niveles, correspondientes a los colores del semáforo.

Si así lo requiriera la condición de riesgo comunicada por medio del Semáforo de Alerta Volcánica, se tomarían las medidas correspondientes en los diferentes planes operativos de respuesta. Estos planes han sido desarrollados por los sistemas de Protección Civil de Puebla, Morelos, Estado de México, Tlaxcala y Distrito Federal.

Finalmente, cuando declina la actividad volcánica, surge el problema de definir el fin de la emergencia. El problema de retorno a una condición sub-crítica o a la normalidad es complejo y deberá también estar contemplado en los planes de gestión del riesgo.

Figura 44. Laboratorio de monitoreo volcánico en el Centro Nacional de Prevención de Desastres



Consola de recepción y registro de datos de monitoreo del volcán Popocatepetl. Las señales de distintos instrumentos ubicados sobre el volcán transmiten sus datos a un centro de recepción y procesamiento en el Centro Nacional de Prevención de Desastres, donde son analizados y evaluados continuamente por un grupo de científicos especializados.

Tabla 23. Definición de los niveles de riesgo del Semáforo de Alerta Volcánica del Popocatepetl.

Niveles de alerta Nomenclatura para comunicación entre SINAPROC y CCA*.	Acciones recomendadas al SINAPROC dentro del plan operativo vigente.	Niveles de alerta para la población Acciones recomendadas generales.
NIVEL VERDE	FASE 1 • Desarrollar planes de preparación. Educación a la población. Implementación de dispositivos de monitoreo.	NORMALIDAD • Mantenerse informado. • Memorizar la señalización de: -rutas de evacuación. -sitios de reunión. -albergues. • Asistir a cursos de capacitación. • Participar en ejercicios y simulacros. • Promover la reubicación de instalaciones en áreas de alto riesgo.
	FASE 2 • Aumento en los niveles de monitoreo. Reuniones esporádicas o periódicas del CCA. Nivel aumentado de comunicación entre b y c. Revisión de planes operativos de emergencia. Mayor información a a para mantener altos niveles de concientización.	
NIVEL AMARILLO	FASE 1 • Reuniones mas frecuentes del CCA. consultas más frecuentes entre SINAPROC y CCA. • Verificación de la disponibilidad de personal y de equipos de evacuación. • Verificación de la disponibilidad de vehículos para evacuación. • Limitación del acceso al volcán segun criterio del CCA.	ALERTA • Incrementar niveles de atención a la información oficial. • Ensayar los desplazamientos a sitios seguros, sitios de reunión y albergues. • Obedecer las instrucciones de las autoridades. • Mantenerse alerta y estar preparado para una posible evacuación.
	FASE 2 • Anuncio sobre el cambio a las autoridades de protección civil en los tres niveles de gobierno. • Establecimiento de personal de guardia en el nivel correspondiente de PC. • Limitación del acceso al volcán en un radio mayor, de acuerdo con el criterio del CCA. • Aviso a los sistemas de navegación aérea.	
	FASE 3 • Anuncio público de la situación y de las medidas tomadas. • Preparación de personal, de equipos de evacuación y de albergues. • Implementación de medidas específicas en las regiones más vulnerables. • Puesta en marcha de medidas preventivas contra caídas de ceniza y fragmentos en la región 1 y contra lahares a lo largo de las trayectorias de flujos más probables. • Alertamiento a los sistemas de navegación aérea. • Limitación de acceso al volcán sobre una extensión mayor.	
NIVEL ROJO	• Evacuación selectiva de poblaciones en los sectores 1 y 4, según criterios recomendados por el CCA, de acuerdo con el desarrollo e intensidad de la actividad. • Alentar la autoevacuación. • Puesta en marcha de medidas preventivas contra caídas de ceniza y fragmentos en las regiones 1 y 2 , y a lo largo de las posibles trayectorias de flujos (región 4). • Preparación de medidas preventivas contra lluvias de moderadas a intermedias de ceniza y oscurecimiento en zonas metropolitanas circundantes. • Activación de planes preventivos de protección a las comunicaciones y al abasto de agua y energía. • Alertamiento a los sistemas de navegación aérea a nivel continental. • Evacuación selectiva de sectores más amplios según criterios recomendados por el CCA de acuerdo con el desarrollo e intensidad de la actividad. • Puesta en marcha de medidas preventivas contra caídas de ceniza y fragmentos en las regiones 1, 2 y 3 y áreas circundantes, y contra lahares a lo largo de las posibles trayectorias de flujos hasta las distancias recomendadas por el CCA. • Activación de medidas preventivas contra oscurecimiento y lluvias de ceniza y gravilla en zonas metropolitanas circundantes. Activación de planes preventivos de protección a las comunicaciones y al abasto de agua y energía. Alertamiento a los sistemas de navegación aérea a nivel global. • Ampliar los ámbitos de comunicación hacia la población.	ALARMA • Atender instrucciones de las autoridades. • Dirigirse a los sitios de seguridad o a los sitios de reunión para ser trasladados a los albergues o a sitios seguros. • La población que pueda evacuar o desplazarse a sitios seguros por sus propios medios debe hacerlo. • Mantenerse continuamente informado sobre la evolución del fenómeno.

SINAPROC=Sistema Nacional de Protección Civil; CCA= Comité Científico Asesor; a= Población vulnerable; b=autoridades responsables

MOVIMIENTOS DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO NATURAL

Introducción

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

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

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 térrreas. 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.

Los **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.

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.

Por su parte, el **agrietamiento** de la superficie del terreno es la manifestación de una serie de desplazamientos verticales y horizonta-

les 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.

Los **hundimientos locales** son causados por el colapso **de la superficie del terreno natural** en zonas donde existen cavidades subterráneas. 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 minas antiguas, poco profundas, que no están detectadas y localizadas plenamente.

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 bosque en las zonas montañosas; en ocasiones para contar con tierras cultivables efectúan cortes y contruyen terrazas para habilitar sus viviendas carentes de obras apropiadas de drenaje. Con dichas acciones los habitantes, sin darse cuenta, propi-

cian 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.

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.

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.

Uno de los ejemplos más recientes 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 (figura 45).

La depresión tropical número once que se presentó en México entre los días 4 y 5 de octubre de 1999 y que afectó principalmente a los estados de Puebla, Hidalgo y Veracruz, generó una serie de inundaciones y problemas de colapso de laderas naturales. Dado que dicha depresión tropical se mantuvo en condiciones casi estacionarias durante esos días, se produjo una precipitación pluvial extraordinaria que reblandeció algunas formaciones geológicas, afectando a diferentes zonas pobladas.

Figura 45



Daños causados por el huracán Pauline en la ciudad de Acapulco, el 9 de octubre de 1997.

Figura 46



Muestra del colapso de una ladera localizada en una zona despoblada, frente al poblado conocido como Yehuala. En este colapso de ladera natural se puede apreciar que el bosque también había sido talado.

En la ciudad de Teziutlán, Puebla, ocurrió el mayor número de pérdidas humanas, debido a un deslizamiento de material térreo. En forma simplificada, se puede considerar que la ciudad de Teziutlán está asentada en su parte céntrica en una meseta que está limitada por laderas naturales con pendientes moderadas, en algunos casos y en acantilados francos con pendientes muy pronunciadas, en otros. Debido a las precipitaciones extraordinarias en la región a principios de 1999, ocurrieron del orden de cien deslizamientos de tierra en las laderas de la ciudad, particularmente en la colonia La Aurora, donde un deslizamiento de suelo produjo poco más de un centenar de pérdidas humanas.

Otras poblaciones en la parte noroeste del Estado de Puebla fueron severamente afectadas, como Aquixtla, donde ocurrieron deslaves o cárcavas en los cerros circundantes constituidos en su mayoría por suelos residuales limo-arenosos, con poca arcilla; afortunadamente no cobró vidas humanas. La carretera que comunica a la población con comunidades importantes fue deslavada en su totalidad a la

entrada de la población, dejándola incomunicada.

Atexcac y Zempoal quedaron incomunicadas, dificultando las labores de ayuda humanitaria que se requería inmediatamente después de estas lluvias extraordinarias, además de haber sufrido la pérdida total de sus cosechas e incluso gran parte de sus campos agrícolas a causa de la erosión del terreno que se presentó en este caso. Hacia el sur de la población se formó una represa, producto del derrumbe de las laderas de los cerros, en distintos puntos a lo largo del recorrido del río.

Por su parte, en el Estado de Veracruz, particularmente en algunas comunidades pertenecientes a los municipios de Papantla, Atzlán, Villa Aldama, San Andrés Tuxtla, Santiago Tuxtla y Río Blanco, distribuidas en las regiones norte, centro y sur del estado, también se presentaron algunos problemas de erosión e inestabilidad de laderas.

En el pasado reciente han ocurrido afectaciones por desplazamientos de suelo en dis-

tintos estados, como: Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Durango, Guerrero, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Sonora, Hidalgo y aun en los alrededores de la Ciudad de México (figura 48).

Por otra parte, la explosión demográfica de los últimos años ha obligado, en algunas localidades, a depender de la explotación de acuíferos para obtener el agua para uso huma-

no, agrícola e industrial. Bajo estas circunstancias, se han agudizado los problemas de hundimientos regionales y la generación de agrietamientos del terreno natural, afectando, en mayor o menor grado diversas ciudades (figura 49).

Esta problemática se ha venido manifestando cada vez en forma más alarmante, por la afectación directa a las edificaciones y a las

Figura 47



Manifestación del fenómeno de erosión acelerada, mediante la generación de una serie de cárcavas en la sierra norte del Estado de Puebla, donde los bosques habían sido talados.

Figura 48



Inestabilidad de ladera que afecta directamente a una unidad habitacional en la Ciudad de México.

obras de infraestructura propias de los centros urbanos afectados, tales como tuberías de agua potable, redes de distribución eléctrica, y alcantarillado, calles y vías de acceso en general.

Al ritmo que ha crecido la necesidad de abastecimiento de agua, el problema de hundimiento regional y de agrietamiento del te-

reno natural se ha ido extendiendo a zonas dedicadas a la agricultura e industria (figura 50).

Desde el punto de vista cartográfico, a escala nacional, los primeros antecedentes sobre los problemas de inestabilidad de terreno natural se encuentran en el Atlas Nacional de México (1992).

Figura 49



Hundimiento diferencial y agrietamiento del subsuelo de la ciudad de Aguascalientes, causados por la sobreexplotación de acuíferos.

Figura 50



Agrietamiento del terreno natural. Esta imagen muestra un ejemplo de los daños que puede originar la extracción desmedida de agua subterránea.

Inestabilidad de laderas naturales

Existen diversas formas mediante las cuales se inicia un deslizamiento. Una característica casi invariable es “la presencia o ausencia de agua”, según el tipo de formación geológica involucrada.

Muchos de los taludes naturales se encuentran en una condición potencialmente inestable, de manera que los movimientos y los colapsos se pueden iniciar con facilidad. Los temblores intensos junto con los procesos de erosión son causas comunes que pueden actuar en diversas formas. La erosión diferencial de estratos de estabilidad variable puede dejar en voladizo el material de un estrato más duro que con el tiempo se romperá y causará el deslizamiento. La erosión en el pie de un talud de material no consolidado puede remover el soporte necesario para el material superior, el que empezará a deslizarse hasta que se restaure la estabilidad. Esto sucederá con más facilidad en una formación de estratos inclinados.

Probablemente el factor más importante de todos los que pueden provocar un problema de inestabilidad de laderas naturales, sea el cambio en las condiciones de contenido de agua del subsuelo.

Esto puede ser generado por interferencia con las condiciones naturales de drenaje, evaporación excesiva de suelos que normalmente están húmedos o un incremento en el agua del subsuelo producido por lluvias excesivas.

Este último quizá sea el modo más común de afectar las condiciones del agua subterránea y es especialmente grave, porque las lluvias excesivas también incrementarán los escurrimientos superficiales que pueden provocar una erosión del material al pie de un ta-

lud e intensificar de este modo las tendencias al deslizamiento. Se puede decir que la presencia de agua en el subsuelo tiene tres efectos principales:

- 1) Incrementa el peso efectivo del material que satura.
- 2) Crea una presión apreciable en el agua que se localiza dentro de las formaciones térreas (presión ejercida desde el interior de las formaciones geológicas por el agua que se encuentra ocupando los poros de los materiales térreos).
- 3) Este incremento de presión interna tiene una tendencia franca a expandir la estructura formada por partículas sólidas de estos materiales, con lo que a su vez reduce la resistencia de las masas térreas. Con esto se manifiesta una tendencia clara a que muchos materiales se debiliten, sobre todo aquellos tipos de roca más débiles y los materiales no consolidados con algún contenido de arcilla.

Esta problemática se agrava aún más con la presencia de asentamientos humanos irregulares, que propician el intemperismo acelerado de las formaciones geológicas, volviéndolas más vulnerables a los efectos desestabilizadores descritos.

En las zonas montañosas donde se ubican asentamientos humanos irregulares es común observar deforestación, cortes de terreno, terrazas e infiltración de agua y materia orgánica producto de la actividad humana.

En el caso de zonas potencialmente inestables, se vuelve indispensable realizar obras de

control, principalmente en lo que se refiere al drenaje.

Tal como se describe en el fascículo 11, editado por el CENAPRED, sobre Inestabilidad de Laderas Naturales y Taludes, los problemas de colapso de laderas más comunes son: (a) **caído**, (b) **deslizamiento** y (c) **flujo**, como se ilustra esquemáticamente en la figura 51. En cada uno de ellos se pueden involucrar sedimentos no consolidados y fragmentos de roca que pueden ser desde pequeños hasta grandes bloques.

Específicamente, las **volcaduras y derrumbes de roca** constituyen uno de los subgrupos principales en que normalmente se dividen los colapsos de laderas naturales y cortes artificiales de las mismas. Éstos pueden tener una influencia considerable en los aspectos de protección civil y un alto impacto destructivo sobre las obras de ingeniería y por tanto merecen atención especial.

Muchos derrumbes abarcan grandes extensiones, aunque generalmente los de mayor tamaño ocurren en regiones montañosas deshabitadas y por ello interesan más desde el punto de vista ambiental que de protección civil; **sin embargo, dado que los asentamientos humanos irregulares están proliferando en zonas cada vez más altas sobre las laderas, este fenómeno está empezando a afectar más directamente a los centros de población de este tipo.**

Los derrumbes de roca más frecuentes son de menor tamaño que los anteriores y se les puede identificar como desprendimientos y volcaduras. Sólo en muy rara ocasión habrá fallas grandes, incluso durante la construcción de rutas de transporte en áreas mon-

tañosas. Los desprendimientos, volcaduras y deslizamientos de roca de menor extensión son comunes en asentamientos humanos regulares e irregulares así como a lo largo de rutas de transporte cercanas a acantilados de rocas naturales y a cortes excavados a través de la roca.

Para diseñar un plan de protección a la población contra deslizamientos, colapsos y caídos locales de material proveniente de taludes y laderas naturales, es conveniente identificar el tipo de formación geológica involucrada, dado que éste es el factor determinante para la previsión de accidentes de este tipo. Es indispensable distinguir claramente entre material consolidado, roca basal, suelo y material no consolidado, como:

- Fragmentos de roca
- Arena y limo
- Mixto
- Material arcilloso plástico
- Material complejo

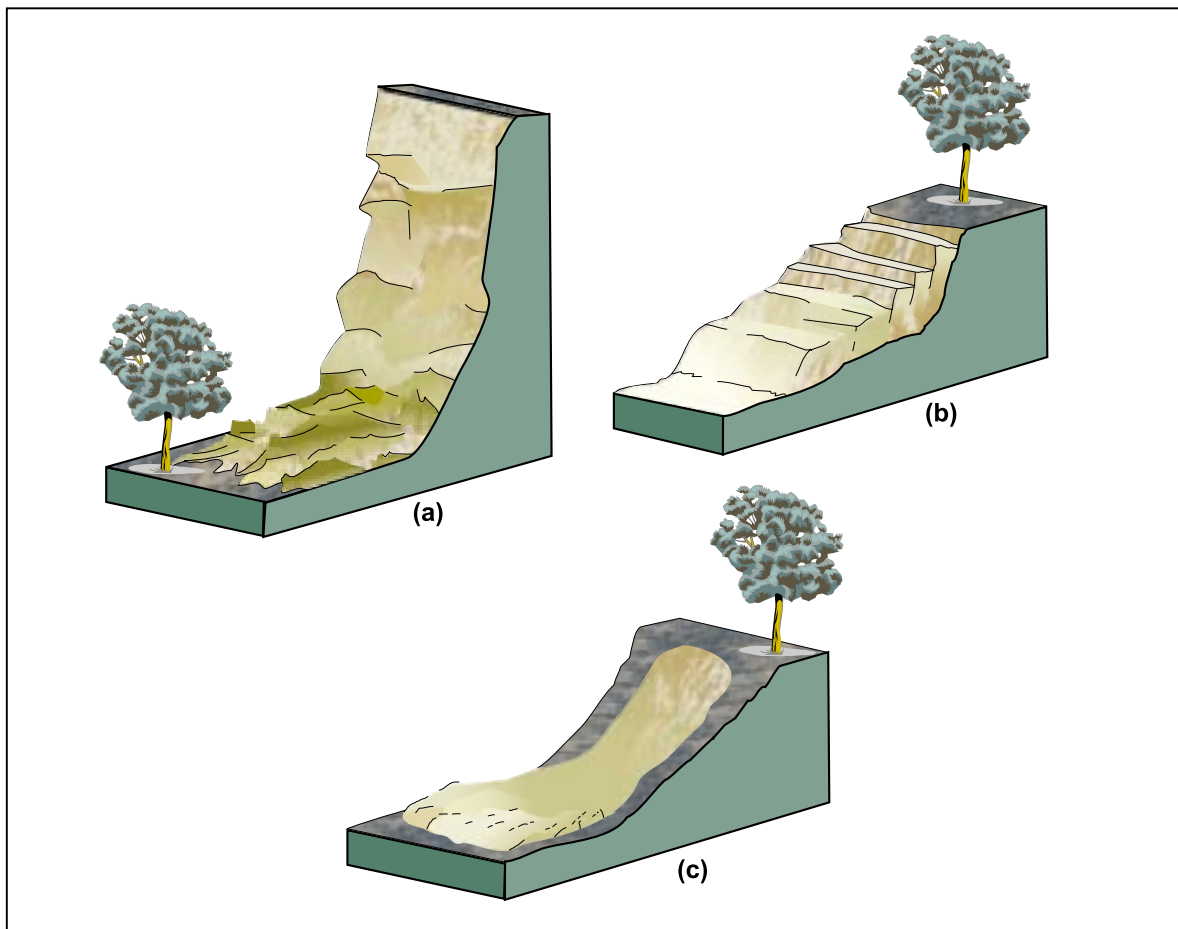
De éstos hay que determinar sus características intrínsecas en cuanto a la evolución de la intemperización física y química, así como los patrones de erosión característicos, todo en función del tiempo, tomando en cuenta las condiciones ambientales y climatológicas de cada sitio en particular.

Asimismo, es indispensable diferenciar entre las zonas con potencial para que se generen derrumbes y aquéllas donde se pueden presentar deslizamientos; lo anterior en función del tipo de roca o sedimento no consolidado, la pendiente natural del terreno y las condiciones y características de sismicidad, clima y ambiente propias de cada sitio. Hay que considerar que se puede desencadenar un

Tabla 24. Factores que determinan la estabilidad de los taludes en suelos.

Factores geomorfológicos	Factores internos	Factores ambientales
Topografía de los alrededores y geometría del talud.	Propiedades mecánicas de deformabilidad, resistencia y permeabilidad de los suelos constituyentes.	Climatología y régimen de precipitaciones pluviales normales y extraordinarias probables.
Distribución de la estratificación de los materiales térreos.	Estado de esfuerzos actuantes.	Geohidrología.
	Susceptibilidad de los minerales que constituyen los sedimentos no consolidados por experimentar cambios que se reflejen en el deterioro de las propiedades mecánicas de resistencia, deformabilidad y permeabilidad de los materiales térreos ante las acciones del intemperismo.	Hidrología de superficie.
	Perfil de meteorización en el caso de laderas naturales donde la roca basal es de tipo: ígneo y metamórfico.	

Figura 51



Diagramas de bloque que muestran tres de los tipos de falla más comunes de deslizamiento de laderas: (a) caído; (b) deslizamiento; (c) flujo.

problema de inestabilidad, sobre todo por el deterioro de las características de resistencia y estabilidad de las formaciones geológicas, al paso del tiempo, o por modificaciones al medio ambiente natural por la acción humana.

Ante el alto nivel de peligro que representa para la población la problemática de inestabilidad de laderas naturales, se preparó el mapa de zonificación correspondiente (figura 52), tomando en cuenta las características de las diferentes provincias fisiográficas, la geomorfología, los estudios sobre los diferentes climas en todo el país, así como las condiciones ambientales que propician en distintos grados, el intemperismo de las formaciones geológicas involucradas, la edafología y la distribución de vertientes, ríos y cuencas hidrológicas. Se dio especial atención a las condiciones geológicas y a la precipitación pluvial. En busca de la identificación de las zonas de mayor peligro se superpuso toda la información mencionada, analizando la proble-

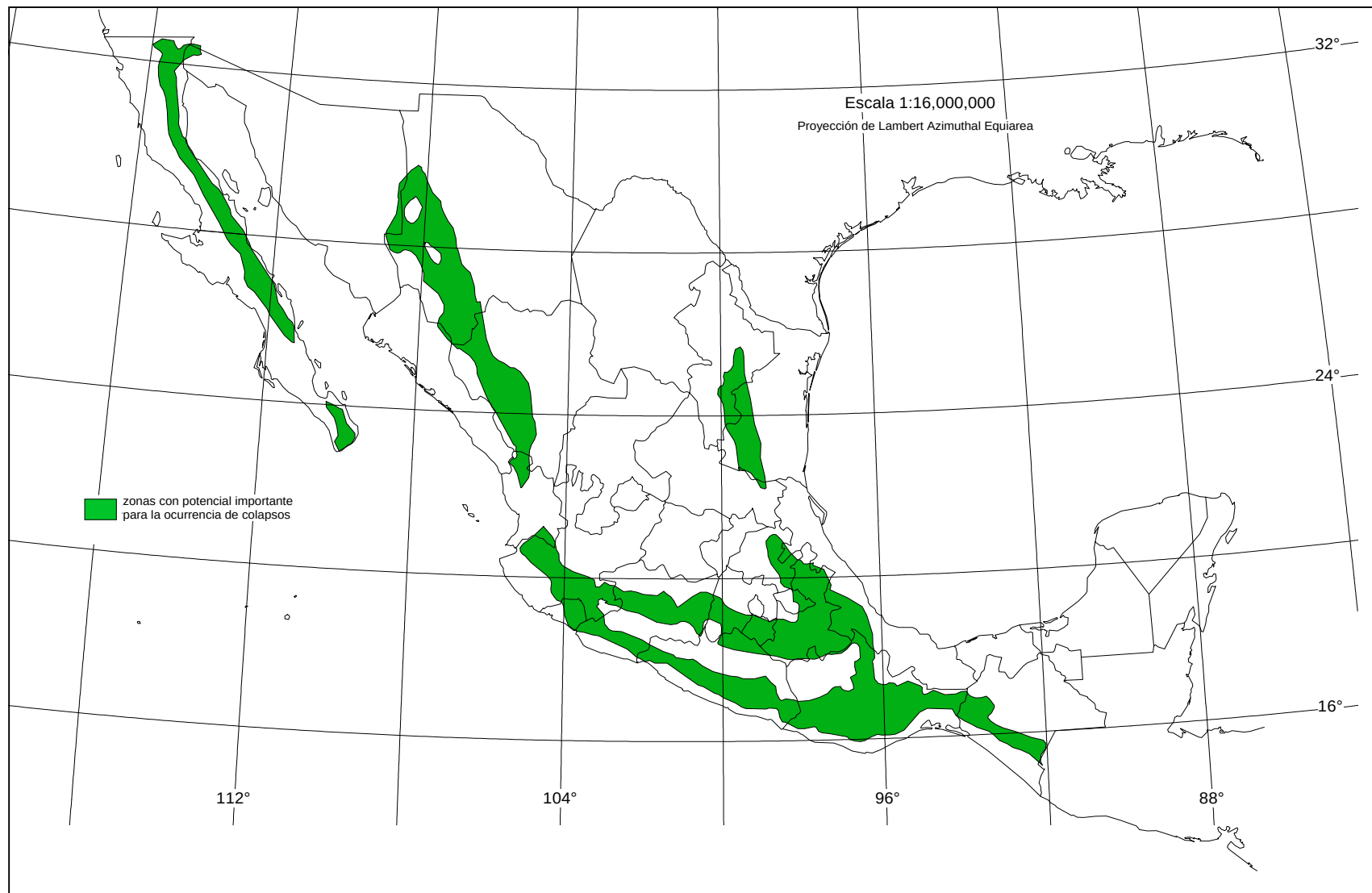
mática tanto por ausencia como por presencia de agua.

Es importante tener presente que este mapa de zonificación del peligro por inestabilidad de laderas muestra únicamente la localización general de las áreas con mayor peligro, de acuerdo con la información descrita. Sin embargo, no se debe soslayar el hecho de que cada sitio donde la superficie del terreno natural está inclinada, deberá ser objeto de un análisis particular, revisando cada uno de los factores que aquí se han mencionado como detonadores de los problemas de inestabilidad de laderas, dado que es común que se lleguen a presentar problemas de inestabilidad en forma aislada, sobre todo en lugares donde se efectúan cortes y terrazas para la construcción de viviendas, sin los estudios y la planeación adecuados. A este mapa se le deberá ir agregando cada uno de los sitios que en el futuro se vayan detectando como peligrosos, con base en estudios a escala local, específica y detallada.

Tabla 25. Tipo de movimiento y tipo de material involucrado.

Tipo de movimiento		Tipo de material		
		Roca basal	Sedimentos no consolidados predominantemente	
			Gruesos	Finos
Caídos		Caída de rocas	Flujo de escombros	Caída de suelo
Volcadura		Volcadura de rocas	Volcadura de escombros	Volcadura de bloques de suelo
Deslizamientos rotacional	Material escaso	Desprendimiento de rocas	Desprendimiento de escombros	Desprendimiento de bloques de suelo
Deslizamientos traslacional	Material abundante	Deslizamiento de bloques de roca Deslizamiento de rocas	Deslizamiento de bloques de escombros Deslizamiento de escombros	Deslizamiento de bloques de suelo Deslizamiento de suelo
Diseminación por escurrimiento ladera abajo y lateral conforme avanza el material.		Diseminación de rocas	Diseminación de escombros	Diseminación de suelo
Flujos		Flujo de rocas (reptación profunda de terreno natural)	Flujo de escombros Reptación de suelos	Flujo de lodo
Complejo: Implica la combinación de dos o más de los tipos principales de movimiento.				

Figura 52. Inestabilidad de laderas naturales



Flujos de lodo y escombros

En la clasificación de los deslizamientos hay un grupo que se designa como *flujos*, mismos que se asocian normalmente a precipitaciones pluviales extraordinarias, con consecuencias altamente devastadoras.

Las condiciones climáticas extremas facilitan la desintegración rápida de rocas relativamente débiles como las lutitas. Por otra parte, las lluvias intensas y sostenidas actúan como un agente de transporte muy eficiente.

Normalmente, el mecanismo con el que se generan los flujos de lodo y escombros se inicia por la saturación súbita y sostenida de los sedimentos no consolidados que se encuentran en la parte alta de las zonas de terreno escarpado (donde la pendiente natural del terreno es más pronunciada), como pueden ser las cadenas de montañas o bien el cuerpo de un volcán. En este último caso, el problema, se ge-

nera porque en los flancos de los volcanes se encuentra acumulada ceniza o material piroclástico con escasa o nula cementación.

Al generarse la saturación del material térreo, éste incrementa notablemente su peso (con lo que aumentan las fuerzas que tienden a desestabilizar al cuerpo del talud); al mismo tiempo la presión interna que desarrolla el agua recién acumulada, además de la que escurre pendiente abajo desde las partes más altas, a través del interior de la misma masa de sedimentos, genera un abatimiento importante de la resistencia interna del material térreo.

Bajo estas circunstancias se presenta inevitablemente el colapso de grandes volúmenes de materiales, tales como limos, arcillas, arena, gravas y fragmentos de roca de diversos tamaños.

Figura 53



Colapso de la formación geológica (sujeta a la acción del intemperismo) que se localiza en la parte alta de la ciudad de Acapulco. El colapso de este material desencadenó una avalancha, misma que a su vez detonó la serie de flujos de lodo y escombros que ocurrieron a consecuencia de las lluvias extraordinarias del huracán Pauline el 9 de octubre de 1997.

De tal forma, el material colapsado cae a manera de avalancha, a gran velocidad, hasta llegar a una zona de terreno con menor pendiente, donde se presenta una reducción súbita de la velocidad del flujo, por lo que se depositan los fragmentos de material más pesado.

Normalmente al frente de la avalancha quedan depositados los trozos de roca de mayor tamaño, los que a su vez sirven de represa para que se depositen materiales de menor tamaño, en la dirección pendiente arriba, (ver figura 54).

En este punto de la trayectoria de la caída del material térreo proveniente de las partes más altas con mayor pendiente, se reduce notablemente la energía destructiva al disminuir notable y “momentáneamente” la velocidad de caída. En este sitio, el volumen de agua y material sólido ha alcanzado tal magnitud que solamente se depositan los fragmentos más grandes de roca, mientras que el resto de los sólidos y el agua continúan su carrera pendiente abajo, con la energía destructiva suficiente para socavar y arrastrar gran parte de los sedimentos (incluyendo grandes fragmentos de roca) que conforman el lecho de las cañadas por las que escurre el flujo. Bajo estas condiciones, el volumen de los sólidos involucrados en el flujo tiende a incrementarse. Además, el flujo destruye y arrastra todo tipo de objetos y construcciones que va encontrando a lo largo de su trayectoria, dejando muerte y desolación a su paso (ver figura 55).

Ante el alto potencial destructivo de los flujos se elaboró el mapa de zonificación de peligro (figura 56), tomando en cuenta las características geomorfológicas, geológicas y de mayor probabilidad de incidencia de precipitaciones pluviales que pudieran detonar un flujo de lodo y/o escombros. Además, se tomaron en cuenta las condiciones climatológicas y ambientales que pueden originar una fuente de intemperización de las formaciones geológicas.

Es importante mencionar que el mapa de riesgo de ocurrencia de flujos de lodo y/o es-

Figura 54



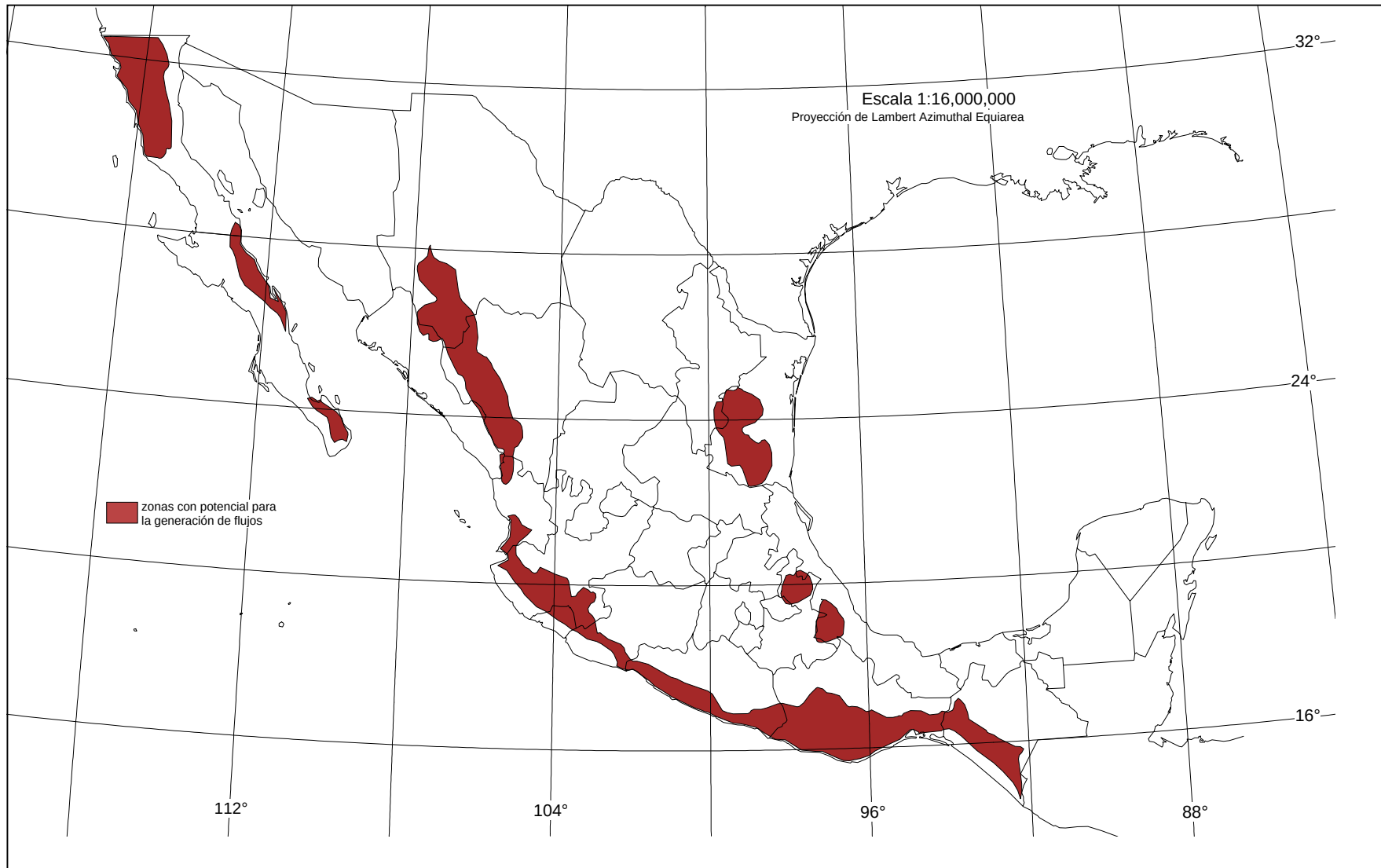
Zona donde se localizó el pie de la avalancha referida en la fotografía anterior. Este es uno de los sitios donde se inició el flujo de lodo y escombros que afectó a la ciudad de Acapulco durante el huracán Pauline.

Figura 55



Estragos causados por la socavación que se generó al paso de los flujos de lodo y escombros en la ciudad de Acapulco, durante el huracán Pauline.

Figura 56. Flujos de lodo y escombros por lluvia



combro debe considerarse de carácter general. No debe descartarse la posibilidad de que exista alguna zona con riesgo muy localizado que pudiera haber quedado fuera de las áreas marcadas como de alto riesgo.

En principio, para utilizar este mapa en forma segura, se deberá considerar cada zona poblada que se encuentre en las faldas o en la base de montañas o volcanes. En estos casos será indispensable elaborar los estudios locales que permitan identificar claramente aquellas poblaciones que se encuentran ubicadas en la

trayectoria de los escurrimientos, y en cuya parte alta exista material sólido que pueda ser saturado, colapsado y finalmente arrastrado por los escurrimientos del agua de lluvia o producto de la fusión de algún glaciar.

En la tabla 26 se presentan varios eventos ocurridos en el siglo XX; algunos de ellos causaron daños económicos y pérdidas humanas importantes para la época en que se produjeron. Un caso muy claro es el del huracán Pauline cuando pasó por los estados de Guerrero y Oaxaca.

Tabla 26. Reseña histórica de los principales flujos de lodo registrados en México.

No	Fecha	Estado	Municipio	Descripción
1	15/ene/20	Veracruz	Cosautlán	3000 muertos por flujo de lodos.
2	27/sep/90	Chihuahua	Chihuahua	15 derrumbes provocó la tromba , 45 muertos, 200 desaparecidos y 5000 damnificados.
3	10/sep/90	D.F.	Anillo Periférico	Inundaciones, flujo de lodos y deslaves, decenas de vehículos provenientes de la zona montañosa, las aguas traían tierra y piedras que azolvaban el drenaje.
4	8/mar/93	B.C.S., Sim.	Cabo San Lucas	Las lluvias registradas provocaron deslaves y derrumbes e inundaciones en carreteras. En Cabo San Lucas, una unidad habitacional fue sepultada por lodo .
5	7/ene/93	B.C.	Tijuana	Durante el paso de las avenidas, el agua alcanzó hasta 4 m de altura, en 2.5 h. La lluvia acumulada en 24 h fue de 86.90 mm, correspondiente a un período de retorno de 50 años.
6	9,10/nov/97	Guerrero	Acapulco	El huracán Pauline generó lluvias que causaron flujo de lodos. Las aguas arrastraban cualquier cosa a su paso, ocasionando inundaciones.
7	9/sep/97	Jalisco	Lago de Chapala	Tromba en la ribera Norte del Lago ; el fenómeno natural trajo consigo un arrastre de piedras y lodo.
8	10/ene/97	B.C.	Tijuana	El volumen arrastrado por la avenida, en la cuenca “aguaje de la Tuna”, fue de 38000 m ³ . La profundidad del agua fue de 1.5 m y la inundación duró 2 h.
9	9/sep/98	Chiapas	Motozintla, Villa Comaltitlán, Pijijiapan, Valdivia	Desbordamiento de los ríos Huixtla y Pijijiapan. Avalanchas de lodo a causa de las fuertes lluvias arrastrando todo a su paso.
10	25/feb/98	B.C.	Tijuana	Dos muertos deja la sexta tormenta provocada por el fenómeno de El Niño; la lluvia provocó derrumbes de piedras y lodo, ocasionando el cierre de la autopista Tecate-La Rumorosa.
11	05/06/99	Puebla Veracruz	Teziutlán	Lluvias torrenciales ocasionan fuertes deslaves en la zona norte de Puebla y Veracruz, los daños más severos en Teziutlán. Aproximadamente 300 muertos en las diferentes regiones .

Para identificar directamente en campo aquellas zonas con potencial para que se presenten movimientos de la superficie del terreno natural o bien donde existe evidencia de deslizamientos antiguos que podrían reactivarse, en la tabla 27 se incluyen algunos de los aspectos principales que conviene analizar para cada sitio en particular.

En esta tabla se describen los tipos de movimiento y los materiales térreos que normalmente se encuentran asociados con ellos.

Además, se presentan los rasgos del terreno natural que deberán observarse para identificar y clasificar cada problema, en cada sitio en particular, refiriéndose tanto a los materiales que rodean a un deslizamiento, como aquellos que se encuentran involucrados directamente en el volumen del terreno con movimiento franco o incipiente.

En la figura 57 se presenta de manera gráfica la nomenclatura necesaria para interpretar y aplicar la tabla 19.

Figura 57. Nomenclatura de un deslizamiento

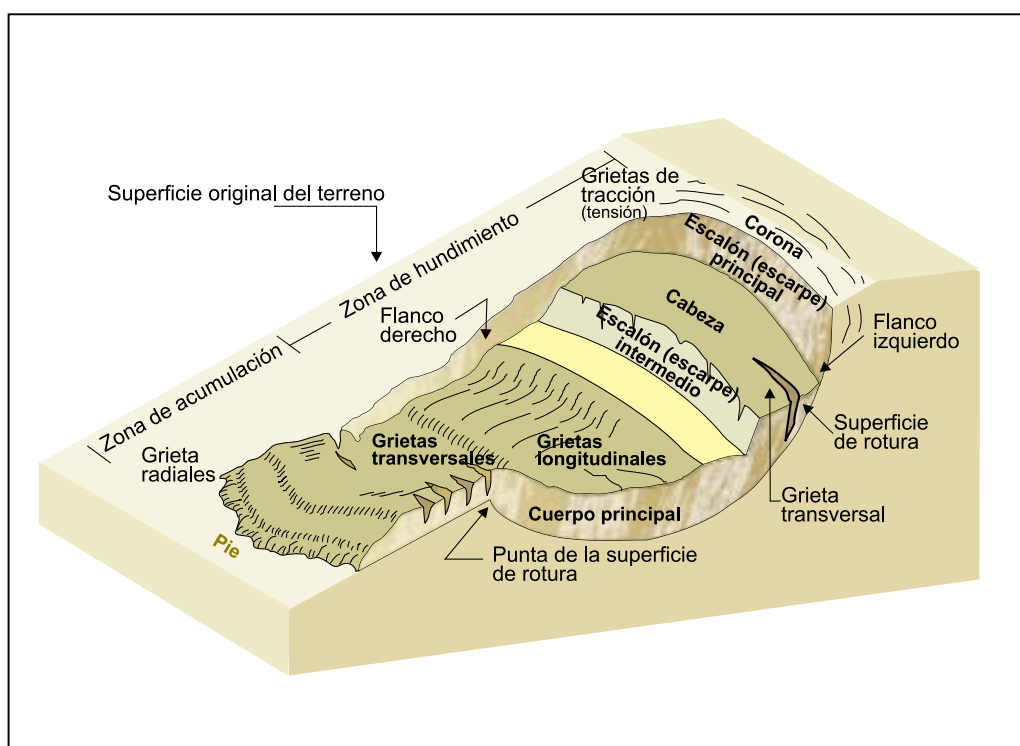


Tabla 27. Rasgos que sirven para identificar deslizamientos activos o recientemente activos y flujos.

Tipo de movimiento	Partes estables que rodean al deslizamiento			Partes que se han movido (unas horas después de que ocurrió el evento)			
	Corona o iniciación de la zona fallada	Talud principal (detrás de la zona fallada)	Flancos	Cabeza	Cuerpo	Base	Pie
C A Í D O S Y D E R R U M B E S							
1) Rocas	Roca suelta, grietas probables detrás de la línea de falla, aspecto irregular caracterizado por sistemas de juntas.	Normalmente casi vertical, irregular, liso, roca de aspecto fresco. Rocaunteada.	En general filos de roca limpios.	Generalmente no está bien definida. El material caído forma un montón de rocas cerca del escarpio.	Superficie irregular con fragmentos de roca. Si es muy grande y si tiene árboles o materiales de colores contrastantes, el material puede indicar dirección del movimiento radial desde el escarpio. Puede contener depresiones.	La base comúnmente enterrada. Si está visible presenta generalmente las razones de la falla, tales como roca subyacente débil o estratos socavados por el agua.	Si el caído es pequeño tiene un talud irregular de detritos. Si la caída de rocas es grande el pie puede tener un contorno redondo.
2) Suelos (Derrumbes)	Grietas detrás de la línea de falla.	Casi vertical. Suelo húmedo. Superficialmente muy agrietado.	Con frecuencia casi verticales.	Generalmente no está bien definida. El material caído forma un montón de roca cerca del escarpio.	Irregular	Como el de arriba.	Irregular.
D E S L I Z A M I E N T O S							
1) Circular (Suelo)	Numerosas grietas, la mayoría de ellas cóncavas hacia el deslizamiento.	Inclinado, limpio, cóncavo hacia el deslizamiento, comúnmente alto. Puede presentar estrías y zanjas en la superficie, que van de la corona a la cabeza. La parte superior del talud tras la falla puede ser vertical.	Las estrías en los flancos del escarpio tienen grandes componentes verticales cerca de la cabeza y notables componentes horizontales cerca de la base. La altura de los flancos decrece hacia la base. El flanco del deslizamiento puede ser más alto que las superficies originales del terreno entre la base y el pie. Grietas de escalón rodean al desplazamiento en las primeras etapas.	La parte superior del material fallado conserva partes del terreno natural antes de fallar. Se producen encharcamientos al pie del talud principal. Toda la cabeza de la falla está surcada por grietas y los árboles en la zona caída apuntan cerro arriba.	La parte del subsuelo que se mueve se rompe y disgrega. Grietas longitudinales, bufamiento. Generalmente se desarrollan encharcamientos justo arriba de la base.	Normalmente se desarrollan bufamientos transversales y grietas sobre la base. Zonas de levantamiento, ausencia de bloques individuales grandes. Los árboles inclinados cuesta abajo.	Con frecuencia una zona de flujo de tierra con forma lobulada, material rodado encima y enterrado. Los árboles están tendidos o en varios ángulos mezclados entre el material del pie.
2) Traslacional (Roca)	Las grietas tienden a seguir las fracturas en la roca original.	Como en el de arriba.	Como en el de arriba.	Como en el de arriba.	Como en el de arriba, pero el material no se rompe ni se deforma plásticamente.	Como en el de arriba.	Poco o ningún flujo de tierra. El pie con frecuencia es casi recto y cercano a la base. Puede tener un frente abrupto.
3) Traslacional (Roca o suelo)	La mayoría de las grietas son casi verticales y tienden a seguir el contorno del talud.	Casi vertical en la parte superior; en la parte inferior casi plano y con transición gradual.	Los flancos laterales muy bajos, grietas verticales. Las grietas generalmente divergen cuesta abajo.	Relativamente inalterada. No hay rotación.	Compuesto generalmente de una o varias unidades inalteradas excepto por grietas de tensión. Las grietas presentan poco o ningún desplazamiento vertical.	Ni base, ni zona de levantamiento.	Deslizante sobre la superficie del terreno.

Tabla 27 (continuación). Rasgos que sirven para identificar deslizamientos activos o recientemente activos y flujos.

Tipo de material	Partes estables que rodean al deslizamiento			Partes que se han movido (unas horas después de que ocurrió el evento)			
	Corona o iniciación de la zona fallada	Talud principal (detrás de la zona fallada)	Flancos	Cabeza	Cuerpo	Base	Pie
D E S L I Z A M I E N T O S							
4) Roca	Roca suelta, grietas entre los bloques.	Generalmente escalonado de acuerdo con el espaciamiento de juntas o planos de estratificación. Superficie irregular en la parte superior y ligeramente inclinada en la parte baja; puede ser casi plana o compuesta de derrames de rocas.	Irregular.	Muchos bloques de roca.	Superficie rugosa con muchos bloques. Algunos bloques pueden estar en su posición original, pero más bajas si el movimiento fue de traslación lenta.	Generalmente no hay una verdadera base.	Acumulación de fragmentos de roca.
F L U J O D E M A T E R I A L S E C O							
1) Fragmentos de roca.	Igual que en la caída de rocas.	Igual que en la caída de rocas.	Igual que en la caída de rocas.	No hay cabeza.	Superficie irregular de fragmentos de roca mezclados, derramados hacia abajo en forma de abanico. Muestra valles y lomas transversales lobuladas.	No hay base.	Compuesta de lenguas. Puede deslizarse siguiendo líneas de cauce natural.
2) Arena (Suelo).	No hay grietas.	Forma de embudo cuando alcanza su posición de reposo (en equilibrio).	Desarrollados en una curva continua a partir de la corona.	Generalmente sin cabeza.	Montículo cónico de arena igual en volumen a la parte vaciada de la cabeza.	No hay base.	No hay pie o éste es un amplio abanico poco perceptible.
F L U J O D E M A T E R I A L S A T U R A D O D E A G U A							
1) Lodos, donde existe más agua que material sólido.	Pocas grietas.	La parte superior en forma dentada o de V, larga y angosta, lisa y comúnmente estriada.	Inclinados, irregulares en la parte superior. Amontonamiento de material en la parte inferior de los flancos.	Puede no haber cabeza.	Corrientes de agua con material sólido, a manera de concreto fresco, antes de colar. Líneas de flujo. Sigue las líneas de drenaje y puede tener cambios de dirección pronunciados. Muy largo comparado con el ancho.	Ausencia de base o enterrada en los detritos.	Extendido lateralmente en lóbulos. Cuando el pie se seca puede tener un escalón frontal de escasa altura.
2) Tierra, con menor cantidad de agua que el anterior.	Puede haber algunas grietas.	Cóncavo hacia el deslizamiento. En algunos casos es casi circular. El deslizamiento ocurre a través de un estrechamiento.	Curvos, lados empinados.	Consiste comúnmente en un bloque hundido.	Roto en muchos pedazos pequeños. Húmedo, muestra la estructura del flujo.	No hay base.	Extendido en lóbulos.
3) Arena o limo.	Pocas grietas.	Inclinado, cóncavo hacia el deslizamiento, puede haber variedades de formas en el contorno (casi recta, tendencia a arco circular o forma de botella).	Frecuentemente los flancos convergen en la dirección del movimiento.	Generalmente bajo el agua.	El cuerpo se extiende como fluido.	No hay base.	Extendido en lóbulos.

Hundimientos regionales y locales, acompañados por agrietamiento del terreno natural

En regiones donde se efectúa extracción de agua subterránea mediante bombeo profundo, es común observar hundimientos de la superficie natural del terreno; tal es el caso de la Ciudad de México.

Con el fin de garantizar la integridad de los habitantes, en sus personas y en sus bienes, es importante tomar en cuenta los problemas de subsidencia regional que ocasiona la extracción de agua subterránea, por efectos del abatimiento del nivel de agua freática. En lugares donde se encuentra abatido el nivel del agua subterránea, y las formaciones geológicas superficiales las constituyen sedimentos no consolidados y compresibles, es común que se desarrollen grietas en la superficie del terreno natural, las que se propagan a cierta profundidad en el subsuelo, (ver la figura 58), con el consecuente daño que sufren las construcciones de cualquier tipo y el peligro que esto implica para sus ocupantes.

En tales casos, antes de construir cualquier estructura de cimentación, resulta necesario efectuar un tratamiento de estas grietas para restablecer la continuidad del terreno en la superficie, pero no sin antes buscar la solución del problema en su origen, mediante la racionalización de la extracción del agua subterránea.

Comúnmente, las estructuras de cimentación de las construcciones en general y las obras para servicio y abastecimiento se ven afectadas cuando se abate la superficie del agua subterránea y se induce en consecuencia un encogimiento de los sedimentos no consolidados

compresibles (mientras más compresibles sean los sedimentos, mayor será el efecto de hundimiento regional y el agrietamiento de la superficie del terreno natural).

Concretamente, la magnitud del encogimiento o reducción volumétrica de los sedimentos no consolidados depende directamente de dos factores:

1. **Las características de compresibilidad de los suelos.** Como se mencionó, mientras más compresible sea el suelo, los efectos de subsidencia regional serán de mayor magnitud,

Figura 58



Agrietamiento de la superficie del terreno natural, como consecuencia de los hundimientos diferenciales que produce la sobreexplotación de acuíferos.

y el problema de agrietamiento de la superficie del suelo más crítico.

2. Intensidad de la extracción del agua subterránea. Mientras mayor sea el volumen de agua que se extrae del subsuelo, los estragos de la compresión volumétrica serán de mayor proporción, llegando a manifestarse no solamente por el hundimiento del terreno, sino por desplazamientos relativos en el sentido horizontal, que originan la formación de grietas de tensión de manera alarmante y peligrosa para los habitantes.

En México existe la experiencia relacionada con esta problemática en ciudades como Aguascalientes y Celaya, y en algunas partes de la zona oriente de la Ciudad de México. El problema repercute directamente en la estabilidad de las construcciones y pone en peligro la integridad de sus ocupantes y sus bienes, además de que ha quedado plenamente comprobado que el hundimiento regional delimita una zona de terreno natural que desciende con respecto a su nivel original y que los efectos más devastadores se presentan en las orillas del mismo, donde normalmente se presentan agrietamientos y escalonamientos de la superficie del suelo. Es en esta zona donde se generan los daños más severos a las construcciones y a las obras de servicio como drenaje, abastecimiento de agua potable y electrificación.

Por ejemplo, las construcciones fabricadas a base de mampostería, han demostrado ser altamente vulnerables a los hundimientos diferenciales del subsuelo, dado que sufren agrietamientos en los muros y pueden llegar a presentarse fracturas francas en los elementos de concreto reforzado, con lo que se generan daños estructurales en distintos grados que resultan irreversibles, sobre todo, mientras no se logre controlar la subsidencia del terreno natural en una zona afectada, mediante la sus-

pensión total y definitiva del bombeo de agua subterránea y la recuperación de los niveles piezométricos afectados por el mismo.

Dentro de la problemática que nos ocupa, sistemáticamente se presentan grandes desplazamientos verticales y horizontales diferenciales de la superficie original del terreno, mismos que producen los daños mencionados, afectando además a las obras de servicios públicos como sistemas de drenaje, calles, vías férreas y caminos en general.

Para detectar este problema se deberá tener presente que normalmente, cuando se inician los movimientos del terreno, en las construcciones se empiezan a manifestar fisuras pequeñas en muros, techos y cualquier elemento estructural sin excepción. Generalmente, el deterioro de las obras progresa al ritmo en que evolucionan los movimientos diferenciales del subsuelo, pudiendo llegar hasta el colapso total, si no se identifica claramente y se elimina totalmente la causa de los desplazamientos del terreno.

Con la experiencia acumulada en México, en lo que se refiere a este tipo de desastre resalta la importancia de contar con un inventario que se actualice en forma continua, en cuanto a las áreas del país que presentan esta problemática. Lo anterior podría permitir diseñar los planes de uso del agua más adecuados en busca de la mitigación de esta clase de riesgo geológico, ver la figura 59).

Normalmente en la periferia de las zonas donde se presenta el problema de hundimientos diferenciales, al sumarse los efectos de los desplazamientos verticales y horizontales, la superficie del terreno natural tiende a agrietarse. A estas aberturas de la superficie del suelo se les conoce como **grietas de tensión**. Bajo estas circunstancias, es frecuente que las

Figura 59.



Muestra de los daños estructurales irreversibles que se originan por los hundimientos diferenciales causados por la extracción de agua subterránea.

grietas de tensión aparezcan donde además existe un contacto o frontera entre dos o más formaciones geológicas distintas. Como se mencionó, un ejemplo de este tipo de problema se encuentra en una parte de la zona oriente de la Ciudad de México, que corresponde a la frontera entre los sedimentos de origen lacustre y algunos cerros como el de El Peñón y el de la Estrella.

Ante el alto nivel de peligro que representa para la población la problemática de hundimientos regionales diferenciales y agrietamiento de la superficie del terreno natural, aquí se incluye un mapa de zonificación que se elaboró mediante la superposición de la información referente a las características de las diferentes provincias fisiográficas, la geomorfología, el estudio sobre los diferentes climas existentes en todo el país, así como la localización de las condiciones ambientales que propician la necesidad de extraer agua del subsuelo para consumo humano, agrícola e industrial, identificando las distintas formaciones geológicas involucradas, la edafología, la distribución de vertientes, ríos y cuencas hidrológicas, dando

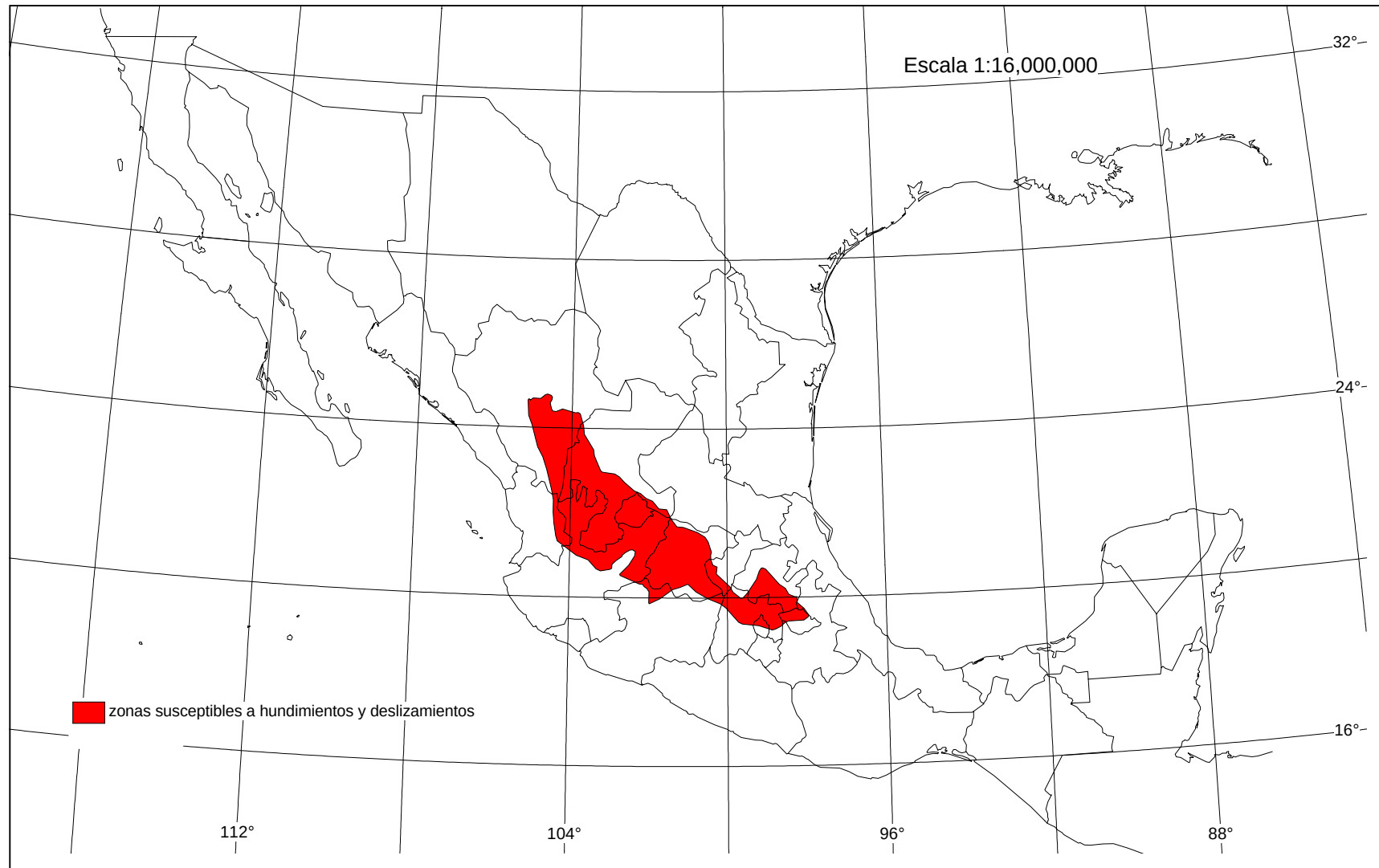
especial atención a las condiciones geológicas y a los datos de precipitación pluvial, mediante el estudio de isoyetas, (figura 60).

Sin embargo, es importante tener presente que este mapa se deberá tomar exclusivamente como una guía inicial para la atención de la problemática a nivel nacional, siendo indispensable elaborar una revisión más detallada por parte de las autoridades correspondientes de cada localidad, en busca de la identificación precisa de este tipo de peligro geológico.

En lo que se refiere a hundimientos locales de la superficie del terreno natural, desafortunadamente éstos se presentan generalmente como hundimientos súbitos o colapsos originados por el derrumbe de minas antiguas que se localizan a poca profundidad y que normalmente no se encuentran ubicadas con precisión y confiabilidad.

Frecuentemente, la mancha urbana se extiende en zonas donde existe o existió algún tipo de actividad minera, con túneles y

Figura 60. Hundimientos regionales y agrietamientos por sobreexplotación de acuíferos



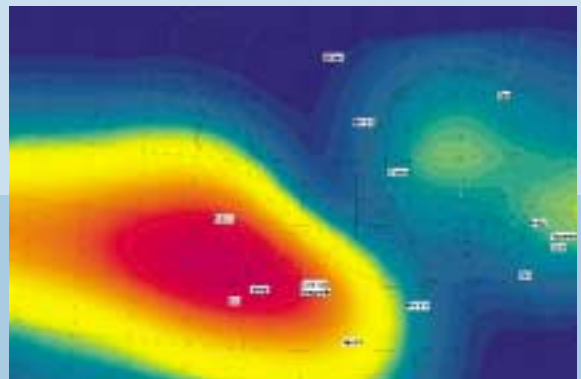
oquedales producto de dicha actividad, misma que puede ser reciente o aun tan antigua que pueda datar de la época colonial. Este problema requiere un tratamiento especial y específico para cada localidad, dado que normalmente resulta difícil e imprecisa la determinación de la topografía subterránea. Para delimitar las zonas de riesgo, cada sitio requiere una atención especial y directa. Se requiere una

investigación detallada de los registros de la actividad minera tanto histórica como reciente. Frecuentemente esta información no está disponible o resulta imprecisa por lo que en la mayoría de los casos es indispensable recurrir a métodos de exploración geofísica. Para atender a esta problemática resalta la necesidad de desarrollar acciones directas de carácter local que no es posible cubrir en un texto general como éste.



RIESGOS HIDROMETEOROLÓGICOS

3



INTRODUCCIÓN

México es afectado por varios tipos de fenómenos hidrometeorológicos que pueden provocar la pérdida de vidas humanas o daños materiales de importancia. Principalmente está expuesto a lluvias, granizadas, nevadas, heladas y sequías.

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, 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.

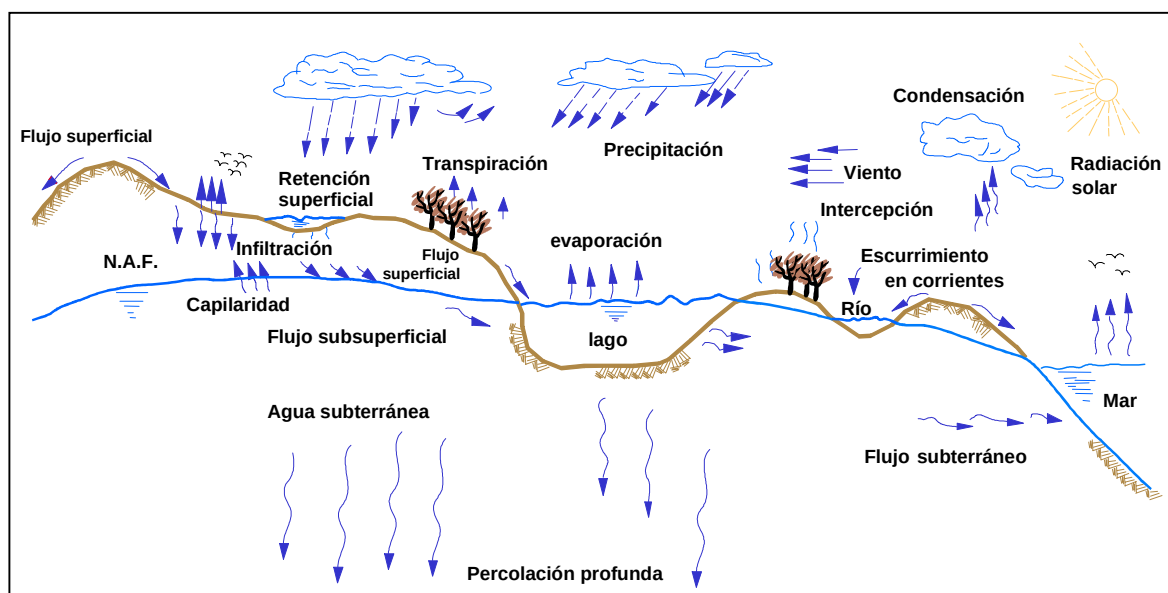
Las **granizadas** producen afectaciones en las zonas de cultivo, obstrucciones del drenaje y daños a estructuras en las zonas urbanas. Las **sequías** provocan fuertes pérdidas económicas a la ganadería y la agricultura en periodos de meses o años.

Pese a que no es grande la zona de México expuesta a **nevadas**, el frío es causa de muertes en los sectores de la población de bajos recursos económicos.

El conocimiento de los principales aspectos de los fenómenos hidrometeorológicos, la difusión de la cultura de Protección Civil en la población y la aplicación de las medidas de prevención de desastres pueden contribuir de manera importante en la reducción de los daños ante esta clase de fenómenos.

A continuación, se describen sucintamente los principales fenómenos hidrometeorológicos que se presentan en el país, sus consecuencias y los riesgos que generan en distintas partes del territorio nacional.

Figura 61. Ciclo hidrológico.



PRECIPITACIÓN PLUVIAL

La precipitación pluvial se refiere a cualquier forma de agua, sólida o líquida, que cae de la atmósfera y alcanza a la superficie de la Tierra.

La precipitación puede manifestarse como lluvia, llovizna, nieve, granizo o cellisca. 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 nieve está compuesta de cristales de hielo que comúnmente se unen para formar copos.

Por otra parte, el granizo está constituido por cuerpos esféricos, cónicos o irregulares de hielo con un tamaño que varía de 5 a más de 125 mm; la cellisca está formada por granos sólidos de agua cuando se congela al atravesar una capa de aire con temperatura cercana a los 0° C.

La humedad siempre está presente en la atmósfera, aun 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. En la figura 61 se muestran los principales procesos que sigue el agua en tierra y en la atmósfera.

Tipos de precipitación

La precipitación lleva el nombre del factor que causó el ascenso del aire húmedo, mismo que se enfría conforme se alcanza mayores alturas. La **lluvia ciclónica** es resultado del levantamiento de aire por una baja de presión atmosférica. La **lluvia de frente cálido** se forma por la subida de una masa de aire caliente por encima de una de aire frío. La **orográfica**, se da cuando las montañas desvían hacia arriba el viento, sobre todo aquel proveniente del mar. Del mismo modo, la **convectiva** se forma con aire cálido que ascendió por ser más liviano que el aire frío que existe en sus alrededores. Esta última se presenta en áreas relativamente pequeñas, generalmente en zonas urbanas.

Distribución de la lluvia en México

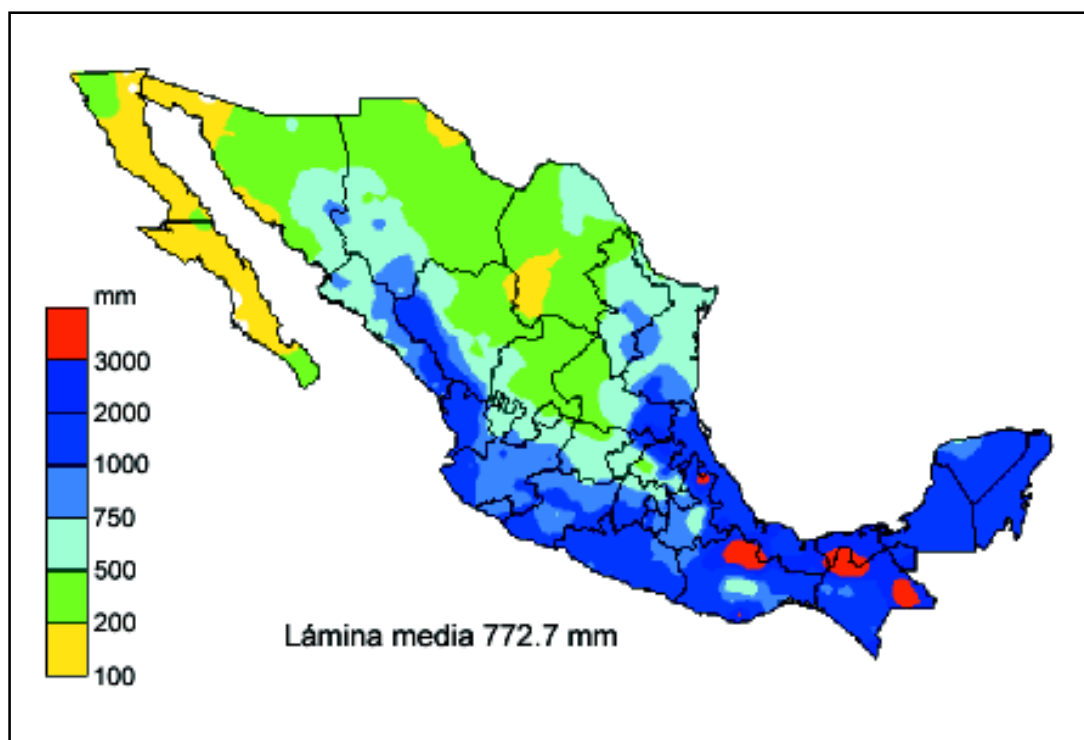
La distribución de la lluvia en la República Mexicana se muestra en la figura 62, y en las tablas 28 y 29 se consignan algunos valores. En ellas, se establecen las precipitaciones máxi-

mas en 24 horas y la precipitación media mensual, en las capitales de los estados de la República Mexicana, respectivamente. También se observan las precipitaciones máximas en 24 horas en la figura 63.

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 62).

Otro fenómeno que provoca precipitaciones de importancia sobre todo en la región noroeste de la República Mexicana, es el desplazamiento de frentes fríos que provienen de las zonas polares, que forman las llamadas **tormentas de invierno o equipatas**. En la figura 64 se muestran los estados del país que han sufrido mayores daños por esta clase de tormentas. En la tabla 30 aparecen los principales daños ocasionados por lluvias de invierno. Esta información se basó en notas periodísticas nacionales y estatales

Figura 62. Zonificación de la precipitación media anual



Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

Figura 63. Precipitación máxima en 24 horas

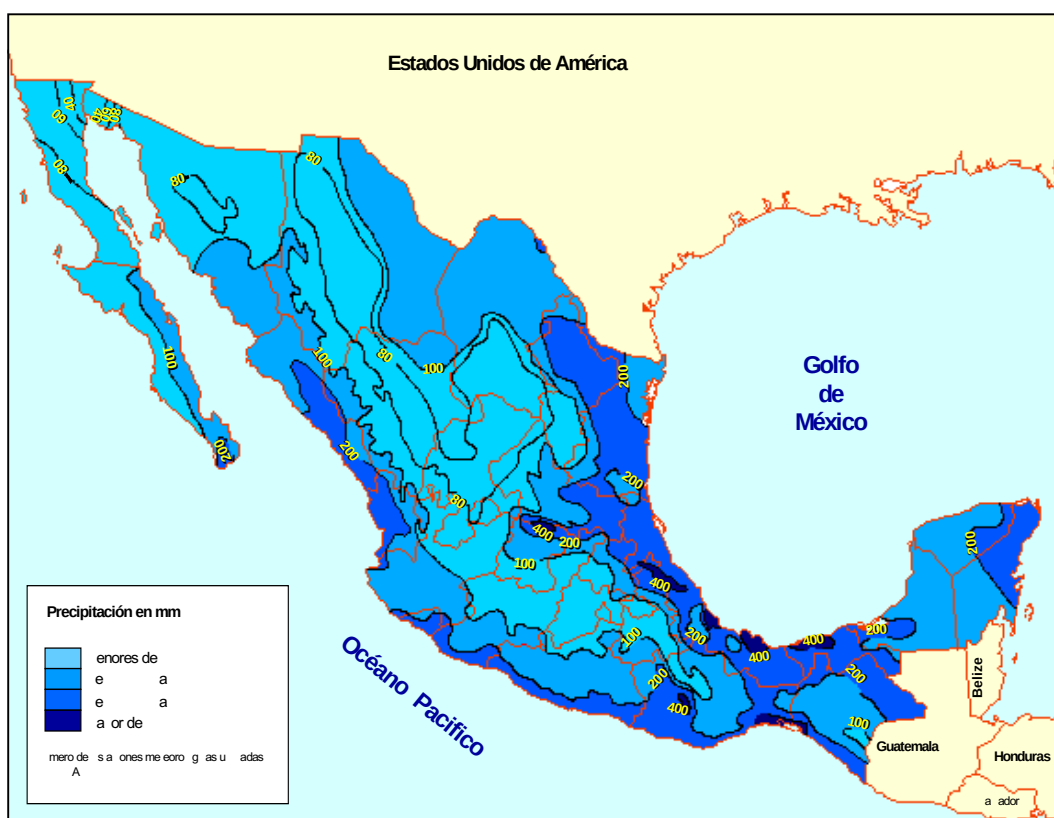


Figura 64. Estados afectados por las lluvias de invierno

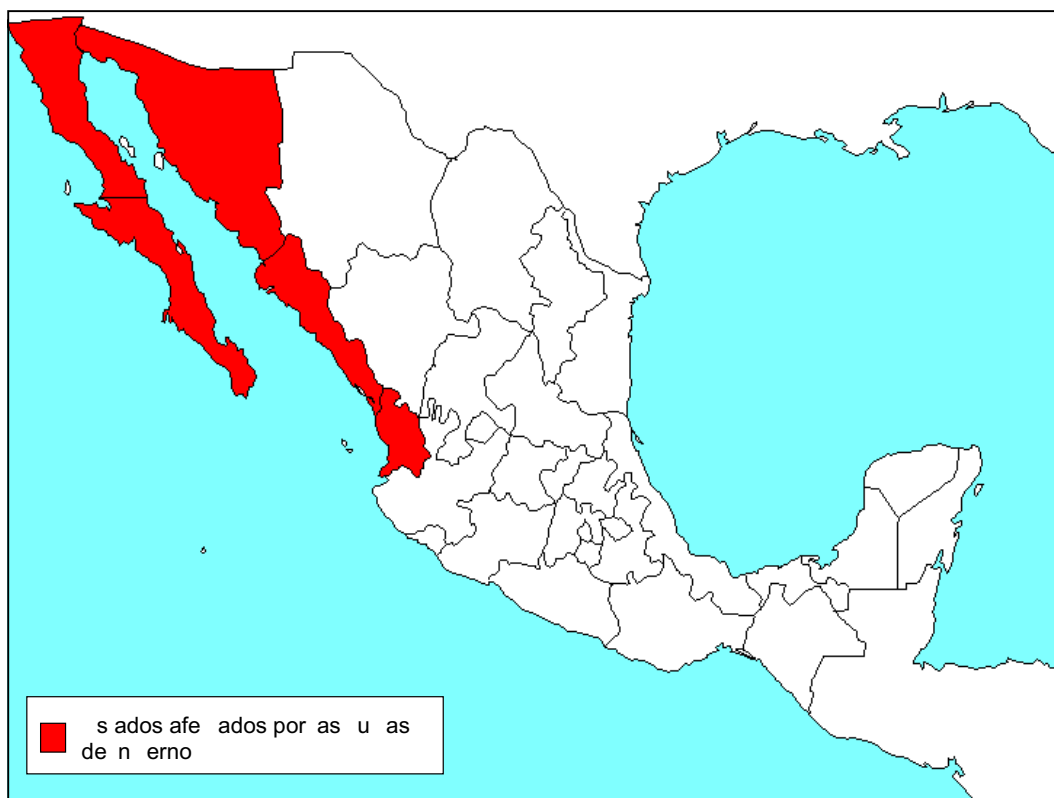


Tabla 28. Precipitación máxima en 24 horas. (Periodo 1941- 1997)

No.	Estado	Localidad	mm	No.	Estado	Localidad	mm
1	Aguascalientes	Aguascalientes	85	64	Distrito Federal	Miguel Hidalgo	90
2	Aguascalientes	Jesús María	85	65	Distrito Federal	Milpa Alta	90
3	Baja California	Ensenada	70	66	Distrito Federal	Tláhuac	90
4	Baja California	Mexicali	40	67	Distrito Federal	Tlalpan	90
5	Baja California	Tecate	70	68	Distrito Federal	Venustiano Carranza	90
6	Baja California	Tijuana	70	69	Distrito Federal	Xochimilco	90
7	Baja California Sur	Cabo San Lucas	200	70	Durango	Durango	80
8	Baja California Sur	La Paz	110	71	Durango	Gómez Palacios	85
9	Baja California Sur	San José del Cabo	632	72	Durango	Lerdo (Ciudad Lerdo)	90
10	Baja California Sur	Santa Rosalia	90	73	Guanajuato	Celaya	100
11	Campeche	Campeche	150	74	Guanajuato	Guanajuato	150
12	Campeche	Cd. del Carmen	300	75	Guanajuato	Huanimaro	100
13	Campeche	Champotón	150	76	Guanajuato	Irapuato	100
14	Coahuila	Acuña (Ciudad Acuña)	180	77	Guanajuato	Jaral del Progreso	100
15	Coahuila	Arteaga	80	78	Guanajuato	León	120
16	Coahuila	Frontera (Cd. Frontera)	150	79	Guanajuato	Moroleón	90
17	Coahuila	Monclova	150	80	Guanajuato	Pénjamo	80
18	Coahuila	Piedras Negras	190	81	Guanajuato	Salamanca	100
19	Coahuila	Ramos Arizpe	80	82	Guanajuato	San Miguel de Allende	120
20	Coahuila	Saltillo	80	83	Guanajuato	Uriangato	90
21	Coahuila	Torreón	80	84	Guanajuato	Valle de Santiago	90
22	Coahuila	Matamoros	80	85	Guanajuato	Comonfort	95
23	Coahuila	Viesca	80	86	Guanajuato	San Francisco del Rincón	100
24	Colima	Colima	200	87	Guerrero	Acapulco de Juárez	411
25	Colima	Manzanillo	200	88	Guerrero	Chilpancingo de los Bravos	160
26	Colima	Villa de Álvarez	200	89	Guerrero	Iguala de la Independencia	100
27	Chiapas	Comitan de Domínguez	150	90	Guerrero	Taxco de Alarcón	100
28	Chiapas	Pijijiapan	210	91	Guerrero	Zihuatanejo - Ixtapa (José Azueta)	200
29	Chiapas	San Cristóbal de las Casas	180	92	Guerrero	Quechultenango	150
30	Chiapas	Tapachula	300	93	Guerrero	Chilapa de Álvarez	150
31	Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	150	94	Guerrero	Coyuca de Catalán	150
32	Chiapas	Arriaga	180	95	Guerrero	Cutzamala de Pinzón	100
33	Chiapas	Tonalá	190	96	Guerrero	Arcelia	100
34	Chiapas	Mapastepec	250	97	Guerrero	Ajuchitlán del Progreso	230
35	Chiapas	Acapetagua	250	98	Guerrero	San Marcos	220
36	Chiapas	Acacoyagua	210	99	Hidalgo	Atitalaquia	100
37	Chiapas	Escuintla	210	100	Hidalgo	Atotonilco	100
38	Chiapas	Huixtla	210	101	Hidalgo	Mineral de la Reforma	150
39	Chiapas	Tuzatán	220	102	Hidalgo	Pachuca de Soto	150
40	Chiapas	Huehuetán	250	103	Hidalgo	Tepeji del Río de Ocampo	95
41	Chiapas	Mazatán	250	104	Hidalgo	Tlahuilpan	100
42	Chiapas	Motozintla de Mendoza	100	105	Hidalgo	Tlaxcoapan	100
43	Chiapas	Chiapa de Corzo	150	106	Hidalgo	Tula de Allende	100
44	Chiapas	Chicoasén	180	107	Hidalgo	Tulancingo de Bravo	180
45	Chiapas	El Bosque	190	108	Hidalgo	Zempoala	150
46	Chiapas	Siltepec	110	109	Hidalgo	Meztitlán	150
47	Chiapas	Unión Juárez	200	110	Jalisco	Guadalajara	110
48	Chiapas	Frontera Hidalgo	0	111	Jalisco	Guzmán (Ciudad Guzmán)	150
49	Chihuahua	Chihuahua	90	112	Jalisco	Lagos de Moreno	95
50	Chihuahua	Cuauhtémoc	80	113	Jalisco	Ocotlán	100
51	Chihuahua	Delicias	85	114	Jalisco	Puerto Vallarta	200
52	Chihuahua	Hidalgo del Parral	95	115	Jalisco	Tepatitlán	90
53	Chihuahua	Juárez (Ciudad Juárez)	100	116	Jalisco	Tala	100
54	Distrito Federal	Álvaro Obregón	90	117	Jalisco	Quitupán	90
55	Distrito Federal	Azacapatzalco	90	118	México	Atizapán	80
56	Distrito Federal	Benito Juárez	90	119	México	Atizapán de Zaragoza	80
57	Distrito Federal	Coyoacán	90	120	México	Chalco	100
58	Distrito Federal	Cuajimalpa de Morelos	90	121	México	Chimalhuacán	100
59	Distrito Federal	Cuahutémoc	90	122	México	Coacalco	100
60	Distrito Federal	Gustavo A. Madero	90				
61	Distrito Federal	Iztacalco	90				
62	Distrito Federal	Iztapalapa	90				
63	Distrito Federal	Magdalena Contreras	90				

No.	Estado	Localidad	mm
123	México	Cuautitlán	100
124	México	Ecatepec	100
125	México	Ixtapaluca	100
126	México	Izcalli	100
127	México	Los Reyes - La Paz	100
128	México	Lerma de Villada	95
129	México	Metepec	95
130	México	Naucalpan	100
131	México	Nezahualcóyotl	100
132	México	Nicolás Romero	100
133	México	Ocoyoacac	95
134	México	San Mateo Atenco	95
135	México	Texcoco	100
136	México	Tlalnepantla	100
137	México	Toluca	100
138	México	Valle de Bravo	90
139	México	Xonacatlán	90
140	México	Zinacantepec	90
141	México	Huixquilucan de Degollado	90
142	México	Temoaya	90
143	México	Ixtlahuaca de Rayón	90
144	Michoacán	Apatzingán	100
145	Michoacán	Jacona	90
146	Michoacán	Lázaro Cárdenas	200
147	Michoacán	Morelia	100
148	Michoacán	Pátzcuaro	90
149	Michoacán	Uruapan	100
150	Michoacán	Zamora	90
151	Michoacán	Ciudad Hidalgo	100
152	Morelos	Atlatlahucan	100
153	Morelos	Ayala	95
154	Morelos	Cuautla	100
155	Morelos	Cuernavaca	95
156	Morelos	Jiutepec	90
157	Morelos	Temixco	90
158	Morelos	Tepoztlán	90
159	Morelos	Tlayacapan	90
160	Morelos	Xochitepec	90
161	Morelos	Yautepec	90
162	Morelos	Yecapixtla	90
163	Morelos	Zapata	90
164	Morelos	Axochiapan	100
165	Morelos	Puente de Ixtla	90
166	Morelos	Tepalcingo	90
167	Morelos	Jocutla	100
168	Nayarit	Bahía de Banderas	200
169	Nayarit	Tepic	200
170	Nayarit	Santiago Ixcuintla	200
171	Nayarit	Tuxpan	150
172	Nayarit	Rosamorada	200
173	Nuevo León	Linares	200
174	Nuevo León	Monterrey	200
175	Nuevo León	Montemorelos	150
176	Nuevo León	Los Rayones	200
177	Nuevo León	Hualahuises	200
178	Oaxaca	Bahías de Huatulco	200
179	Oaxaca	Oaxaca	400
180	Oaxaca	Salina Cruz	200
181	Oaxaca	Tuxtepec (San Juan Bautista)	200
182	Oaxaca	Juchitán	210
183	Puebla	Guadalupe Victoria	90
184	Puebla	Puebla	90

No.	Estado	Localidad	mm
185	Puebla	San Martín Texmelucan	100
186	Puebla	Tehuacán	95
187	Querétaro	Corregidora	95
188	Querétaro	El Marquez	95
189	Querétaro	Huimilpan	95
190	Querétaro	Querétaro	100
191	Querétaro	San Juan del Río	90
192	Quintana Roo	Benito Juárez (Cancún)	200
193	Quintana Roo	Cozumel	200
194	Quintana Roo	Othón P Blanco (Chetumal)	100
195	San Luis Potosí	Ciudad Valles	200
196	San Luis Potosí	Diez Gutiérrez	80
197	San Luis Potosí	San Luis Potosí	95
198	Sinaloa	Ahome (Villa de Ahome)	100
199	Sinaloa	Culiacán	200
200	Sinaloa	Guasave	180
201	Sinaloa	Mazatlán	200
202	Sinaloa	Mochis	100
203	Sinaloa	Salvador Alvarado (Guamúchil)	190
204	Sinaloa	Topolobampo	100
205	Sinaloa	El Fuerte	180
206	Sinaloa	Sinaloa de Leyva	190
207	Sinaloa	Guamúchil	195
208	Sonora	Agua Prieta	80
209	Sonora	Cajeme (Ciudad Obregón)	100
210	Sonora	Empalme	100
211	Sonora	Guaymas	100
212	Sonora	Hermosillo	90
213	Sonora	Navojoa	150
214	Sonora	Nogales	80
215	Sonora	San Luis Río Colorado	70
216	Sonora	Nacozari de García	80
217	Tabasco	Cárdenas	390
218	Tabasco	Comalcalco	400
219	Tabasco	Paraíso	400
220	Tabasco	Villahermosa	300
221	Tamaulipas	Altamira	200
222	Tamaulipas	Ciudad Madero	200
223	Tamaulipas	Ciudad Mante	200
224	Tamaulipas	Ciudad Victoria	200
225	Tamaulipas	Matamoros	150
226	Tamaulipas	Nuevo Laredo	150
227	Tamaulipas	Reynosa	200
228	Tamaulipas	Río Bravo	200
229	Tamaulipas	Tampico	200
230	Tlaxcala	Apetatitlán	90
231	Tlaxcala	Apizaco	90
232	Tlaxcala	Calpulalpan	90
233	Tlaxcala	Chiautempan	90
234	Tlaxcala	Huamantla	100
235	Tlaxcala	Panotla	90
236	Tlaxcala	Tetla	90
237	Tlaxcala	Tlaxcala	100
238	Tlaxcala	Totolac	90
239	Tlaxcala	Yauhquemehcan	90
240	Veracruz	Alvarado	400
241	Veracruz	Amatlan	200
242	Veracruz	Banderilla	400
244	Veracruz	Boca de Río	400
245	Veracruz	Coatepec	200
246	Veracruz	Coatzacoalcos	300
247	Veracruz	Coatzintla	200

Tabla 28 (continuación). Precipitación máxima en 24 horas (Periodo 1941- 1997)

No.	Estado	Localidad	mm	No.	Estado	Localidad	mm
248	Veracruz	Córdoba	200	263	Veracruz	Túxpan	200
249	Veracruz	Cosoloaque	390	264	Veracruz	Veracruz	400
250	Veracruz	Emiliano Zapata	90	265	Veracruz	Yanga	200
251	Veracruz	Fortín	390	266	Veracruz	Ciudad Mendoza	200
252	Veracruz	Ixhuatlán del Sureste	300	267	Yucatán	Conkal	100
253	Veracruz	Jalapa	300	268	Yucatán	Kanasín	100
254	Veracruz	Martínez de la Torre	390	269	Yucatán	Mérida	100
255	Veracruz	Mina titlán	300	270	Yucatán	Progreso	100
256	Veracruz	Nanchital de L C del Río	390	271	Yucatán	Tixpehual	100
257	Veracruz	Orizaba	200	272	Yucatán	Ucú	100
258	Veracruz	Pánuco	300	273	Yucatán	Umán	100
259	Veracruz	Poza Rica	350	274	Yucatán	Valladolid	200
260	Veracruz	Río Blanco	200	275	Zacatecas	Calera de Víctor Rosales	80
261	Veracruz	Tehuacán	200	276	Zacatecas	Fresnillo	80
262	Veracruz	Tlahuayocan	300	277	Zacatecas	Guadalupe	80
				278	Zacatecas	Zacatecas	80

Tabla 29. Lámina de lluvia mensual por entidad federativa (mm)

Estado	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Aguascalientes	13.3	6.3	3.4	7.5	16.4	70.8	101.4	103.3	76.9	33.2	12.5	11.1	456.1
Baja California	38.1	30.3	37.5	15.3	4.3	1.2	1.4	5.2	5.8	9.2	22.7	34.1	205.1
Baja Cal. Sur	14.5	4.7	2.3	1.0	0.6	1.0	19.3	41.7	52.0	18.5	5.9	14.0	175.5
Campeche	27.6	19.2	18.4	13.9	60.1	157.3	189.4	200.3	207.2	120.9	54.7	33.7	1102.7
Coahuila	13.5	12.2	6.3	20.2	36.1	37.1	33.2	40.3	56.2	30.2	13.2	12.3	310.8
Colima	23.5	7.6	4.0	2.5	9.1	112.8	168.4	203.4	223.2	100.8	25.2	14.8	895.3
Chiapas	83.8	59.4	49.8	56.5	133.1	270.5	272.9	265.2	342.1	230	111.6	107.5	1982.4
Chihuahua	17.6	9.6	6.9	8.2	10.3	35.4	111.4	100.8	71.1	29.4	9.3	18.7	428.7
Distrito Federal	7.8	4.7	8.9	22.6	50.7	123.9	155.1	141.7	122.6	50.4	10.5	6.1	705
Durango	22.0	10.2	5.9	5.3	11.4	60.4	119.5	120	95.3	36.4	13.7	27.4	527.5
Guanajuato	13.2	7.1	8.4	15.7	36.5	105.3	125.3	122.7	98.5	41.7	12.2	10.8	597.4
Guerrero	10.8	3	2.7	9.6	50.4	204.9	227.7	226.9	263.4	108.4	26.5	6.2	1140.5
Hidalgo	21.6	18.1	22.3	41.7	69.4	128.4	120.7	111.5	161.0	80.5	37.3	22.5	835
Jalisco	16.2	8.3	7.1	7.0	26.2	147.9	212	187.3	144.8	63.7	17.0	14.1	851.6
México	14.2	6.8	9.4	24.9	65.1	163.7	193.4	183.0	166.8	75.4	21.1	9.4	933.2
Michoacán	15.0	4.8	4.2	10.9	33.6	140.7	190.1	172.5	162.2	66.3	16.4	9.7	826.4
Morelos	10.4	3.3	4.3	13.8	53.6	182.5	173.9	157.4	183.3	66.2	13.7	4.4	866.8
Nayarit	20.6	9.1	4.8	4.3	8.7	136.9	275.3	264.5	212.7	74.8	15.2	18.6	1045.5
Nuevo León	21.4	18.1	16.2	37.7	62.1	75.1	55.2	85.2	131.7	62.4	19	17.9	602
Oaxaca	31.4	28	22.3	31.1	88.9	257.3	265.3	247.6	288.2	143.2	61.2	38.5	1503
Puebla	30.6	25.5	26	44.4	83.3	181	187.6	174.1	222.2	123.4	59.9	35.4	1193.4
Querétaro	12.7	6.0	8.5	21.2	42.6	105.2	112.2	101.5	100.9	43.6	13.1	8.0	575.5
Quintana Roo	63.3	39.3	31.5	30.7	101.1	177.5	140.9	131.9	204.4	159.7	89.5	81.8	1251.6
San Luis Potosí	20.5	17.5	16.8	36.6	69.3	156.3	149.6	150.4	209	95.4	37.3	25.9	984.6
Sinaloa	31.5	14.6	13.1	9.0	11.1	60.3	191	196.3	159.6	61.6	22.0	35.1	805.2
Sonora	26.3	15.3	11.1	4.3	3.7	20.1	121.2	111.9	55.6	26.5	12.6	27.5	436.1
Tabasco	187.3	120.4	84.1	71.8	126.3	248.7	210	246.7	381.3	346.4	212.4	197.3	2432.7
Tamaulipas	19.5	15.8	15.9	35.8	70.3	129.3	108.9	105.6	154.5	72.4	25	19.9	772.9
Tlaxcala	7.9	6.6	11.4	32.8	73.1	129.7	125.7	124	107.2	51.4	16.4	6.9	693.1
Veracruz	42.0	35.0	32.9	44.4	76.8	208.8	237.1	195.8	292.3	155.2	82.7	56.5	1459.5
Yucatán	35.7	35.3	30.4	30.8	81.8	164.4	172.5	168.5	190.1	111.3	52.1	45.5	1118.4
Zacatecas	17.4	8.4	5.9	7.6	19.0	79.7	119.0	111.7	84.7	35.3	13.4	17.9	520
Nacional	27.3	18.2	15.2	19.2	40.8	104.6	140.4	136.1	142.0	72.5	31.1	30.0	777.4

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, <http://smn.cna.gob.mx/smn.html>

Tabla 30. Algunos daños por granizadas.

Fecha	Estados afectados	Daños	Datos relevantes
DICIEMBRE 7,9-1943	Sinaloa	Veintisiete decesos, la parte norte del estado quedó aislada por tierra y sin comunicación por vía telefónica y telegráfica. 600 personas quedaron sin hogar y las pérdidas económicas ascendieron a más de 144 500 dólares. Dos puentes ferroviarios, algunos tramos del ferrocarril Sur-Pacífico, varias carreteras y casas fueron dañados. Hubo deslizamiento de tierras. Las pérdidas en la agricultura fueron cuantiosas (estimaas en 2500 vagones de ferrocarril	Se le consideró en esa época com la inundación más catastrófica en la historia del estado.
Enero 7, 26-1949	Sinaloa y Sonora	Diez personas muertas, más de 35 localidades inundadas, 150 000 personas quedaron sin hogar en Navajoa, Sonora y 9 000 en Sinaloa. Al menos 9 000 casas fueron dañadas al igual que dos puentes y varias carreteras. Los daños económicos ascendieron a 10.2 millones de dólares. Se perdieron cientos de cabezas de ganado. Muchas localidades quedaron aisladas (se suspendió el servicio de telégrafo y teléfono). El servicio del ferrocarril Sur-Pacífico fue cancelado temporalmente por daños en las líneas férreas. La presa Álvaro Obregón, que estaba en construcción, fue destruída en casi su totalidad. Los daños en su estructura fueron valuados en 1.745 millones de dólares.	Se registraron gastos de 10 000 m3/s en el río Fuerte, 5265 m3/s en el río Yaqui y 6390 m3/s en el río Mayo. La inundación duró un tiempo excepcionalmente largo. Se dice que los avisos de alerta permitieron la reducción del número de muertos.
Enero 11, 19- 1960	Sonora, Sinaloa y Chihuahua	Tres decesos; cerca de 60 localidades inundadas, el nivel de agua alcanzó 4 metros de altura. 500 casas dañadas en Navajoa, 15 000 familias sin hogar en Sinaloa y 9 000 en Sonora, 22 000 personas evacuadas. La zona más devastada fue la región del río Fuerte, el ferrocarril Sur-Pacífico sufrió daños ,las pérdidas económicas en Sinaloa fueron de 18 815 millones de dólares con 26 6550 hectáreas de áreas agrícolas perdidas. En Sonora 15 000 hectáreas quedaron afectadas en el Valle del Yaqui.	Los daños más importantes ocurrieron en los estados de Sonora y Sinaloa.
Enero 11 - 1991	Península de Baja California	Doce familias perdieron su casa y 60 más fueron desalojadas.	El lodo alcanzó hasta dos metros de altura en Tijuana.
Enero 6, 7 - 1993		Más de 20 personas fallecieron en Tijuana. Diez mil damnificados. Los sistemas de comunicación y las zonas de agricultura fueron severamente dañadas con una pérdida económica de 32 millones de dólares.	Llovieron 100 mm en 4 horas en el río Tijuana.

Tabla 30 (continuación). Algunos daños por tormentas de invierno.

Fecha	Estados afectados	Daños	Datos relevantes
Noviembre 3, 5 - 1993	Sinaloa	Hubo 10,000 damnificados en los Cabos y San José de los Cabos. Los daños ascendieron a 63.4 millones de dólares. Hubo interrupción de servicios públicos y daños en la infraestructura de puentes, carreteras, tuberías y embarcaciones.	La lluvia máxima registrada en 24 horas fue de 632 mm (más de tres veces el promedio anual).
Noviembre 12,13 - 1994	Baja California Sur	Daños materiales por más de un millón de nuevos pesos y averías de 4200 metros de carretera dejaron las lluvias en B.C.S. principalmente en la capital de dicho estado; no se reportaron víctimas.	Se registró una precipitación de 64.7 mm en La Paz y de 68.7 mm en los Cabos. La zona serrana alcanzó 99 mm.
Noviembre 14 - 1994	Sinaloa	Daños a la agricultura y carretera México-Nogales. Inundaciones en 30 poblados de Guasave por las fuertes lluvias. 850 familias fueron desalojadas.	La tormenta duró 20 horas.
Enero 04 - 1995	Baja California	Evacuan 30 personas de 7 condominios en Tijuana.	La lluvia alcanzó una altura de 38.1 mm en 2 horas (15.5 mm/h).
Febrero 8 - 1998	Baja California	Inundaciones, deslaves, desbordamiento de canales pluviales y suspensión de servicios de energía eléctrica y agua potable en más de 50 colonias, en la ciudad de Tijuana y Playas de Rosarito, además de la muerte de 14 personas y 7 desaparecidos.	Se registro una precipitación de 55 mm de las 0:00 a las 6:00 hrs. y se aplico el plan DN-III.
Febrero 23 - 1998	Baja California	Numerosas casas se colapsaron por desgajamiento de cerros y deslizamiento de tierra y quedaron aisladas algunas zonas por inundaciones, en la ciudad de Tijuana. Las carreteras Tijuana-Ensenada-Mexicali sufrieron deslaves y hundimientos. Fueron destruidos 843 metros de líneas de agua potables en 13 colonias y hubo un muerto.	En un lapso de 30 min.(22:30 a las 23:00 hrs) llovieron 12 mm. Con las lluvias “aisladas” que se registraron durante las horas siguientes, se alcanzó una precipitación pluvial de 56.6 mm.

TORMENTAS DE GRANIZO Y NIEVE

Tormentas 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 65).

Durante el periodo de 1979-1988, según registros de la Comisión Nacional del Agua, los estados que sufrieron más daños en la agricultura fueron: Guanajuato (109,767 ha), Chihuahua (56,355 ha), Tlaxcala (51,616 ha), Nuevo León (37,837 ha) y Durango, (35,393 ha). Asimismo, dentro de estos registros se estimó una población expuesta mayor a los 6 millones de habitantes.

En la Tabla 31 se citan otros reportes de afectaciones causadas por granizadas. Estos se tomaron de notas periodísticas. En la Tabla 33 aparece el número máximo de días con granizadas y nevadas en diversas poblaciones de la República Mexicana, junto con los meses en que se presenta dicho máximo.

Tormentas de nieve

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.

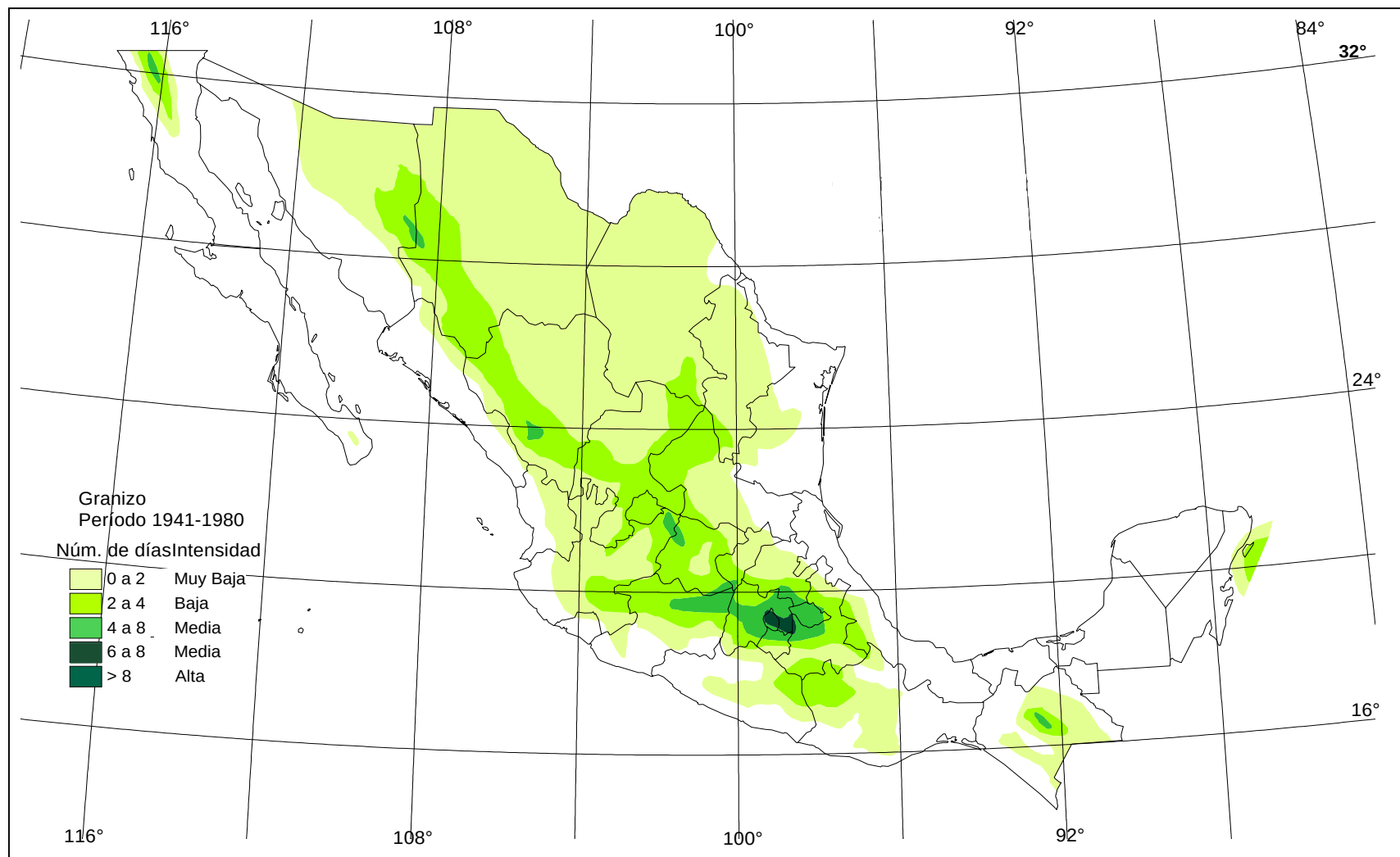
Eventualmente pueden formarse nevadas en el altiplano de México por la influencia de las corrientes frías provenientes del norte del país. La nieve que cubre el suelo al derretirse forma corrientes de agua que fluyen o se infiltran para recargar mantos acuíferos.

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. En las sierras del estado de Chihuahua, durante la estación invernal suceden en promedio más de seis nevadas al año, y en algunas regiones al norte de Durango y Sonora, las nevadas tienen una frecuencia de tres veces al año (Figura 66).

En la Tabla 32 se citan algunos informes de daños causados por nevadas, los que se tomaron de notas periodísticas. Las Figuras 67 y 68 son fotografías de eventos de nevadas.

Figura 65. Granizadas en México



Fuente: Atlas Nacional de México, UNAM, Instituto de Geografía, 1990.

Figura 66. Heladas y Nevadas en México

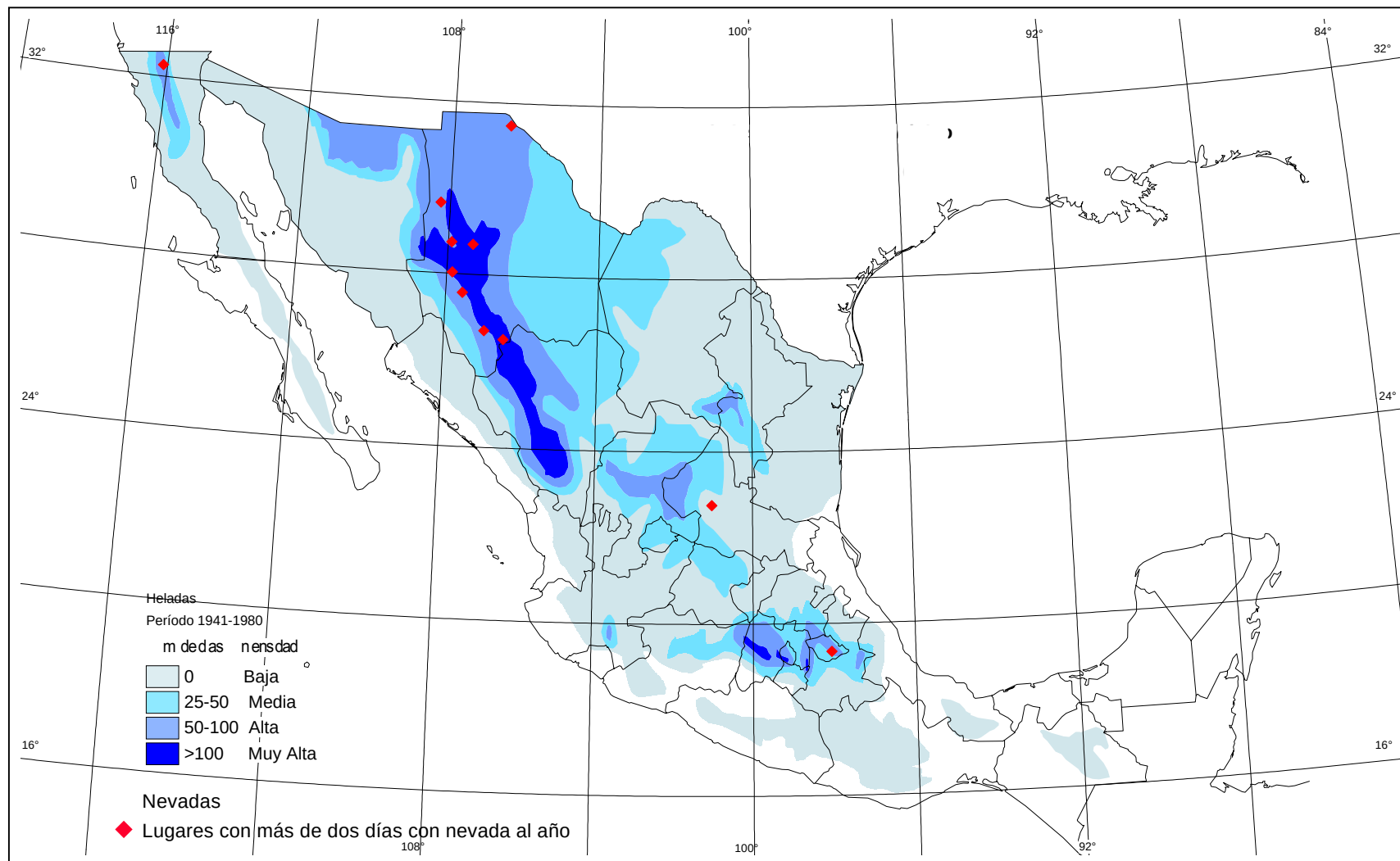


Tabla 31. Algunos daños por granizadas.

Fecha	Estados afectados	Daños	Datos relevantes
Agosto 27, 1976	Occidente del Distrito Federal.	Doce muertos e inundaciones, 26 personas lesionadas y 300 quedaron sin hogar. Varias vecindades en Tacubaya fueron dañadas y algunas se colapsaron por las malas condiciones en que se encontraban. El mercado de Las Américas sufrió el desplome del techo. Otras estructuras en Mixcoac y Villa Obregón tuvieron la misma suerte. El Metro paró sus actividades, hubo caos vial y la corriente eléctrica se cortó en la parte occidental de la ciudad.	La tormenta duró 17 minutos y dejó una capa de granizo de 24 cm.
Mayo 28, 1987	Parte Norte del Distrito Federal (Gustavo A. Madero y Azcapotzalco), México.	Nueve muertos e inundaciones, deslizamiento en el cerro del Chiquihuite, en la Delegación Gustavo A. Madero. Doce heridos. Varios techos de viviendas, fábricas, estacionamientos y mercados derribados. Se suspendió el transporte público, hubo caos vial y varios postes de teléfonos cayeron. Colapsaron varias casas pobremente construidas.	La tormenta duró 40 minutos y dejó una capa de granizo de 60 cm en algunas partes de la ciudad.
Junio 30, 1992	Tlaxcala (Santa Cruz, Amexac de Guerrero, Juan Camatzi, Coaxomulco, Chiautempan).	Se perdieron 30 000 hectáreas de cultivos.	Hubo tres días consecutivos con granizo.
Febrero 08, 1993	Tlaxcala(Tlaxco, Coaxumulco, Santa Cruz, Tlaxcala y Amexac de Guerrero).	Un centenar de damnificados e igual número de viviendas dañadas en la colonia Emilio Sánchez.	La tormenta duró alrededor de 30 minutos.
Mayo 03, 1994	Hidalgo.	Destruyó los techos de 60 hogares en Almoloya y afectó 788 hectáreas de cultivo en Tula. También afectó 10 hectáreas listas para sembrar, pertenecientes a 500 ejidatarios.	El granizo alcanzó 40 cm de espesor.
Junio 27, 1994	Tlaxcala.	Fueron afectadas 500 hectáreas de cultivo de maíz, trigo y cebada a causa de la granizada que cayó en el municipio de Aueyotlipan.	El granizo llegó a tener 20 cm de espesor y provocó inundaciones.
Octubre 26, 1994	Tamaulipas (Nuevo Laredo) y Nuevo León (Anáhuac).	Tres heridos leves, y derrumbes en casas de madera. 0	Cayeron granizos de 6 cm de diámetro. El fenómeno duró 45 minutos.
Mayo 06, 1996	Estados de México e Hidalgo.	Causó el derrumbe del techo de dos naves industriales en el poblado de Calpulalpan y la inundación de varias casas.	La granizada duró 60 minutos.
Noviembre 26, 1997	Distrito Federal (Delegación Magdalena Contreras).	Derrumbó 20 casas humildes. 600 personas fueron evacuadas.	El granizo tendió una capa de más de 20 centímetros en calles y terrenos de varias comunidades de la zona boscosa de Magdalena Contreras.
Marzo 31, 1998	Baja California (Tijuana).	Causó daños materiales y puso en riesgo la vida de una mujer que fue arrastrada por la corriente de un arroyo en Mesa de Otay.	La granizada afectó la parte este de la ciudad en donde dejó una capa de hasta 15 cm de espesor.

Tabla 32. Algunos daños por nevadas.

Fecha	Estados afectados	Daños	Datos Relevantes
Marzo 14, 1940.	Ciudad de México, México (Toluca) e Hidalgo (Tulancingo).	Nueve personas murieron congeladas, el tráfico aéreo fue suspendido.	La nevada comenzó en la noche y cubrió la totalidad del Valle de México. La temperatura del 15 de marzo fue de 0.7° C y la temperatura media del día 14 de 6.7° C.
Febrero 13,14, 1960	Coahuila (Saltillo, Ramos Arizpe, Parras de la Fuente y otras localidades), Durango (zona serrana y Durango), Chihuahua (Chihuahua, Ciudad Juárez y zona serrana), Sonora (Nogales, Agua Prieta y Nacori), Distrito Federal (zona boscosa y zona serrana), Tamaulipas (Ciudad Victoria).	Fueron cerradas las carreteras principales y los aeropuertos de Saltillo, Nogales, Monterrey y Matamoros. Tres accidentes automovilísticos por el pavimento congelado.	La nevada fue más severa en Saltillo.
Enero 10,11, 1967	El 50 % del territorio mexicano fue afectado, desde la Ciudad de México hasta la región norte y en los lugares por encima de 2000 metros sobre el nivel del mar.	Doscientas personas quedaron atrapadas en las carreteras entre Monterrey y Saltillo. Fueron suspendidos los vuelos en Monterrey. Hubo ausentismo del 40 % en el personal de fábricas. Igualmente se suspendieron las clases.	La mitad de México se cubrió de nieve. El espesor de la capa de nieve alcanzó 20 cm en Zacatecas, en Colotlán, Jal. y en la Ciudad de México alcanzó 5 cm, 75 cm en Saltillo, Coah. y 60 cm en Monterrey. Desde 1947 no nevaba en S.L.P.
Marzo 5, 1987	Distrito Federal, México y Puebla.	Murieron 6 personas por congelamiento en la Cd. de México. Hubo 290 millones de pesos en pérdidas económicas causadas por accidentes viales en las carreteras. 1300 hectáreas de cultivos se perdieron.	Negó en el Estado de México, en Cuautitlán Izcalli, Tultitlán, Tultepec, Toquisquiatic, Atizapán y Toluca.
Enero 15 – 29, 1992	Nuevo León, San Luis Potosí, Coahuila, Zacatecas, Durango, Guanajuato, Aguascalientes, Jalisco, Chihuahua, Tamaulipas y México.	Fueron cerrados seis tramos de carreteras. Hubo intensas tormentas de nieve en Cerro del Toro, Jal., Sierra Tarahumara, Chih., Sierra de San Miguelito, S. L. P. dejando un saldo de 77 muertos, 22 en la Sierra Tarahumara.	En la Sierra de Santa Rosa la nieve alcanzó un espesor de 50 cm en algunos lugares. La nevada fue de 2 mm en Camargo, Chih. y de 1 mm en Guerrero, Chih. Algunas de las temperaturas fueron las siguientes: Zacatecas 1° C, Nuevo León 5° C, Cerro del Toro (Municipio de Ojuelos, Jal.) de 10° C, Sierra Tarahumara 14° C y 6° C en Tamaulipas.
Enero 31, 1995	Distrito Federal y sur del Estado de México.	Desaparecen 3 personas a causa de la nevada. Cancelación y demora de vuelos en el Aeropuerto de Toluca.	La nieve alcanzó una altura de 30 cm en las faldas del nevado de Toluca, del Popocatepetl y serranía que rodea al D.F.
Enero 7,8, 1997	Sonora (Nogales), Chihuahua (Ciudad Juárez y las localidades de la Sierra Tarahumara) y Baja California (Sierra de la Rumorosa).	Las escuelas y fábricas pararon actividades en Sonora. El tráfico aéreo y terrestre dejó de funcionar en Chihuahua. Número de muertos 9; 2 en Sonora y 7 en Chihuahua.	La nieve alcanzó 10 cm de espesor en Nogales. Fue la peor tormenta en los últimos 20 años en Ciudad Juárez.
Diciembre 18, 1997	Coahuila y Puebla.	En Coahuila deceso de 13 personas, cinco de ellas fallecidas en Monclova, mientras que en Puebla una niña pereció, y los productores agrícolas de 11 municipios tuvieron pérdidas de hasta 21 millones de pesos.	Ninguno.
Febrero 3, 1998	Hidalgo, Tlaxcala.	En Hidalgo la nevada provocó cortes de energía eléctrica en gran parte de los 84 municipios e incrementó los accidentes viales. En Tlaxcala una fuerte nevada dejó caminos intransitables. Algunas poblaciones afectadas se dieron en los municipios de Tlaxco y Huamantla.	En el municipio de Tlaxco se acumularon 50 cm de capa de nieve.

HELADAS

Una helada ocurre cuando la temperatura del aire húmedo cercano a la superficie de la tierra desciende a 0° C, en un lapso de 12 horas.

Existen dos fenómenos que dan origen a las heladas; el primero consiste en la radiación, durante la noche, desde la Tierra hacia la atmósfera que causa la pérdida de calor del suelo; el otro es la advección, debido al ingreso de una gran masa de aire frío, proveniente de las planicies de Canadá y Estados Unidos.

Las heladas por radiación se forman en los valles, cuencas y hondonadas próximas a las montañas, ya que son zonas de acumulación de aire frío. Durante la noche desciende el aire húmedo y se concentra en las partes bajas. Para que esta helada ocurra, se requiere de la ausencia de viento, cielo despejado, baja concentración de vapor de agua, y fuertes inversiones térmicas en la superficie.

Las heladas por advección suelen tener vientos mayores de 15 km/h y sin inversión térmica. Estas heladas son muy dañinas ya que es muy difícil proteger los cultivos de la continua transferencia de aire frío que está en movimiento.

Las regiones con mayor incidencia de heladas en México son la Sierra Madre Occidental (en las Sierras Tarahumara, Chih., de

Durango y Tepehuanes en Dgo.); además en las partes altas del Sistema Volcánico Transversal sobre el paralelo 19° N, esencialmente en los estados de México, Puebla y Tlaxcala, con más de 100 días al año con heladas.

En la tabla 33 se muestra el número de días con mayor incidencia de heladas, granizadas y nevadas registradas en algunos observatorios de la República Mexicana, indicando el mes en el que se presentó el máximo de días. Se observa en dicha tabla que en Toluca se presenta el mayor número de días con heladas, durante el mes de enero. Sin embargo, ello no significa que los daños mayores se presenten en la misma zona.

Los daños causados por heladas en México, según datos del INEGI, presentaron un total de pérdidas económicas en la agricultura en el estado de Chihuahua, donde fueron 43 763 millones de pesos de 1986 (516 229 hectáreas), y en segundo lugar en Puebla con 18 708 millones de pesos en 1986 (147 861 hectáreas); en ambos casos para el periodo de 1979 a 1985.

En la figura 66 se muestra la intensidad de las heladas y ocurrencia de nevadas en la República Mexicana.

En la tabla 34 se consignan los daños provocados por heladas en la República Mexicana. Los datos se obtuvieron de notas periodísticas tanto nacionales como estatales.

Figura 67. Nevada en la Sierra La Rumorosa, Baja California



Figura 68. Nevada sobre la carretera Tecate-Mexicali, Baja California



Tabla 33. Número máximo de días con granizadas, heladas y nevadas, en diversas poblaciones de la República Mexicana.

Granizo

No.	Población	Período	Número máximo de días	Mes
1	Cozumel	1951-1980	0.03	marzo, mayo, septiembre
2	Culiacán	1951-1980	0.03	marzo, junio, agosto
3	Mérida	1951-1980	0.03	abril
4	Tampico	1951-1980	0.03	febrero, abril, mayo, julio, noviembre
5	Tapachula	1951-1980	0.03	julio
6	Guaymas	1951-1980	0.04	marzo
7	Torreón	1951-1979	0.06	julio
8	Salina Cruz	1961-1975	0.08	marzo
9	Soto la Marina	1951-1980	0.08	mayo
10	Tepic	1951-1980	0.10	mayo, junio, julio
11	Colima	1951-1980	0.13	julio
12	Ciudad Lerdo	1951-1980	0.15	abril
13	Tuxpan	1951-1980	0.18	octubre
14	Chilpancingo	1951-1980	0.20	julio
15	Campeche	1951-1980	0.21	febrero
16	Chihuahua	1951-1980	0.23	mayo
17	Monclova	1951-1980	0.25	abril
18	Cordoba	1951-1973	0.26	mayo
19	Monterrey	1951-1980	0.26	abril, mayo
20	Río Verde	1951-1980	0.26	mayo
21	Aeropuerto	1951-1980	0.27	abril
22	Tuxtla	1951-1987	0.27	mayo
23	Lagos de Moreno	1951-1980	0.31	julio
24	Hermosillo	1951-1980	0.34	diciembre
25	Veracruz	1951-1980	0.46	agosto
26	Temosachic	1951-1980	0.47	agosto
27	Nvo. Casas Grandes	1969-1980	0.50	marzo
28	La Bufa, Zacatecas	1951-1980	0.56	junio
29	León	1951-1980	0.57	agosto
30	Toluca	1951-1980	0.60	junio
31	Piedras Negras	1951-1980	0.61	mayo
32	Aguascalientes	1951-1980	0.71	julio
33	Saltillo	1951-1980	0.80	mayo
34	Valladolid	1969-1980	0.81	julio
35	Tlaxcala Xicohténcatl	1951-1980	0.82	agosto
36	Morelia	1951-1980	0.85	junio
37	Guanajuato	1951-1980	0.86	agosto
38	Guadalajara	1951-1980	0.89	agosto
39	Cd. Guzmán	1951-1980	0.90	julio
40	Comitán	1951-1980	0.96	abril
41	Chapingo	1951-1980	1.04	mayo
42	Univ. Puebla	1971-1980	1.10	mayo
43	Pachuca	1951-1980	1.13	mayo
44	Mex-Central-Tacubaya	1921-1989	1.93	julio
45	Huejucar	1951-1980	2.73	agosto
46	Jalapa	1951-1980	2.93	mayo
47	Puebla	1951-1980	2.96	octubre
48	La Paz	1951-1980	3.22	agosto
49	Colotlán	1951-1980	3.27	mayo
50	Acapulco	1951-1980	3.30	noviembre
51	Manzanillo	1951-1980	3.53	enero

Granizo (continuación)

No.	Población	Periodo	Número máximo de días	Mes
52	Querétaro	1951-1980	3.65	mayo
53	Orizaba	1951-1980	3.68	agosto
54	Tulancingo	1951-1980	3.73	octubre
55	Oaxaca	1951-1980	6.08	noviembre
56	Cd. Obregón	1951-1980	8.00	agosto

Heladas

No.	Población	Periodo	Número máximo de días	Periodo
1	Tampico	1951-1980	0.03	enero
2	Colima	1951-1980	0.03	enero, febrero, noviembre
3	Córdoba	1951-1973	0.04	septiembre
4	Soto La Marina	1951-1980	0.08	enero
5	Tuxtla	1951-1987	0.09	enero
6	Ensenada	1951-1980	0.1	marzo
7	Culiacán	1951-1980	0.1	enero
8	Guaymas	1951-1980	0.13	febrero
9	Hermosillo	1951-1980	0.27	enero
10	Chilpancingo	1951-1980	0.42	diciembre
11	Monclova	1951-1980	0.53	enero
12	Comitán	1951-1980	0.55	diciembre
13	Cd. Obregón	1951-1980	0.75	enero
14	Arriaga	1951-1980	0.9	febrero
15	Guanajuato	1951-1980	0.91	febrero
16	Tepic	1951-1980	0.96	febrero
17	La Paz	1951-1980	0.96	febrero
18	Querétaro	1951-1980	1.13	enero
19	Jalapa	1951-1980	1.4	enero
20	León	1951-1980	1.85	enero
21	Monterrey	1951-1980	2	enero
22	Torreón	1951-1979	2.2	enero
23	Puebla	1951-1980	2.29	enero
24	Orizaba	1951-1980	2.45	enero
25	Morelia	1951-1980	2.75	enero
26	Huejucar	1951-1980	3.03	enero
27	Guadalajara	1951-1980	3.33	enero
28	Saltillo	1951-1980	3.36	enero
29	Mex-Central-Tacubaya	1921-1989	3.38	enero
30	Cd. Guzmán	1951-1980	3.4	enero
31	Río Verde	1951-1980	3.57	enero
32	Oaxaca	1951-1980	4.06	diciembre
33	Colotlán	1951-1980	4.3	diciembre
34	La Bufa, Zacatecas	1951-1980	4.48	enero
35	Aguascalientes	1951-1980	4.5	enero
36	Lagos de Moreno	1951-1980	4.65	enero
37	Aeropuerto	1951-1980	5.41	enero
38	Univ. Puebla	1971-1980	5.8	enero
39	Chihuahua	1951-1980	6.3	diciembre
40	Tulancingo	1951-1980	8.73	enero
41	Piedras Negras	1951-1980	8.80	enero

Tabla 33 (continuación). Número máximo de días con granizadas, heladas y nevadas, en diversas poblaciones de la República Mexicana.

Heladas

No.	Población	Periodo	Número máximo de días	Mes
42	Tlaxcala Xicohtencatl	1951-1980	9.79	enero
43	Cd. Lerdo	1951-1980	10.8	enero
44	Nvo. Casas Grandes	1969-1980	16.8	diciembre
45	Chapingo	1951-1980	17.3	enero
46	Pachuca	1951-1980	17.4	enero
47	Temosachic	1951-1980	23.0	diciembre
48	Toluca	1951-1980	23.8	enero

¹ Fuente de datos: SMN

Procesó: Ma. Teresa Vázquez Conde

Nevadas

No.	Población	Periodo	Número máximo de días	Mes
1	Querétaro	1951-1980	0.03	marzo
2	Monterrey	1951-1980	0.03	enero
3	Río Verde	1951-1980	0.03	enero
4	Aguascalientes	1951-1980	0.03	enero
5	Monclova	1951-1980	0.06	febrero
6	Torreón	1951-1979	0.07	diciembre
7	Huejucar	1951-1980	0.07	enero
9	Toluca	1951-1980	0.07	enero
10	Mex-Central-Tacubaya	1921-1989	0.10	marzo
11	Pachuca	1951-1980	0.10	febrero
12	Chapingo	1951-1980	0.13	octubre
13	Cd.Obregón	1951-1980	0.16	marzo
14	Saltillo	1951-1980	0.20	diciembre
15	Cd.Guzmán	1951-1980	0.20	enero
16	Piedras Negras	1951-1980	0.20	enero
17	Chilpancingo	1951-1980	0.21	enero
18	La Bufa, Zacatecas	1951-1980	0.26	diciembre
19	Aeropuerto	1951-1980	0.27	febrero
20	Nvo.Casas Grandes	1969-1980	0.44	enero
21	Tulancingo	1951-1980	0.53	julio
22	Veracruz	1951-1980	0.68	marzo
23	Culiacán	1951-1980	0.72	febrero
24	Temosachic	1951-1980	0.73	febrero
25	Chihuahua	1951-1980	0.78	enero

¹ Fuente de datos: SMN

Procesó: Ma. Teresa Vázquez Conde

Tabla 34. Algunos de los daños más importantes provocados por heladas en México (Millones de pesos actuales)

Fecha	Estado	Localidad	Muertos	Pérdidas económicas	Daños	Datos relevantes
18 ene. 1949	Sin.	Valle de Culiacán		0.04	La pérdida económica se debió a una helada nocturna en áreas agrícolas.	Temperatura mínima de 0 °C en Culiacán y -5 °C en el campo.
11-13 ene. 1962	Son., Chih., Coah., N.L., Tamps. y Ver.				Cientos de cabezas de ganado se perdieron en Tamaulipas. Áreas de pastizales, cultivos de henequén y hortalizas sufrieron daños.	-30 °C en Villa Ahumada, Chih., -22 °C en Ciudad Juárez y -2 °C en la Huasteca. Nevó en algunas partes de Chih., Tamps. y Ver.
21-23 dic. 1988	Tamps., N.L., Coah., Chih., Ver., Pue. y Tlax.		30		Las carreteras se cubrieron de hielo. 50% de los cultivos de café fueron devastados en Tamaulipas. 250 toneladas de naranja se perdieron en Monterrey. 2000 cabezas de ganado murieron en Reynosa.	-10 °C en Ciudad Juárez, -3 °C en Matamoros y -10 °C en Monterrey.
24-27 dic. 1990	N.L., B.C., Dgo., Coah., Son., Méx., Tamps., Ver. y Chih.		52	0.350	500 familias fueron afectadas en Tamaulipas.	-12 °C en Mexicali, 8 °C en Piedras Negras y -7 °C en Orizaba.
21 oct. 1992	Zac.	Sombrerete, Nieves, J. Aldama, González Ortega, Río Grande; Miguel Auza, El Fuerte.		24.00	350 000 hectáreas de áreas cultivadas se vieron afectadas.	Pérdidas materiales evaluadas durante la última semana.
5 nov. 1992	Pue.	Parte este del estado.			23 000 hectáreas de áreas agrícolas se vieron afectadas.	
14 dic. 1992	Jal.	Valle Autlán, parte sur del estado.		100.00	Pérdida en áreas cultivadas.	
nov.1992 18 ene. 1993	Chih.	Ciudad Juárez y Sierra de Chihuahua.	44			-19 °C en la Sierra Tarahumara y 8 °C en Ciudad Juárez.

Tabla 34 (continuación). Algunos de los daños más importantes provocados por heladas en México. (Millones de pesos actuales)

Fecha	Estado	Localidad	Muertos	Pérdidas económicas	Daños	Datos relevantes
13 may. 1993	Tlax.	Tenancingo, San Pablo del Monte, Huamantla, Zitlaltépetl, Tlaxco y Valle de Nativitas.			1000 hectáreas de cultivos se vieron afectadas.	2.5° C en plena primavera.
18 ene. 1995	Son., B.C.	Nogales, Son., Tijuana, Tecate y Mexicali, B.C.	67			Número de víctimas (7 en Son. y 60 en B.C.) se registraron durante todo el invierno. -7° C en Tijuana y -5° C en Tecate.
16 oct. 1995	N.L.	Galeana, Iturbide, Zaragoza,			15 000 hectáreas de maíz afectadas por una temprana helada.	
26 oct. 1995	Qro., S.L.P., Zac.			67.750	En Qro. Las pérdidas ascendieron a 20 000 t de producto agrícola, en S.L.P. pérdidas d de 71 934 hectáreas, de las cuales 25578 son consideradas como totales. En Zac. las pérdidas fueron de 150 000 hectáreas.	Temperaturas bajo cero.
18 dic. 1996 21 ene. 1997	Chih., Coah., Tamps., Dgo., Méx., N.L., Ags., Mich., Ver., S.L.P., Gto., Col., Hgo., Jal.		83		Las principales carreteras fueron cerradas. 2500 hectáreas fueron totalmente dañadas en Ags., 2000, en Gto., 90% de las plantaciones de plátano en Colima se perdieron, 7500 hectáreas en Nvo. León, 56000 hectáreas en Jal. y Mich. y 2250 hectáreas en Hgo.	Murieron 141 personas durante todo el invierno en la parte norte de México. El clima más frío en los últimos 13 años. -18° C en Ciudad Juárez y -7° C en Ciudad Victoria.
15-31 dic. 1997.	Son.		25			Las muertes se debieron a hipotermia e intoxicación.
9 ene. 1998.	Son.				17 000 hectáreas perdidas en los valles del Yaqui y Mayo	
Invierno de 1998 al 06 ene. 1999.	República Mexicana		241			De los 241 muertes, 39 fueron por hipotermia, 36 por intoxicación, 16 por quemaduras y 150 por infecciones respiratorias agudas. 27% tenían más de 65 años y 35% menos de 1 año. Se registraron temperaturas de -20° C en la Sierra de Durango (Rancho de Santa Bárbara) y -11° C en Yécora, Sonora.
25 ene. 1999	Dgo.		28			Cobró 28 vidas en 43 días. La temperatura descendió a -20° C en la zona serrana.

CICLONES TROPICALES

Un ciclón tropical consiste en una gran masa de aire cálida y húmeda con vientos fuertes que giran en forma de espiral alrededor de una zona central de baja presión.

Los ciclones tropicales generan lluvias intensas, vientos fuertes, oleaje grande y mareas de tormenta.

Los ciclones tropicales presentan en planta un área casi circular y en el centro tienen la presión más baja. En 1988 la presión central del ciclón Gilberto fue de 888 milibares (mb). Frecuentemente se desplazan con velocidades comprendidas entre 10 a 40 km/h.

La energía de un ciclón es mayor conforme es más grande la diferencia de presiones entre su centro y su periferia; esta última es del orden de 1013 mb.

Los ciclones tropicales se clasifican de acuerdo con la presión que existe en su centro o la intensidad de sus vientos. Se les denomina depresión tropical (presión de 1008 a 1005 mb o velocidad de los vientos menor a 63 km/h), tormenta tropical (presión de 1004 a 985 mb o velocidad del viento entre 63 y 118 km/h) y huracán (presión menor a 984 mb o velocidad del viento mayor a 119 km/h). En la tabla 35 se consigna la clasificación de ciclones de Saffir-Simpson y algunos de sus efectos.

Se originan en el mar entre las latitudes 5° a 15°, tanto en el hemisferio norte como en el sur, en la época que la temperatura del agua es mayor a los 26° C.

Las regiones donde se originan los ciclones se les conoce como zonas ciclogénicas o matrices. Los ciclones que llegan a México provienen de la sonda de Campeche, Golfo de Tehuantepec, Caribe (alrededor de los 13° latitud norte y 65° longitud oeste) y sur de las islas Cabo Verde (cerca de los 12° latitud norte y 57° longitud oeste, región Atlántica). En la figura 70 se presentan las regiones ciclogénicas de los huracanes.

La temporada de ciclones tropicales en la República Mexicana suele iniciarse en la primera quincena del mes de mayo para el océano Pacífico, mientras que en el Atlántico durante junio, terminando en ambos océanos a principios de noviembre; el mes más activo es septiembre.

Las trayectorias que describen los ciclones están en función de las condiciones climáticas existentes y pueden entrar o no a tierra. Su patrón promedio es más o menos conocido, aunque en algunos casos se presentan ciclones con trayectorias erráticas, como sucedió con el huracán Roxanne que afectó a México en octubre de 1995.

El pronóstico de la trayectoria de los ciclones tropicales sirve de guía para la toma de decisiones sobre la protección a la población, ya que se puede tener una idea de las posiciones que tendrá el ciclón en un futuro inmediato y de la evolución de su intensidad. A partir de estos se establecen tiempos de alerta y se prepara la eventual evacuación de los habitantes en las zonas de riesgo.

Tabla 35. Escala de daño potencial de Saffir-Simpson.

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 1008	< 62		Localmente destructivo.	
Tormenta tropical	985.1 a 1004	62.1 a 118	1.1	Tiene efectos destructivos.	
H u r a c á n	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 dos a cuatro horas antes de la entrada del centro del huracán. Las pequeñas embarcaciones en fondeadores sin protección rompen amarras.
	3	945.1 a 965	178.1 a 210	2.5 a 4.0	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 abajo 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 las costa. Inundaciones de los terrenos planos bajos, abajo de 3 m situados hasta 10 km de las 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 69. Efectos del huracán Pauline en Acapulco, 1997



Figura 70. Regiones ciclogénicas de los huracanes

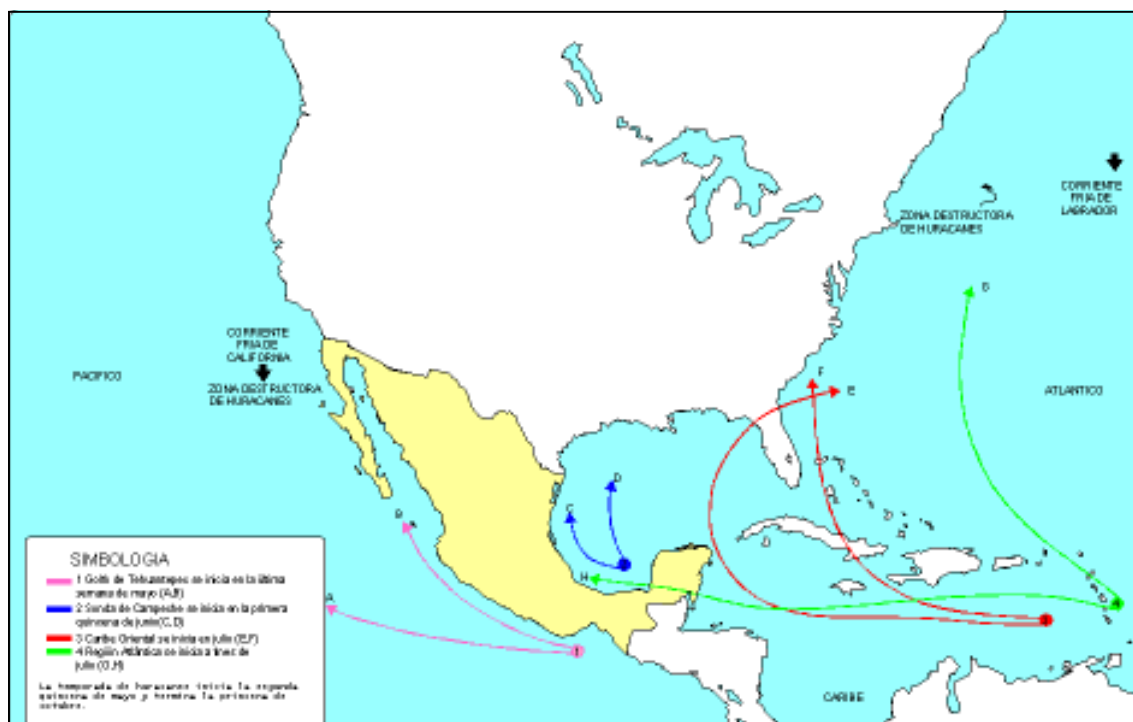


Figura 71. Efectos causados por el oleaje del huracán Nora en Pie de la Cuesta, Acapulco, 1997

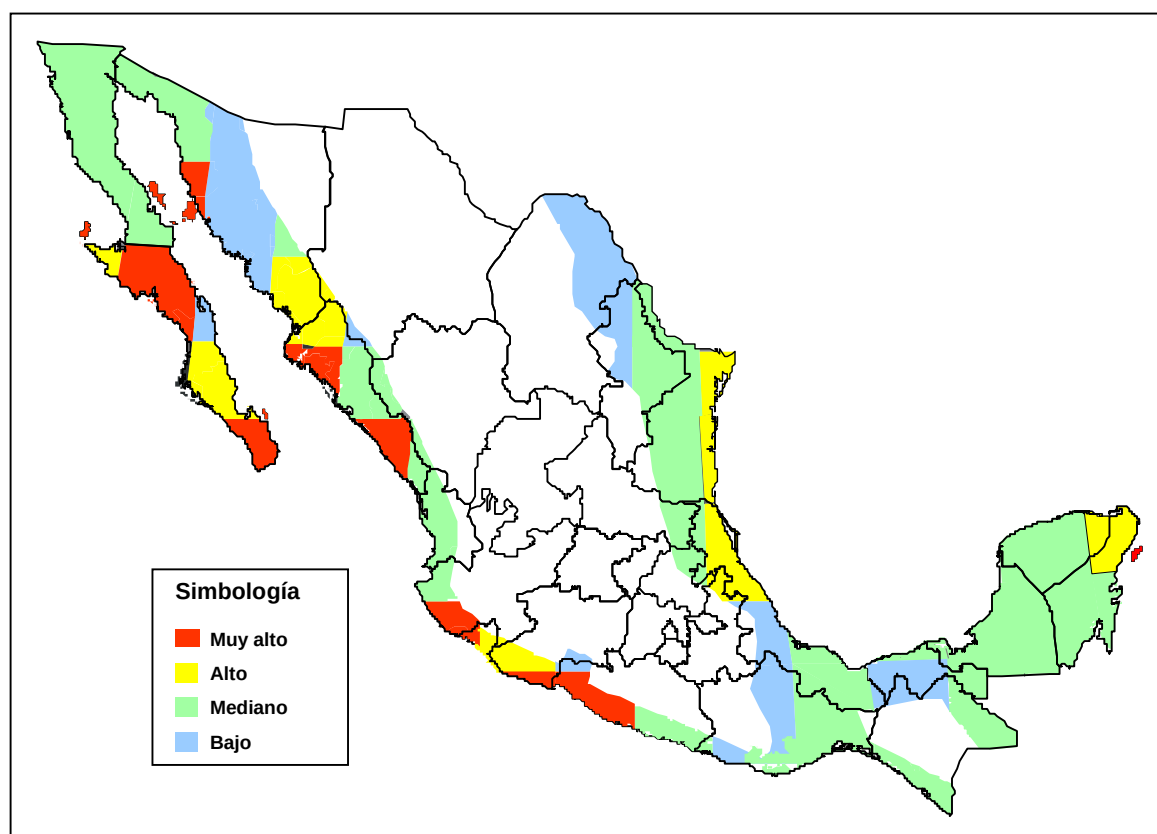


La República Mexicana, debido a su ubicación entre los paralelos 16° y 32° latitud norte y por la gran extensión de litorales con que cuenta, es afectada por ciclones tanto en las costas del océano Pacífico como en las del Golfo de México y el Caribe. Por lo mismo, los asentamientos humanos cercanos a las costas, están expuestos a la influencia de las perturbaciones ciclónicas. Las áreas afectadas regularmente abarcan más del 60 % del territorio nacional. Se ha observado que en México, entre mayo y noviembre, se presentan 25 ciclones en

promedio con vientos mayores de 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. En la figura 72 se muestra el mapa de peligros por incidencia de ciclones tropicales en el periodo de 1960 a 1995.

Un ciclón, así como cualquier fenómeno natural, puede ocasionar un desastre de diversas proporciones. Su impacto destructivo

Figura 72. Mapa de peligros por incidencia de ciclones



El mapa de peligro por incidencia de ciclones tropicales se elaboró a partir de un estudio llevado a cabo por el área de Riesgos Hidrometeorológicos "Probabilidad de presentación de ciclones tropicales en México" del Dr. Óscar Fuentes Mariles y la M. en I. María Teresa Vázquez Conde, el cual consiste en analizar estadísticamente la incidencia de trayectorias de ciclones tropicales en una malla de cuadros de 2° de latitud por 2° de longitud, a partir de una base de datos con un periodo histórico que comprende de 1960 a 1995.

Una vez que se determinó la malla de estudio sobre la República Mexicana se trazaron las trayectorias de ciclones tropicales sobre la misma y se calculó la probabilidad de que pase un ciclón tropical en cada uno de los cuadros, con lo cual se puede contar con un criterio para definir un nivel de peligro muy alto, alto, mediano y bajo.

Además se eligió un área de estudio que comprende desde la línea de costa hasta la elevación 1000 msnm. que comprende una franja que va de los 50 a los 250 km, y que se considera como límite de influencia de los ciclones tropicales.

depende no sólo de su intensidad, sino también de la conformación urbana que tengan las poblaciones.

Los principales efectos de los ciclones son:

Viento. 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. Los huracanes tienen vientos mayores a los 120 km/h que son muy peligrosos para la navegación (por el oleaje 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.

Precipitación. 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.

Marea de tormenta. Corresponde a la sobrelevación del nivel medio del mar (de más de 1.0 m) en la costa. Esta sobrelevación se produce por el viento que sopla en dirección normal a la masa continental. El máximo ascenso del mar ocurre cuando a la marea de tormenta se le suma la habitual (debida a la atracción de la Luna y el Sol sobre la Tierra, que se le llama astronómica). Como al incremento del nivel medio del mar se le agrega el oleaje que está produciendo el viento, no es obvio percatarse de la existencia de dicha sobrelevación. Sin embargo, a ello se debe que las olas impacten sobre estructuras que estaban tierra adentro.

Paradójicamente la marea de tormenta es la manifestación menos obvia de un ciclón para la población en general y a la vez es la que mayor número de muertes produce, ya que su efecto principal es la inundación de las zonas costeras bajas. Esta cubre una extensa franja a lo largo de la costa, afectando a las propiedades y habitantes ubicados dentro de ella.

Oleaje. 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.

Las características de daños materiales e inundaciones de la tabla 35 se basan solamente en aquellos causados por el viento, marea de tormenta y oleaje. Los efectos por lluvia son considerados de acuerdo con la topografía, corrientes naturales y condiciones del suelo de la región donde ocurrió.

En la tabla 36 se hace una descripción de los daños provocados por los huracanes más importantes que se han presentado en la República Mexicana en los últimos años. De igual forma, se presentan las trayectorias de los mismos en la figura 73 en cuyo fondo del mapa se aprecia en diferentes intensidades de color las probabilidades de paso de un huracán entre los 16° y 32° latitud norte y los 84° y los 116° longitud este.

La población que puede afectarse anualmente por la presencia de un ciclón se muestra en la tabla 37.

Como medidas de prevención de daños contra ciclones, el Centro Nacional de Preven-

Tabla 36. Daños provocados por los huracanes más destructivos que han afectado a la República Mexicana.

Fecha	Huracán	Océano	Edos. afectados	Víctimas	Damnificados	Daños
1955 ¹		Atlántico				
4-6/09	Gladys		Ver., Tamps,			Inundaciones en las zonas bajas de la ciudad de Tampico.
10/09	Hilda		SLP,		1200 ²	Inundación de la ciudad de Tampico, con una altura máxima de 3.30 m sobre la media marea, el 25 de septiembre.
21-30/09	Janet		Yuc. y Q. Roo	12000 ²	52530 ²	La cortina de la presa San José, S. L. P fue sobrepasada sin fallar ésta. Parte de la Cd. de S.L.P. se inundó. Puentes dañados. Viviendas en Soledad D. Gutiérrez fueron destruidas por el desbordamiento del río Santiago el 30 de septiembre. Inundación en Tampico con un nivel máximo de 5.88 m, el 6 de octubre. Pérdidas de aproximadamente 20 000 cabezas de ganado.
1959	Ciclón de Manzanillo	Pacífico	Col. y Jal.	1500	>1600	Una flota de tres barcos mercantiles naufragaron. 25% de las casas en Cihuatlán fueron totalmente destruidas. Carreteras dañadas trenes descarrilados.
1967 8-23/09	Beulah	Atlántico	Tamp., N.L., Yuc. y Q. Roo	19	100000	Severas inundaciones en las ciudades de Reynosa y Matamoros. Vientos de hasta 200 km/h. Daños severos en Cozumel con el 40 % de las casas destruidas. Fueron dañados barcos y muelles en la costa este de Yucatán. Hubo pérdida en cultivos de maíz.
1967 29/08-2/09	Katrina	Pacífico	Gro., B.C.S., B.C., Son., Nay.	15	30000	Daños importantes en los túneles de la presa Infiernillo por cavitación.
1968 10-13/09	Naomi	Pacífico	Col., Sin., Dgo., Jal., Coah., Son. y Chih.	10	50000	60 000 ha. de cultivo afectadas. Severas inundaciones en Torreón, Gómez Palacio, Chihuahua y otras ciudades en Jal. y Sin. Caminos y zonas agrícolas dañadas.
1976 29/09-1/10	Liza	Pacífico	B.C.S. y Son.	>1000	10000-12000	Se produjo una avenida súbita en la ciudad de La Paz con graves inundaciones. Ello se debió a la falla de un bordo de protección de la ciudad.
1988 14-17/09	Gilbert	Atlántico	Yuc., Q. Roo, Camp., Tamps., N.L. y Coah.	250	150000	Vientos de hasta 300 km/h en Cozumel con oleaje de hasta 5 m de altura. Resultaron seriamente dañadas amplias zonas turísticas, agrícolas y boscosas. Sobrelevación del nivel medio del mar cercana a 2.5 m. Los daños por precipitación pluvial se registraron básicamente en N. L., Coah. y Tamps. El mayor número de víctimas (200 muertos) se registró en la ciudad de Monterrey sobre el río Santa Catarina. Decenas de miles de viviendas afectadas.
1993 17-21/09	Gert	Atlántico	Ver., Hgo., S.L.P. y Tamps.	40	75000	Se desbordó el río Tamesí. En el estado de Hidalgo se registraron 35 municipios afectados; 15 decesos; 17 390 damnificados; 4,425 viviendas afectadas; 18 carreteras; 68 caminos; 38 puentes; 35 ríos desbordados; 23 sistemas de agua potable; 67 600 hectáreas de cultivos y 361 comunidades incomunicadas. En el estado de San Luis Potosí 25 decesos; 55,000 damnificados; pérdidas en un 80% de las cosechas. Una gran cantidad de cabezas de ganado se perdieron. En Tamaulipas se inundaron 22 municipios, 17 colonias en Tampico y 11 colonias en Altamira. Veracruz resultó dañado por inundaciones sin pérdida de vidas.
1995 12-16/09	Ismael	Pacífico	Son., Sin. y B.C.S.	150-200	24111	Una intensa lluvia se registró sobre Guasave la cual provocó la inundación de algunas áreas por espacio de varias semanas. En Ahome resultaron destruidas 373 casas por el efecto del viento. Murieron pescadores en Sinaloa. 40 embarcaciones fueron hundidas. Se interrumpieron los principales servicios públicos. 4728 casas destruidas por inundación y 21500 ha. de cultivos afectadas.
1995 27/09-5/10	Opal	Atlántico	Ver., Camp., Tab., Q. Roo y Yuc.	45	250000	19 personas murieron debido a inundaciones. Se desbordaron los ríos Grijalva y Usumacinta. En Cd. del Carmen el 90% de las casas fueron dañadas. 300 reses perecieron en Campeche. Se dañaron varios puentes y carreteras. En Yucatán más de 200 embarcaciones sufrieron deterioro.
8-20/10	Roxanne	Atlántico	Ver., Camp., Tab., Q. Roo y Yuc.	6	40000	Los ríos Nautla, Colipa, Actopan, Misantla, Bobos, Grijalva y Usumacinta se desbordaron. Se presentó la peor marejada de Veracruz en los últimos 50 años. Cd. del Carmen se inundó en un 95%. En Campeche se perdieron el 80% de cultivos de maíz, 50% de la actividad pecuaria, 30% de la avicultura y 60% de ganadería. En Tabasco 3000 reses perecieron. En Q. Roo 60% de los 850 km de playa fueron arrasadas, 350000 ha de vegetación diversa se perdieron, se perdió el 90% de la cosecha de maíz y chile y 65000 aves murieron. La característica particular de este huracán fue su trayectoria tan irregular.
1997 5-10/10	Pauline	Pacífico	Gro. y Oax.	393	>50000	54000 casas dañadas, 122282 ha. de cultivos dañados y 80000 ha. de bosques y selva perdidos en Oaxaca. Se presentaron inundaciones, 20 puentes carreteros y varias carreteras se dañaron. Hubo 350 deslizamientos e interrupción de servicios públicos.

¹ Esta serie de huracanes se presentaron secuencialmente y afectaron a la cuenca del Pánuco.² Las muertes se dieron principalmente en las huastecas veracruzana y potosina. Se incluyen las muertes provocadas por el huracán Hilda.

Elaboró: Ma. Teresa Vázquez Conde

Tabla 37. Población potencialmente afectada por la ocurrencia de ciclones tropicales en México.

Estado	Núm. de hab. ¹	Población afectada (%)
Aguascalientes	862720	2.7
Baja California	2112140	13.0
Baja California Sur	375494	55.3
Campeche	642516	19.9
Coahuila	2173775	2.7
Colima	488028	50.1
Chiapas	3584786	10.5
Chihuahua	2793537	15.4
Distrito Federal	8489007	2.7
Durango	1431748	8
Guanajuato	4406568	10.5
Guerrero	2916567	41
Hidalgo	2112473	10.5
Jalisco	5991176	50.1
Estado de México	11707964	10.5
Michoacán	3870604	22.1
Morelos	1442662	2.7
Nayarit	896702	13
Nuevo León	3550114	13
Oaxaca	3228895	24.3
Puebla	4624365	17.7
Querétaro	1250476	10.5
Quintana Roo	703536	30.3
San Luis Potosí	2200763	10.5
Sinaloa	2425675	32.2
Sonora	2085536	15.4
Tabasco	1748769	10.5
Tamaulipas	2527328	22.1
Tlaxcala	883924	2.7
Veracruz	6737324	17.7
Yucatán	1556622	26.3
Zacatecas	1336496	8

¹ Datos del INEGI, **Censo General de Población**, 1995.

² Cálculo obtenido del estudio Probabilidad de Ciclones Tropicales en México, ver página 28.

ción de Desastres ha desarrollado Sistemas de Alerta Temprana en varias ciudades con riesgo de inundaciones en la República Mexicana.

El objetivo de estos sistemas de alerta es avisar con anticipación de la ocurrencia de inundaciones o desbordamientos de ríos. Se basan en la medición telemétrica, de la lluvia y niveles de agua de los ríos, en varios sitios estratégicos de la ciudad y en un procesamiento hidrológico, que considera las condiciones particulares del lugar. La aplicación del sistema se muestra en las pantallas de dos

computadoras personales, tanto la precipitación y niveles que están presentándose cada 10 minutos, como el estado que tendrán los arroyos y ríos más importantes e indica si se llega a valores de peligro.

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 73. Probabilidad de paso de un huracán en el periodo de 1960 a 1995 y trayectoria de los huracanes más destructivos que han afectado al país

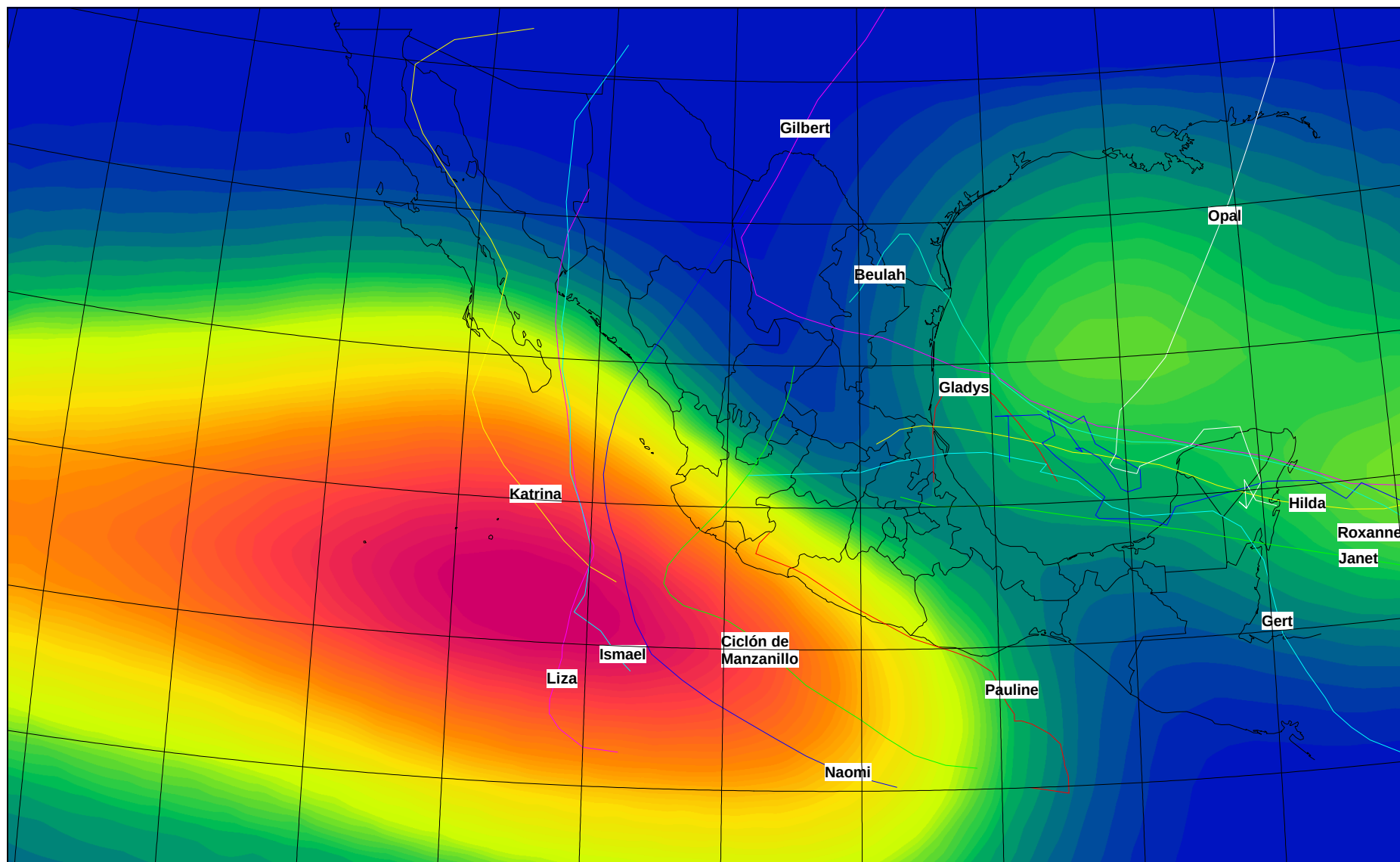
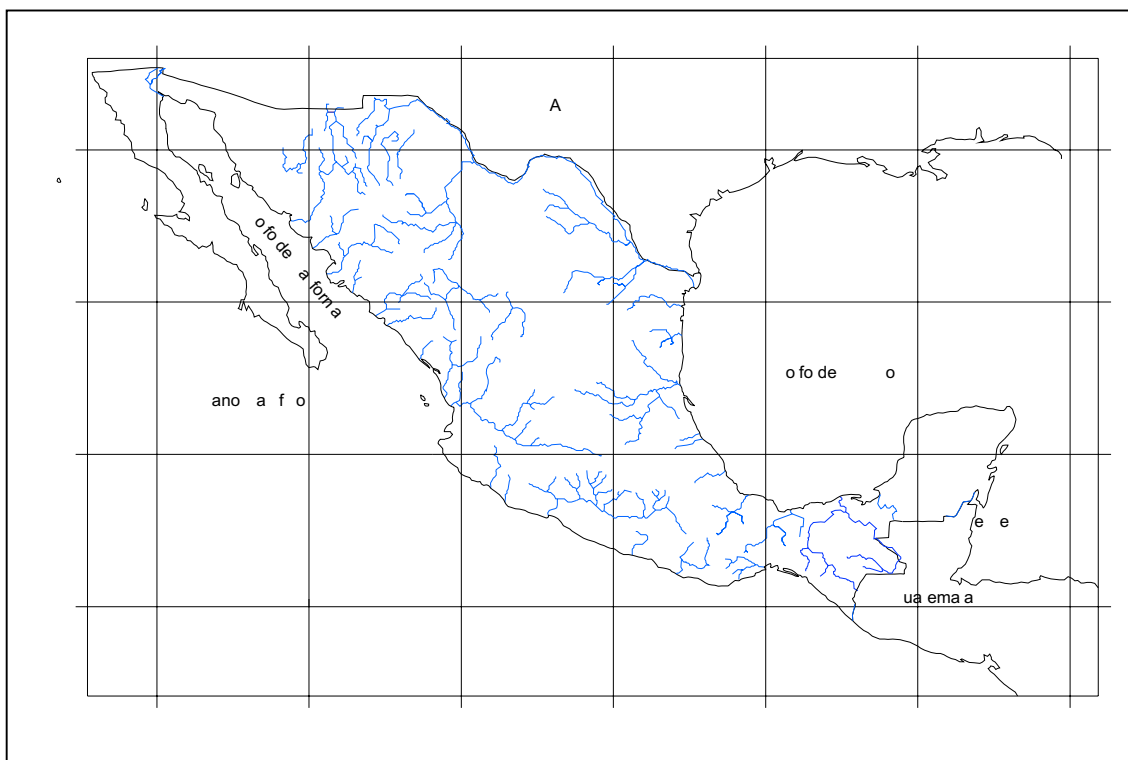


Figura 75. Principales ríos de la República Mexicana



Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Dirección General de Geografía. Cartas Topográficas Escala 1:1'000,000.

Nota: Los nombres y características de los ríos, de acuerdo con su número se sitan en la tabla 38.

La infraestructura hidráulica de México tiene una capacidad de almacenamiento de 150,000 millones de m³, equivalente a 37% del escurrimiento medio anual del país, con lo cual se regulan las variaciones estacionales y anuales.

Por otra parte, una presa puede ser fuente de riesgo, por una ruptura o cuando desaloja un gran volumen de agua almacenada en un lapso corto. Una presa es considerada particularmente peligrosa, desde el punto de vista de vidas humanas, cuando aguas abajo de la misma existen poblaciones con más de 200 viviendas o mayores de 1000 habitantes que pueden ser afectados por las aguas desalojadas por la presa; o bien, desde el punto de vista de daños potenciales, cuan-

do existen centros de intensa actividad industrial o áreas con un alto índice de productividad agrícola o explotación diversa, de 500 o más hectáreas, en la zona a la que pueden cubrir las aguas provenientes de estos embalses.

En la tabla 39 se presenta un censo de las presas hasta mayo de 1987, en el cual se cita tanto el número de presas, como el de aquéllas en las que se considera de mayor riesgo en cada entidad federativa, según la Comisión Nacional del Agua. De acuerdo con esta fuente de información, los estados que han tenido más de 100 inundaciones en un período de 39 años (1950-1988) se muestran, por orden de importancia, en la tabla 40.

Tabla 38. Principales ríos de la República Mexicana.

No.	Ríos	Escorrentamiento Medio Anual (hm ³)	Vertiente	Sección
1	Colorado	1868	Pacífico	Norte
2	Sonora	203		
3	Yaqui	6534		
4	Mayo	965		
5	Fuerte	4973		
6	Sinaloa	1744		
7	Culiacán	3141		
8	San Lorenzo	1735		
9	Acaponeta	1619		
10	San Pedro			
11	Lerma-Santiago	20976		Centro
12	Armería	1141		
13	Coahuayana	1313		
14	Balsas	11911		
15	Papagayo	4167		
16	Verde	5302		
17	Tehuantepec	1030	Del Golfo	Sur
18	Suchiate	2605		Norte
19	Bravo	6383		
20	Conchos	2346		
21	Salado	1053		
22	Pesquería			
23	San Fernando	635		
24	Soto La Marina	1182		
25	Tamesí	2264		
26	Pánuco	13284		
27	Tuxpan	2073		Centro
28	Cazones	2265		
29	Tecolutla			
30	Jamapa			
31	Papaloapan	52200		
32	Coatzacoalcos			Sur
33	Uxpana			
34	Grijalva	45842		
35	Usumacinta	81393		
36	Candelaria	1591		
37	Hondo	1633		
38	Casas Grandes	91	Del Interior	Comarca de los Pueblos Indios
39	Santa María	55		Comarca Lagunera
40	Carmen	116		
41	Nazas	1111		
42	Aguanaval	3149		

Tabla 39. Presas registradas por entidad federativa y censadas, con riesgo detectado (1987).

No.	Estado	Registradas	Con riesgo
1	Aguascalientes	74	2
2	Baja California	20	15
3	Baja California Sur	16	
4	Campeche		
5	Coahuila	139	19
6	Colima	45	
7	Chiapas	23	7
8	Chihuahua	132	60
9	D.F.	27	20
10	Durango	306	80
11	Guanajuato	220	87
12	Guerrero	31	19
13	Hidalgo	165	15
14	Jalisco	276	108
15	México	194	54
16	Michoacán	252	50
17	Morelos	125	79
18	Nayarit	54	3
19	Nuevo León	164	55
20	Oaxaca	94	
21	Puebla	70	
22	Querétaro	127	
23	Quintana Roo		
24	S.L.P.	147	8
25	Sinaloa	37	24
26	Sonora	39	13
27	Tabasco		
28	Tamaulipas	152	20
29	Tlaxcala	21	
30	Veracruz	58	41
31	Yucatán	1	
32	Zacatecas	202	21
Total		3211	800

Fuente: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Comisión Nacional del Agua. Subdirección General de Administración del Agua.

Tabla 40. Estados con más inundaciones

Estado	Número de Inundaciones
Veracruz	417
Sonora	262
Jalisco	202
México	153
Guanajuato	149
Michoacán	121
Guerrero	118
Durango	117
Tamaulipas	112
Nayarit	108

Un importante fenómeno hidrometeorológico asociado al escurrimiento, poco estudiado en México, que puede causar daños de importancia es el escurrimiento súbito que se describe a continuación.

Escurrecimientos súbitos

Son escurrimientos con un cambio muy rápido en la cantidad de agua que está fluyendo. Se generan a partir de lluvias intensas que duran varias horas, por la falla o ruptura de alguna estructura de contención (natural o artificial), o bien, por la descarga del agua desde una presa. En cualesquiera de estos eventos las corrientes tienen una gran velocidad.

Los principales factores que contribuyen al fenómeno de escurrimientos súbitos son los siguientes:

- **Intensidad de la lluvia.** Se refiere a la altura de la lámina de precipitación que se presenta en un intervalo de tiempo corto (menor de 24 horas).
- **Saturación del suelo.** Estado que presenta el suelo cuando se ocupan sus vacíos con agua y la infiltración es pequeña (capacidad de campo).
- **Pendiente del terreno.** En los suelos con fuerte inclinación de la superficie, el escurrimiento superficial se desarrolla con velocidades grandes, por lo que se pueden transportar distintos tipos de sólidos.

Un escurrimiento súbito frecuentemente produce inundaciones. Ocurren inmediatamente después de que se inicia la precipitación, o poco después de la falla de una presa o del desbordamiento de un río.

En ciudades como la de México, en la zona poniente, se presenta con frecuencia una precipitación intensa en zonas de topografía abrupta. De igual modo, en la costa de Chiapas, Acapulco, Guerrero, Sierra Norte de Puebla y en la península de Baja California existen regiones que son afectadas por este tipo de eventos que son de peligro para los habitantes. En la tabla 33 se consignan algunos escurrimientos súbitos que han causado daños en México.

Con algunos de los eventos máximos registrados y la recurrencia y la magnitud de cada fenómeno, se elaboró el mapa de riesgos por escurrimientos súbitos mostrado en la figura 76. Debido a la naturaleza del fenómeno, el pronóstico de los escurrimientos súbitos es difícil de realizar. Sin embargo, se ha estudiado la relación entre las lluvias intensas de las estructuras físicas de las nubes que provocan precipitaciones de más de 100 mm en 24 horas. Para su análisis se determinan las características de las precipitaciones (intensidad, duración, extensión y efectos) y se clasifican los sistemas de nubes asociados.

Además, para el pronóstico de inundaciones es necesario conocer el estado inicial del suelo, el contexto morfológico de la cuenca en estudio, la ocupación del suelo y las poblaciones e infraestructuras expuestas, de tal manera que se tenga una base de datos permanente. Esta etapa es indispensable para la prevención de desastres por avenidas súbitas.

Tabla 41. Reseña histórica de los principales escurrimientos súbitos registrados en México.

No.	Fecha	Estado	Municipio	Descripción
1	3/ago/09	N.L.	Monterrey	Pérdidas por 20 millones de pesos y cerca de 1000 personas ahogadas.
2	10/jun/37	Michoacán	Tlalpujahua	Más de un centenar de desaparecidos. Los bordos de contención se rompieron en la presa de «jales» de la mina Dos Estrellas.
3	12/sep/44	Chih. y Dgo.		Cerca de 100 muertos y miles de heridos. Parral incomunicado; en Bermejillo, Dgo, se derrumbaron más de 100 casas.
4	10/sep/85	Nayarit		Pérdidas estimadas en 4200 millones de pesos; 48000 damnificados.
5	10/sep/90	D.F.	Coyoacán	Inundaciones de más de medio metro después de dos horas de aguacero con tormentas eléctricas.
6	8/ago/90	Chihuahua	Serrana de Madera	Fuertes avenidas de un río arrasaron con más de 300 viviendas en la población.
7	10/nov/93	B.C.S.	Los Cabos	10000 damnificados por las lluvias en los Cabos. Las fuertes lluvias alcanzaron 670 mm en 24 horas, casi tres veces el promedio anual.
8	8/sep/98	Chiapas	Milpa Alta	407 muertos, 353 poblaciones afectadas y 28753 damnificados.
9	17/ago/98	D.F.	Tijuana	Intensas precipitaciones a causa de una lluvia intensa, 57 mm en 50 minutos; la precipitación más intensa en los últimos 60 años. Provocó la caída de árboles y postes de energía eléctrica.
10	8/feb/98	B.C.		Desalojo en Tijuana y Rosarito por las lluvias de El Niño. Casi 1000 damnificados y un total de 584 personas en albergues luego que sus viviendas fueron destruidas o dañadas por las corrientes y deslaves de toneladas de lodo provocados por las intensas lluvias, dejando 14 muertos y más de 50 colonias inundadas.

Figura 76. Ciudades de la República Mexicana con riesgo debido a escurrimientos súbitos

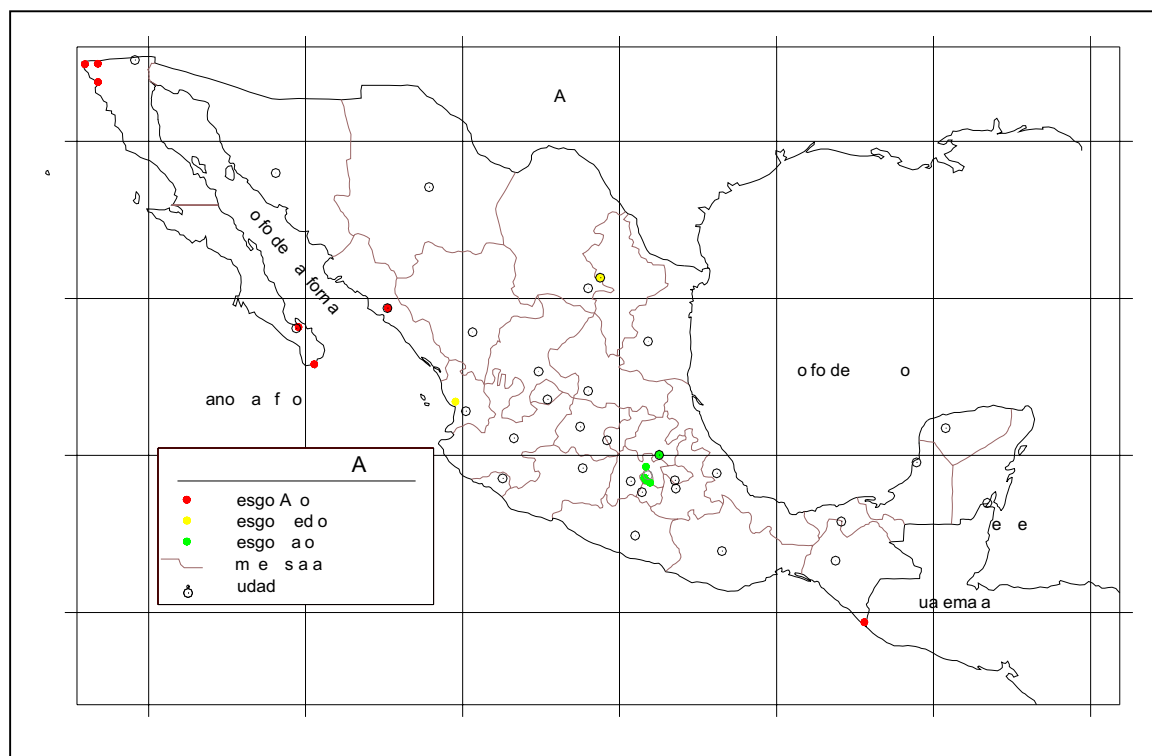


Figura 77. Efectos del Huracán Mitch en Nicaragua durante 1988



Deslizamientos de tierra provocados por las lluvias intensas del huracán Mitch, en Nicaragua, en 1988, sepultando las poblaciones de El Porvenir y Rolando Rodríguez.

INUNDACIONES

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 (figura 78).

Figura 78. Inundación ocurrida en el Estado de Veracruz, noviembre de 1999



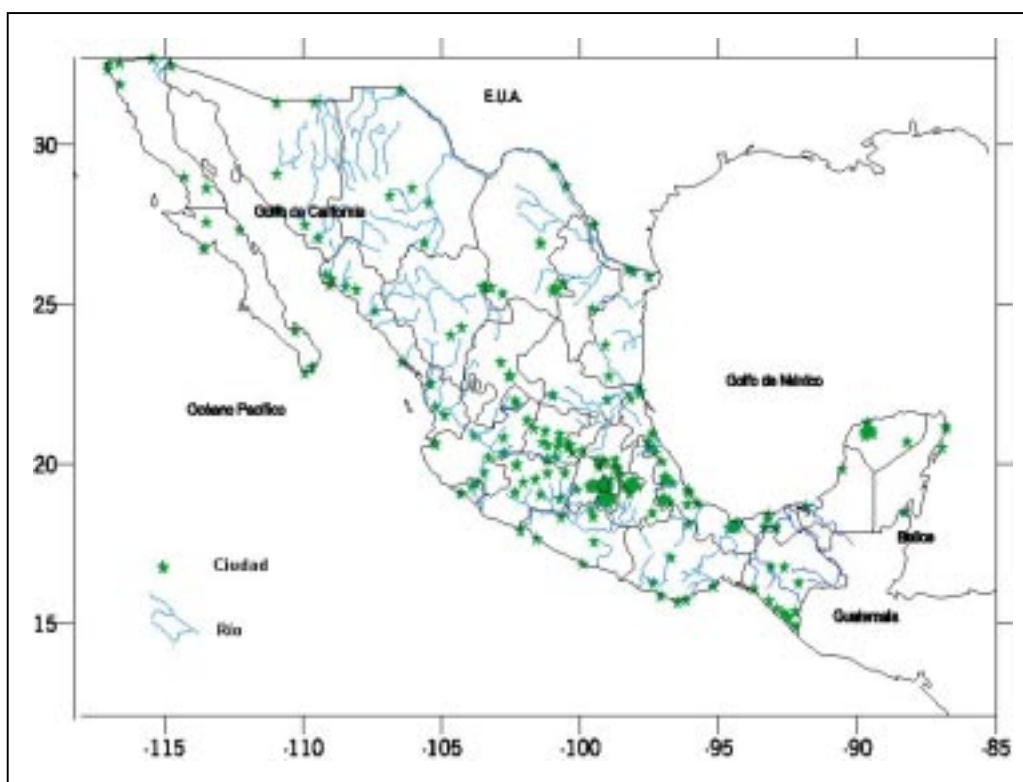
Para el estudio de las inundaciones se deben considerar los aspectos principales que influyen en toda una región de forma conjunta o integral. De otro modo, al disminuir la inundación en una parte de la región, se puede provocar una más desfavorable, en otra donde no existía este exceso de agua.

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 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.

En la figura 79 se muestra la ubicación de las principales ciudades donde ocurren inundaciones. Ella se formó a partir de reportes periodísticos, en los datos del estudio “Programa de las cien ciudades”, dentro del tema Agua (CNA, 1994) y del informe técnico “La Infraestructura Urbana y la Disponibilidad de Agua” (Herrera, 1996).

Figura 79. Ciudades con mayor riesgo de inundaciones en la República Mexicana.



En el mapa de la figura 80 se aprecian las zonas susceptibles de inundaciones y que puedan causar daños importantes. Para el Distrito Federal se cuenta con la información mostrada en la figura 82, que está basada en avenidas súbitas y escurrimientos con lodo.

Estos mapas pueden utilizarse como guía para la delimitación de zonas de inundación, aunque una definición más precisa de estas áreas se consigue sólo a través de estudios hidrológicos e hidráulicos específicos.

Figura 80. Zonas de peligros por a inundaciones en la República Mexicana

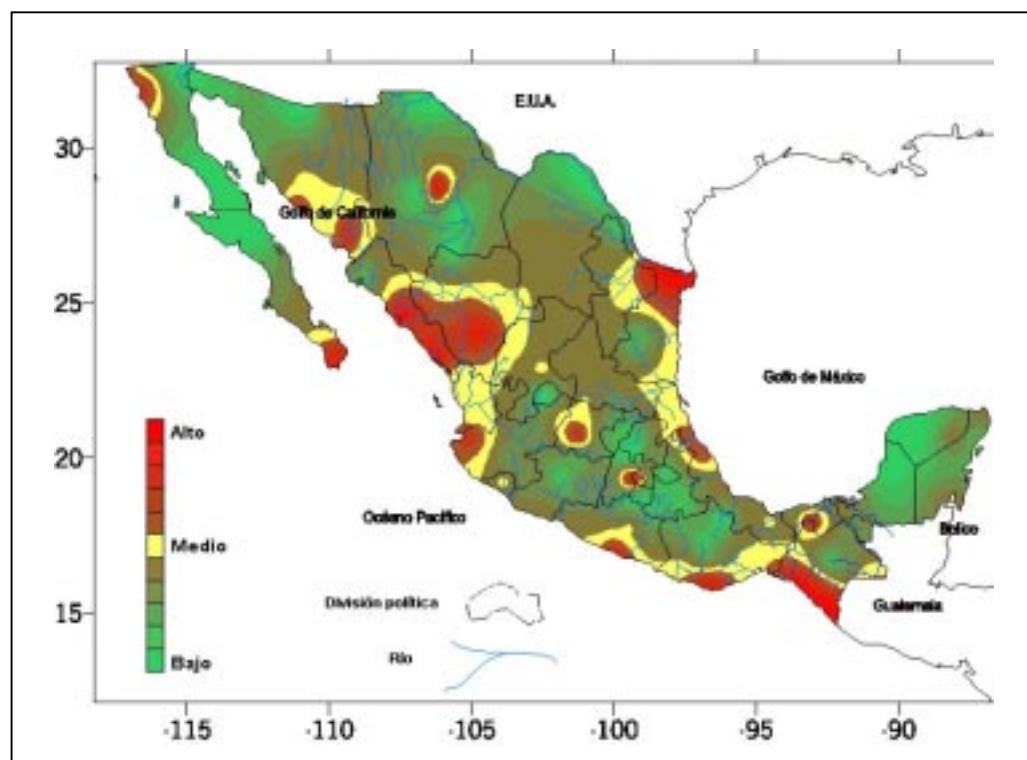


Figura 81. Huellas de inundación en el río Cazones



Figura 82. Zonas de peligro por inundaciones en el Distrito Federal basadas en avenidas súbitas y escurrimientos de lodo

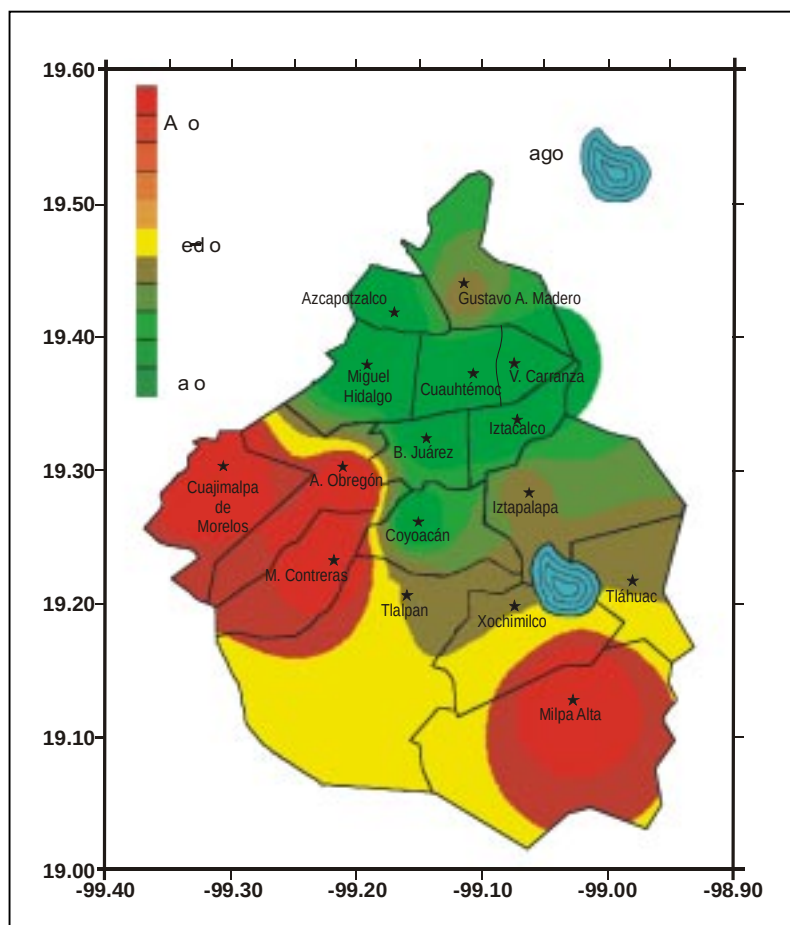


Figura 83. Obra de protección provisional en Villa Hermosa, Tabasco durante las inundaciones de 1999



Tabla 42. Daños por inundaciones en diversas ciudades de la República Mexicana.

Lugar	Evento y causa	Datos de lluvia	Daños	Magnitud de la inundación
Tampico y Cd. Madero (Tamps.)	18-sep-55 Intensas lluvias e inundaciones originadas por los huracanes Hilda y Janet.	No se tienen datos.	12000 personas perecieron y 52530 damnificados. Se perdieron 20000 cabezas de ganado; daños a las vías de comunicación, al servicio de agua potable y eléctrico.	Los vientos por Hilda alcanzaron los 270 km/h, la inundación rebasó los 5.88 m sobre el nivel medio del mar. Se vieron afectados 6400 km ²
Cancún (Q. R.)	14-sep-88 Fuertes vientos y precipitaciones como consecuencia del huracán Gilbert.		Caída de naves industriales, anuncios publicitarios, muros de mampostería, arrastre de embarcaciones pesqueras, suspensión del suministro eléctrico, telefónico y socavación del material de cimentación en edificios.	Se registraron olas de hasta 5 metros de alto.
Puerto Juárez (Q.R.)	14-sep-88 Fuertes vientos y precipitaciones como consecuencia del huracán Gilbert.		Arrastre de embarcaciones debido a la marea de tormenta, socavación de material de cimentación en edificios y suspensión del servicio eléctrico y telefónico.	Se registraron olas de hasta 5 metros de alto.
Puerto Progreso (Yuc.)	14-sep-88 Fuertes vientos y precipitaciones como consecuencia del huracán Gilbert.		Caída de anuncios publicitarios, arrastre de embarcaciones, suspensión del servicio eléctrico y telefónico.	El nivel del mar subió hasta 2.5 metros sobre su nivel habitual provocando graves inundaciones.
Monterrey (N. L.)	18-sep-88 Fuertes lluvias a causa del huracán Gilbert.	400 milímetros en 48 horas.	200 muertos, 20000 damnificados, daños a vías terrestres. Caída de varios puentes carreteros y suspensión del suministro de agua potable.	El cauce del río Santa Catarina se llenó a su capacidad; el ancho del río es de 200 m.
Tijuana (B.C.)	07-ene-93 Fuertes lluvias a causa de que se presentaron dos tormentas tropicales y un frente frío.	101.7 milímetros en menos de 4 horas.	33 muertos, 92 desaparecidos, fugas de gas e incendios, cierre del aeropuerto, varias casas y carros arrastrados, 6500 damnificados, pérdidas por 330 millones de pesos.	Deslaves e inundaciones en 50 colonias, 45% de la ciudad incomunicada, en las partes bajas de la ciudad el agua alcanzó 2 metros de altura, se registraron olas de 4 metros, y la presa Abelardo L. Rodríguez desfogó 361 metros cúbicos por segundo.
Puerto Escondido (Oax.)	8-oct-97 Ráfagas de viento con lluvia a causa del huracán Pauline.		Caída del puente río Arenas, cierre del aeropuerto, suspensión del servicio de agua potable, telefónico y de luz.	Las olas alcanzaron los 9 metros.
San Miguel Panixtlahuaca (Oax.)	8-oct-97 Ráfagas de viento con lluvia a causa del huracán Pauline.		14 muertes, sesenta viviendas arrastradas por la corriente del río Panixtlahuaca y cientos de damnificados.	Paulina alcanzó a entrar con gran fuerza hasta 50 kilómetros al territorio oaxaqueño.
Acapulco de Juárez (Gro.)	9-oct-97 Fuertes remolinos, avalanchas de lodo y agua debido al huracán Pauline.	411 milímetros en 4 horas.	147 muertos, 141 desaparecidos, 50000 damnificados, obstrucción de carreteras, suspensión del suministro de agua potable a causa de la inundación de pozos de almacenamiento y la ruptura de tuberías, cientos de vehículos arrastrados, interrupción de los servicios de agua potable y electricidad.	El nivel del agua alcanzo 3 metros en la playa la Condesa, hubo obstrucción de las carreteras Acapulco-Zihuatanejo, Acapulco-Pie de la Cuesta y Acapulco-México libre.
Tijuana (B.C.)	8-feb-98 Intensas precipitaciones acompañadas de fuertes vientos y tormentas eléctricas ocasionadas por El Niño.	55 milímetros en 6 horas, más 250 milímetros que habían caído en los días anteriores.	15 muertos, 7 desaparecidos, más de 500 damnificados, suspensión de los servicios eléctrico y de agua potable, desbordamiento de canales pluviales y daños materiales por más de 55 millones pesos.	Más de 50 colonias sufrieron deslaves e inundaciones, el nivel del agua subió hasta 1.5 metros en algunas zonas de la ciudad, cierre de las carreteras Tijuana-Mexicali, Tijuana-Ensenada y Tijuana-Tecate.
Ciudad Hidalgo (Mich.)	23-jun-98 Un alud de lodo y piedras acompañado de fuertes lluvias a causa de una tormenta.		Cuatro muertos y varias casas destruidas.	No se registra.
Cuajimalpa (D.F.)	25-jul-98 Desborde del río San Borja a causa de una tromba.	42 milímetros.	Cuatro muertos, 26 casas inundadas parcial o totalmente, tres vehículos arrastrados por la corriente y 80 damnificados.	El nivel del agua alcanzó hasta un metro.
Milpa Alta (D.F.)	17-ag-98 Intensas precipitaciones a causa de un chubasco.	57 milímetros en 50 minutos.	Dos muertos, 20 vehículos dañados, 10 bardas, un puente; el total de daños materiales se estimó en 80 millones de pesos.	La inundación afectó 60 casas, dos escuelas, un parque infantil y 22 hectáreas de sembradíos.

Tabla 42 (continuación). Daños por inundaciones en diversas ciudades de la República Mexicana.

Lugar	Evento y causa	Datos de lluvia	Daños	Magnitud de la inundación
Ciudad Acuña (Coah.)	24-ag-98 Lluvias torrenciales a causa de la tormenta Charley.	350 milímetros en 5 horas.	11 muertos, 22 desaparecidos, 5600 damnificados, suspensión del servicio de agua potable y teléfono.	Se presentaron inundaciones en el 70% de la ciudad, con tirantes que alcanzaron 2 metros.
Nuevo Laredo (Tamps.)	26-ag-98 Desbordamiento del río Bravo a causa de la tormenta Charley.	350 milímetros.	350 familias evacuadas, fallas en el suministro de agua potable e interrupción del tráfico vehicular y peatonal por los puentes internacionales.	Autoridades informaron que la cresta del río alcanzó 11.6 metros de alto.
Guasave (Sin.)	2-sep-98 Intensas precipitaciones a causa del huracán Isis.	266 milímetros	Dos muertos, 1400 damnificados, suspensión de los servicios de agua, luz y teléfono. Las pérdidas materiales ascienden a mas de 50 millones de pesos.	Aproximadamente el 80 % del municipio sufrió inundaciones.
Los Cabos (B.C.S.)	2/sep/1998 Fuentes vientos e intensas precipitaciones a causa del huracán Isis.	406 mm (no se especifica el tiempo).	Dos muertos, cientos de damnificados, suspensión de los servicios de agua, electricidad y teléfono.	El agua arrasó con casas y vehículos, con tirantes de agua que superaban el metro de alto.
Pijijiapan (Chis.)	9-sep-98 Desborde del río Pijijiapan y avalanchas de lodo a causa de las intensas lluvias.	350 milímetros en 48 horas.	43 personas muertas, 79 desaparecidos, 15000 damnificados, caída del puente carretero «Los patos», suspensión de los servicios de agua, luz y teléfono.	El río Pijijiapan desapareció cinco comunidades, arrasó con cientos de cabezas de ganado, así como de cultivos de café, cacao y bananos.
Huixtla (Chis.)	9-sep-98 Desborde del río Huixtla y avalanchas de lodo a causa de las intensas lluvias.	350 milímetros en 48 horas.	25 muertos, 26 desaparecidas, 4000 damnificados, caída de un puente ferroviario y de un puente carretero, desabasto de alimentos, medicinas y gasolina.	El desbordamiento del río Huixtla arrasó con tres comunidades.
Motuzintla (Chis.)	9-sep-98 Desborde de ríos y avalanchas de lodo a causa de las fuertes lluvias.	350 milímetros en 48 horas.	El municipio quedó incomunicado vía terrestre, 200 personas muertas, 35 desaparecidos, 8000 damnificados, escasez de alimentos, medicinas y combustible.	Más de 600 viviendas y dos escuelas fueron arrasadas por el desbordamiento de los ríos La mina, Xelajú y Allende.
Tapachula (Chis.)	9-sep-98 Desborde del río Coatan debido a las fuertes lluvias.	350 milímetros en 48 horas.	Interrupción de los servicios eléctrico, telefónico, de agua potable, desabasto de gasolina, cientos de damnificados y 2 muertos.	Ocho colonias resultaron inundadas por el desbordamiento del río Coatan, y dos comunidades fueron arrasadas por las lluvias.
Tonala (Chis.)	9-sep-98 Desborde de ríos a causa de las intensas lluvias.	350 milímetros en 48 horas.	Interrupción de los servicios. eléctrico, telefónico, de agua potable, 29 muertos, 42 desaparecidos y cientos de damnificados.	El área de inundación en el estado abarcaba 230 km. a lo largo de la costa y comprendía desde Tonalá a Tapachula.
Villa Comaltitlan (Chis.)	9-sep-98 Desborde de ríos y avalanchas de lodo a causa de las intensas lluvias.	350 milímetros en 48 horas.	Suspensión de los servicios de luz y agua potable, una comunidad fue arrasada por el desbordamiento del río, 30 personas muertas y 27 desaparecidos.	La altura que las avalanchas de lodo alcanzaron fue de dos metros aproximadamente; este fenómeno se repitió en varias comunidades del estado.
Escuintla (Chis.)	9-sep-98 Desborde del río Escuintla a causa de las fuertes lluvias.	350 milímetros en 48 horas.	Cientos de casas sepultadas e inundadas, tres torres de luz se cayeron dejando sin luz a miles de personas en la región, 44 muertos y 53 desaparecidos.	La mayor parte del valle de Escuintla permaneció inundado, por lo que se dificultó el aterrizaje de los helicópteros que llevaban ayuda a la población.
Salvatierra (Gto.)	09-sep-98 Desbordamiento de la presa Viborrillas por las fuertes lluvias.		Ocho muertos, un desaparecido y 60 familias damnificadas.	La inundación afectó 100 ha. de diversos sembradíos.
Mérida (Yuc.)	14-sep-98 Fuentes vientos y precipitaciones como consecuencia del huracán Gilbert.		Suspensión del servicio telefónico, eléctrico y agua potable. Caída de anuncios publicitarios, de muros de mampostería y de construcciones ligeras.	
Magdalena Contreras (D.F.)	28-sep-98 Desgajamiento de un cerro debido a las intensas precipitaciones pluviales.	33.2 milímetros.	Seis muertos, 100 familias afectadas y daños materiales aún incuantificables.	El nivel del agua subió más de un metro.
San Miguel de Allende(Gto.)	04-oct-98 Desbordamiento del arroyo Cachincha como consecuencia de las fuertes lluvias.		Un muerto, 20 desaparecidos, 1 mercado destruido y 800 damnificados.	La inundación afectó 4 colonias de la periferia, donde el agua alcanzó varios centímetros.

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 pre-

sión atmosférica y modificaciones en la circulación general de la atmósfera. Lo que ocurre por la alteración del albedo¹ superficial, 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 bióxido 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.

Figura 84. Efectos de la sequía



¹Albedo: Cociente entre la radiación que se refleja y la total incidente sobre una superficie.

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.

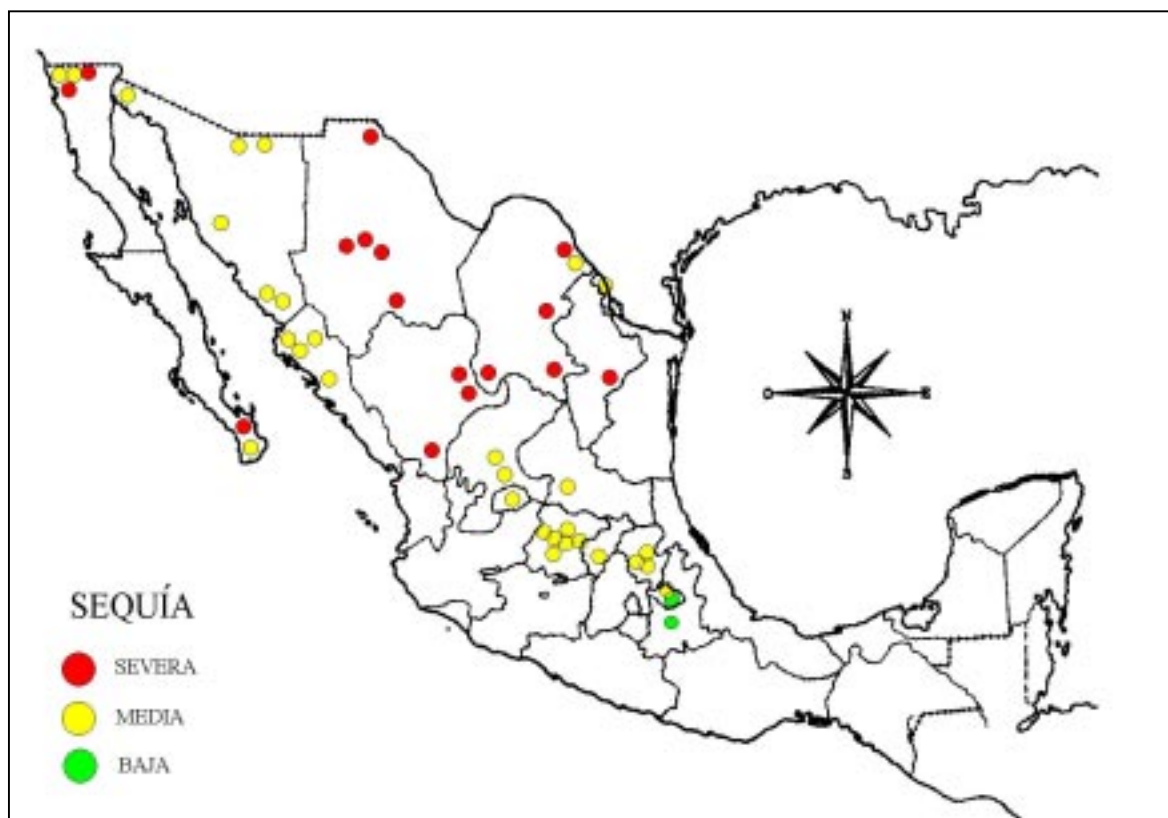
Existen regiones del planeta donde es más probable que se desarrollen las sequías; en especial la latitud del lugar es un factor de importancia, ya que a partir de la línea del ecuador hacia los polos, en forma alterna, se presentan las franjas de baja y alta presión atmosférica; las primeras corresponden a las áreas lluviosas y húmedas en el globo, desde el ecuador hacia los 60° de latitud norte y sur, y las segundas corresponden a zonas donde los vientos son secos y descendentes y no hay lluvia, están alrededor de los 30° norte y sur, y en los polos.

México tiene gran parte de su territorio en la franja de alta presión de latitud norte, por lo que tiene zonas áridas y semiáridas; ellas coinciden en latitud con las regiones de los grandes desiertos africanos, asiáticos y australianos.

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 la figura 86 se muestran las zonas que son mayormente dañadas por las sequías.

Desde tiempos antiguos han ocurrido sequías de gran magnitud en México; así lo indican algunos códigos aztecas y las narracio-

Figura 85. Ciudades dañadas por sequías



nes coloniales. En los últimos años, se han registrado en México cuatro grandes periodos de sequías, estos son: 1948 - 1954, 1960 - 1964, 1970 - 1978 y 1993 - 1996 (figura 86). En la tabla 43 se muestra la afectación de estas sequías en cada estado de la República Mexicana.

En forma general, las medidas para mitigar las consecuencias de la sequía están orientadas a hacer más eficiente el abastecimiento

de agua y decrecer la demanda de ésta. Ellas están regidas por la magnitud y distribución temporal y espacial de las sequías. Estas medidas se dividen en reactivas y preventivas.

Algunas medidas reactivas que se pueden tomar en época de escasez de agua son:

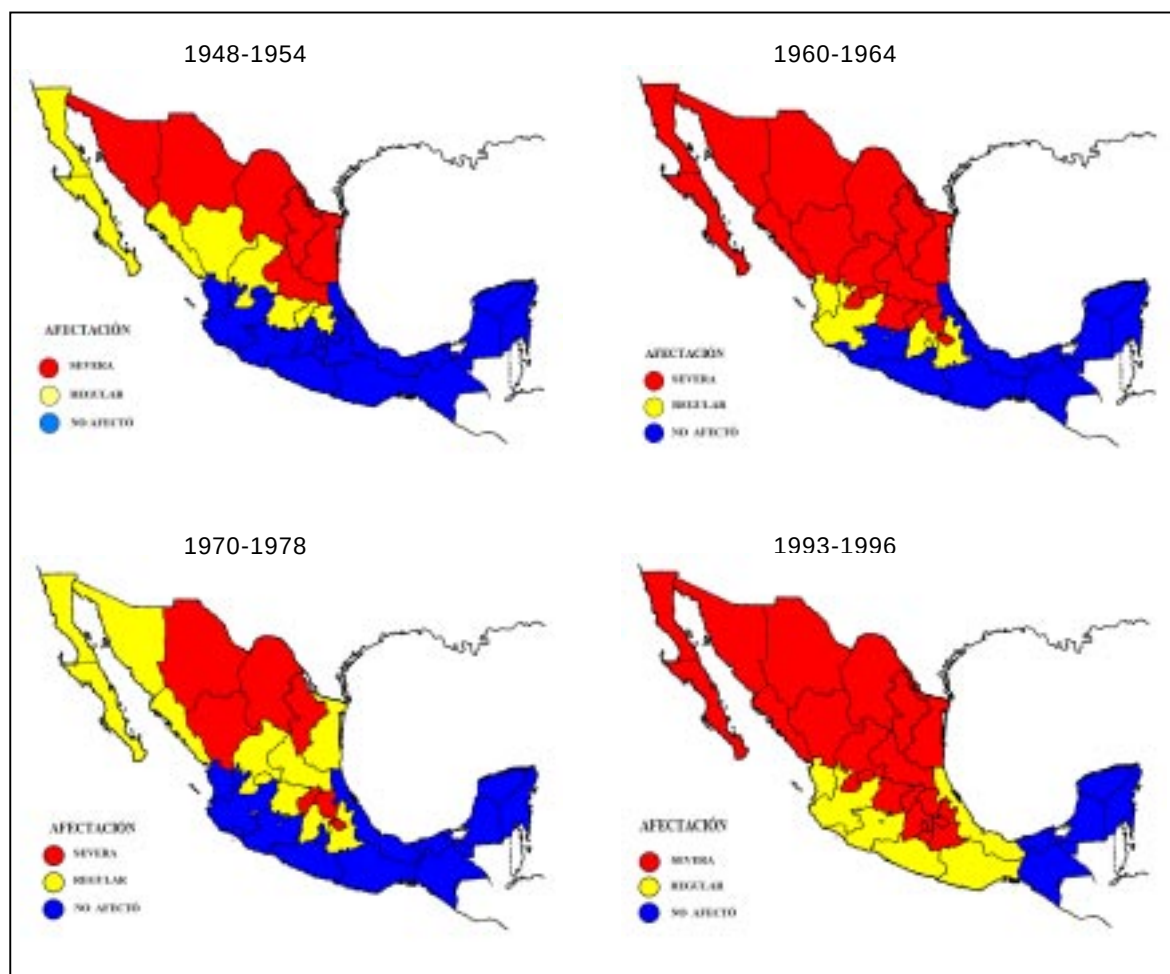
- Utilizar una parte del agua, que se dedica a la agricultura, para cubrir otras demandas de primera necesidad.

Tabla 43. Grado de afectación de la sequía en los estados de la República Mexicana.

Estado	Periodo	1948-1954	1960-1964	1970-1978	1993-1996
Aguascalientes		No afectó	Severa	Regular	Severa
Baja California		Regular	Severa	Regular	Severa
Baja California Sur		Regular	Severa	Regular	Severa
Campeche		No afectó	No afectó	No afectó	No afectó
Chiapas		No afectó	No afectó	No afectó	No afectó
Chihuahua		Severa	Severa	Severa	Severa
Coahuila		Severa	Severa	Severa	Severa
Colima		No afectó	No afectó	No afectó	Regular
Distrito Federal		No afectó	Regular	No afectó	Severa
Durango		Regular	Severa	Severa	Severa
Guanajuato		Regular	Severa	Regular	Severa
Guerrero		No afectó	No afectó	No afectó	Regular
Hidalgo		Regular	Severa	Severa	Severa
Jalisco		No afectó	Regular	No afectó	Regular
México		No afectó	Regular	Regular	Severa
Michoacán		No afectó	No afectó	No afectó	Regular
Morelos		No afectó	No afectó	No afectó	Severa
Nayarit		No afectó	Regular	No afectó	Regular
Nuevo León		Severa	Severa	Severa	Severa
Oaxaca		No afectó	No afectó	No afectó	Regular
Puebla		No afectó	Regular	Regular	Severa
Querétaro		Regular	Severa	Severa	Severa
Quintana Roo		No afectó	No afectó	No afectó	No afectó
San Luis Potosí		Severa	Severa	Regular	Severa
Sinaloa		Regular	Severa	Regular	Severa
Sonora		Severa	Severa	Regular	Severa
Tabasco		No afectó	No afectó	No afectó	No afectó
Tamaulipas		Severa	Severa	Regular	Severa
Tlaxcala		No afectó	Severa	Severa	Severa
Veracruz		No afectó	No afectó	No afectó	Regular
Yucatán		No afectó	No afectó	No afectó	No afectó
Zacatecas		Regular	Severa	Regular	Severa

Fuente: "Análisis histórico de las sequías en México". Dr. Enrique Florescano M. Comisión del Plan Nacional Hidráulico, 1980.

Figura 86. Zonas afectadas en diferentes periodos de sequía



- Optimizar el uso de agua en la irrigación para reducir la cantidad de agua que se emplea sin disminuir de manera importante la producción.
- Controlar la contaminación en los ríos, ya que esto acrecentará la calidad y la cantidad de agua aprovechable (reusar el agua).
- Controlar la demanda del agua en los sectores urbanos y agrícolas.
- Fomentar, en la comunidad científica, el estudio de nuevas técnicas económicas que suministren agua a las comunidades que padecen de sequías.

Medidas de tipo preventivo son:

- Crear o aumentar la infraestructura hidráulica para almacenar el agua cuando existen volúmenes de agua excedentes para ser usada durante la sequía.

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.

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 intemperismo².

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.

Figura 87. Erosión en campo de cultivo por una lluvia intensa



² *Intemperismo*: Degradación del suelo a causa de los efectos climatológicos tanto físicos como químicos.

En ocasiones, el transporte de sedimentos en los cauces se junta con el arrastre de troncos, rocas y otros objetos (flujo de escombros). Éste se presenta en cuencas pequeñas con gran pendiente debido a la ocurrencia de lluvias continuas intensas 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.

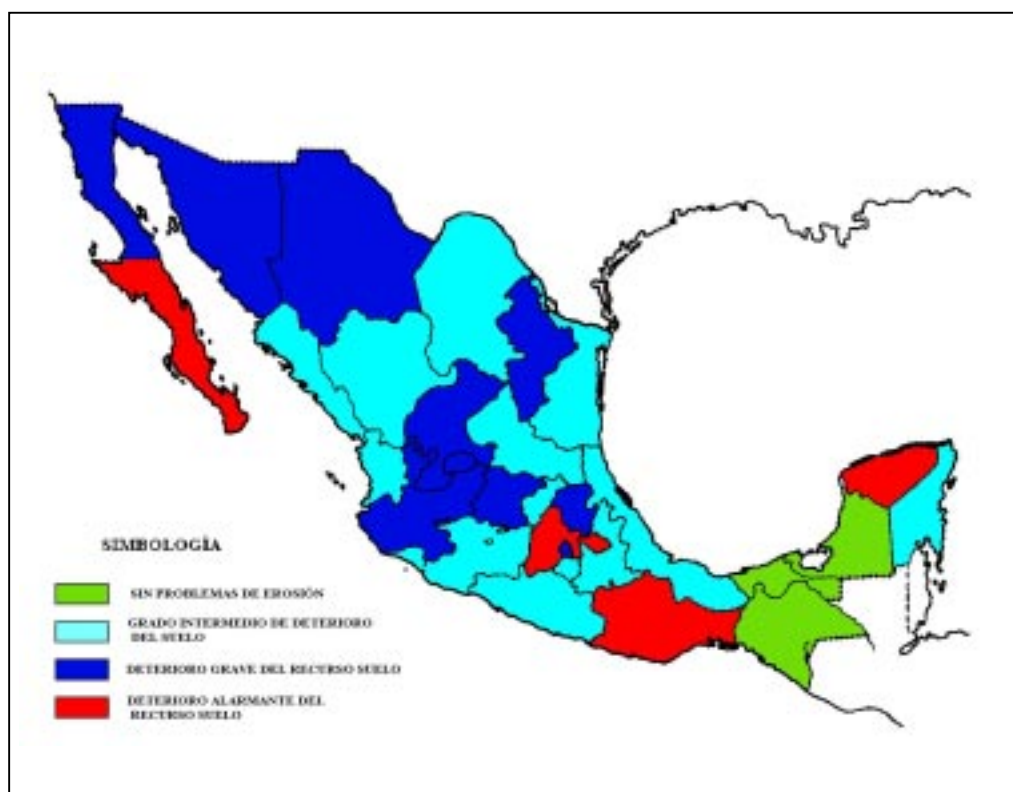
En México existen zonas que por su ubicación geográfica son más susceptibles a la ero-

sión; 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 cárcavas³ y azolve de embalses, se repite en muchas otras regiones del país. En la figura 88 se muestran los estados de la República Mexicana con mayor índice de degradación del suelo.

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.

Figura 88. Estados con mayor índice de degradación del suelo



³ Cárcava: Zanja grande que suelen hacer los flujos de agua.

En México, existe poca información documentada, pero 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:

- Reforestación.
- Construcción de terrazas.
- Cubiertas naturales o artificiales.
- Cultivo en contorno y en fajas.
- Sistemas agroforestales.
- Rectificación de cárcavas.
- Rectificación de cauces.

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

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 (Escala de Saffir-Simpson, tabla 35). 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 aun 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 (figura 89). Para fines de protección civil es más familiar un mapa que represente regiones con valores similares de intensidades máxima de viento. Así se ha construido el mapa de la figura 90, 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.

Cabe señalar que la velocidad del viento fluctúa en forma continua y puede alcanzar picos muy superiores al promedio, debido a los

Figura 89. Velocidades regionales en la República Mexicana CFE-IIIE

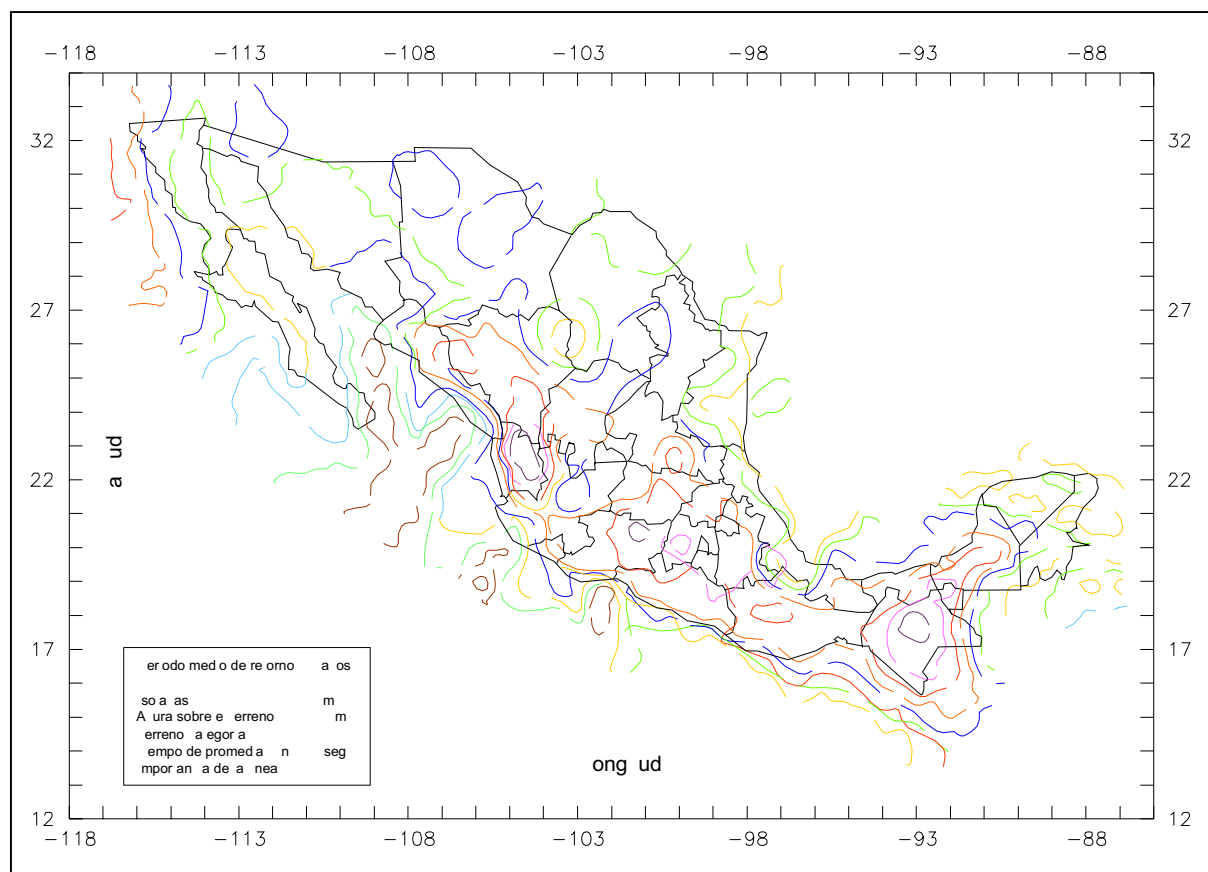
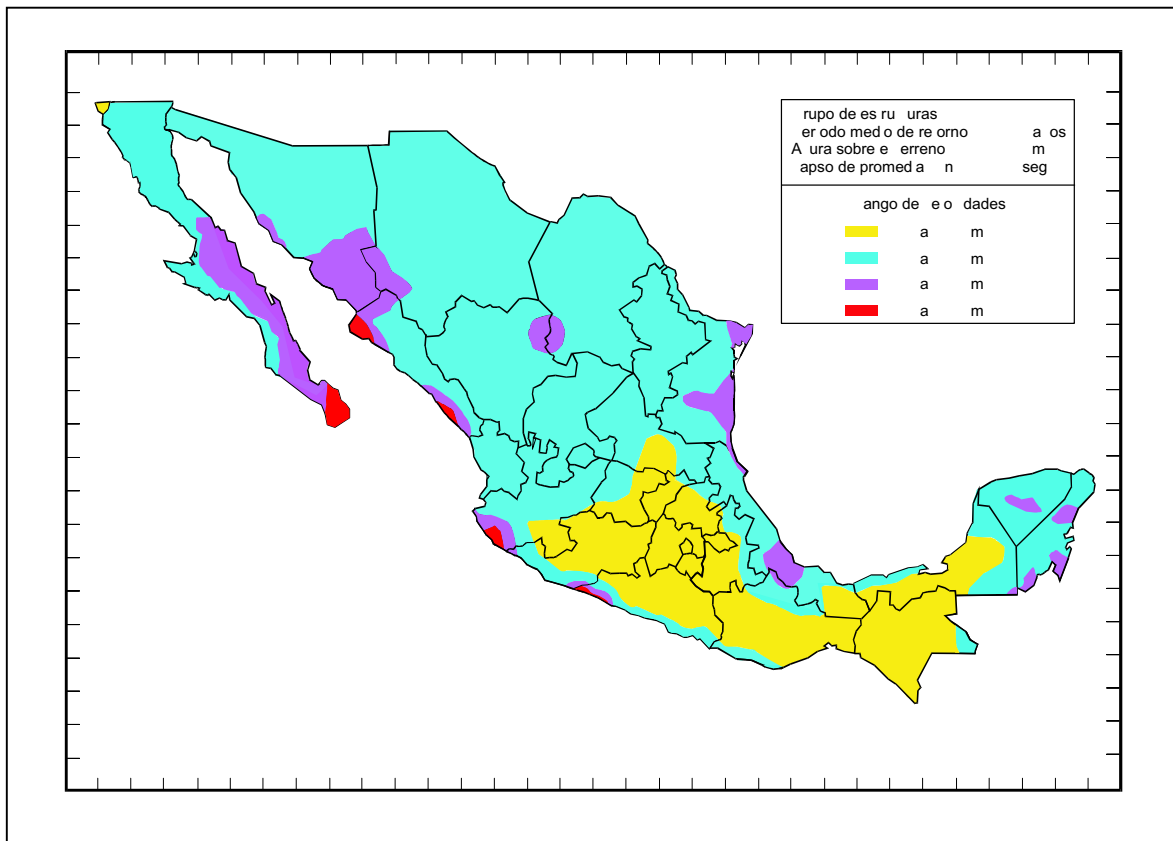


Figura 90. Zonificación de velocidades máximas en la República Mexicana basada en datos de CFE

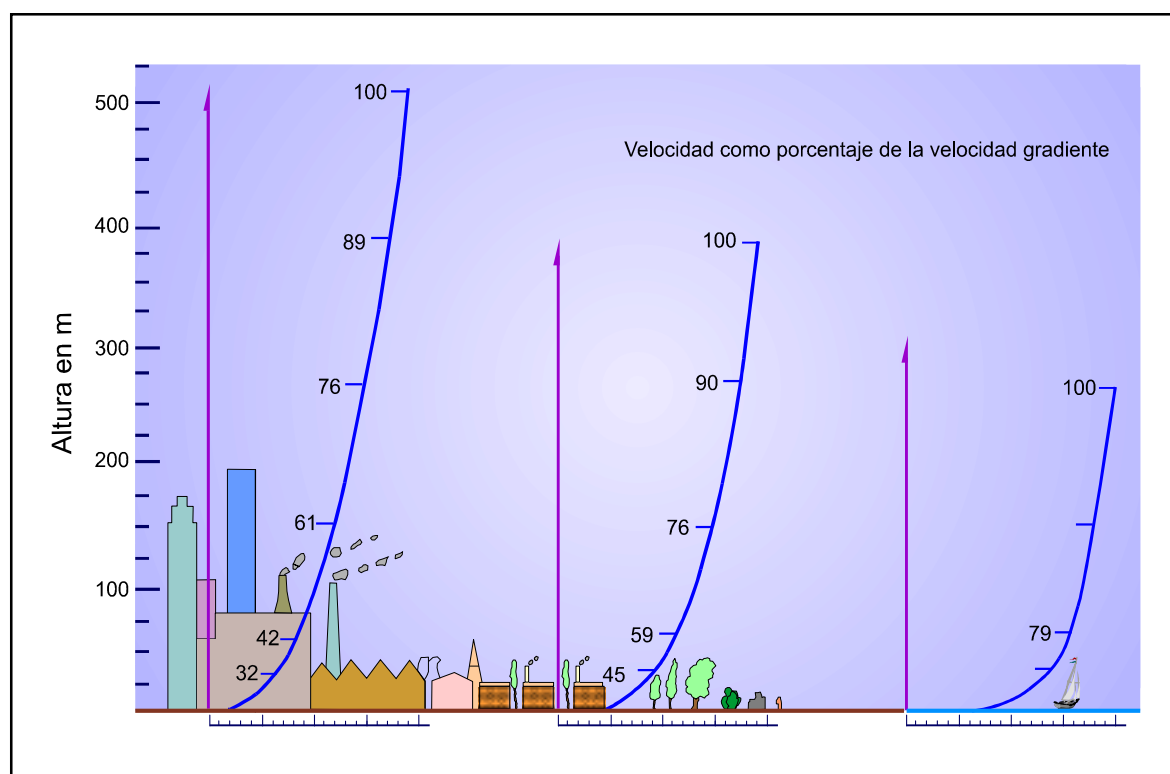


efectos de ráfaga. Para fines de ingeniería se suele tomar como valor indicativo una velocidad media en un lapso de dos minutos. Por otra parte, la velocidad del viento varía con la altura sobre el terreno; es menor a nivel del suelo donde la fricción entre la masa de aire en movimiento y el terreno frena el flujo; la velocidad crece con la altura hasta volverse constante a una altura de algunos cientos de metros. Por la misma razón, la velocidad del viento es mayor en un terreno plano, como en campo abierto o en las costas expuestas al viento que viene del mar, que en terreno irregular como en un bosque o en una ciudad, sobre todo en zonas donde hay edificios altos. La manera en que varía la velocidad de viento, con el tipo de terreno se ilustra en forma esquemática en la figura 91. Los mapas de las figuras 89 y 90 están preparados en términos de la velocidad de viento a 10 m de altura sobre terreno plano. Éstas corresponden aproximadamente a las

llamadas velocidades de viento sostenidas en superficie, que se reportan para los huracanes. Las velocidades de viento ráfaga (picos máximos de aproximadamente 1 a 2 segundos) son del orden de 30 a 35 % mayores.

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 91. Variación de la velocidad de viento con la altura sobre terrenos de diferentes rugosidades



El viento ejerce empujes y succiones sobre los objetos que se encuentran en su trayectoria, por lo que puede ocasionar daños importantes en las construcciones y en diversas instalaciones. Los edificios y las construcciones formales más comunes en México, están contruidos de mampostería con estructura y losas de concreto armado que resultan poco vulnerables a la acción del viento. Existen relativamente pocas construcciones de madera y de techos ligeros, que son muy comunes, por ejemplo, en las Islas del Caribe o en los Estados Unidos de América donde los vientos asociados a los huracanes suelen producir grandes daños. Sin embargo, las construcciones hechas sin ingeniería alguna (autoconstrucción informal) que se dan en diversas regiones del país, sí resultan muy vulnerables a daños por viento.

La parte más vulnerable de una construcción es la techumbre, sobre todo cuando ésta es

de lámina delgada que puede ser levantada por la succión ejercida por vientos de alta velocidad. Las cubiertas ligeras son comunes en las construcciones industriales o comerciales de grandes dimensiones que pierden en ocasiones su techo por vientos intensos. Aunque los edificios sean sólidos y robustos en sus estructuras, sus fachadas y revestimientos pueden ser relativamente frágiles y dañarse por el empuje del viento. Este es el caso de los grandes ventanales de vidrio que llegan a romperse por el empuje de los vientos extraordinarios asociados a los huracanes. Además del evidente peligro que representa para los ocupantes el desprendimiento de trozos de vidrio, la ruptura de éstos permite la entrada del viento, y de la lluvia que con frecuencia se asocia al primero, produciendo graves daños a los acabados e instalaciones. De hecho, esta última situación fue la que provocó mayores pérdidas en los edificios de la zona hotelera de Cancún, por el huracán Gilbert en 1988.

Una causa de daños severos por vientos intensos es el impacto de objetos diversos que son levantados y desprendidos por el viento y pueden golpear las fachadas y techos de los edificios, y romper vidrios y paredes delgadas (figura 92).

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

Los elementos urbanos más vulnerables a la acción del viento son los anuncios (sobre todo los llamados espectaculares), que tienen una estructura metálica ligera y una gran superficie expuesta a la presión del viento. Estos constituyen un peligro también para otras edificaciones y para los transeúntes, ya que sus partes pueden ser transportadas a distancias

considerables y golpear con violencia. Otras construcciones particularmente sensibles son las torres de transmisión y antenas; por otro lado, los cables aéreos son muy susceptibles a daños indirectos producidos por árboles derribados por el viento.

Las precauciones principales contra este fenómeno son el correcto diseño y construcción de las edificaciones para que no sean afectadas por los vientos más intensos previsibles, y el cuidado en la selección de los acabados y revestimientos de las mismas. A pesar de esto, cuando se prevea la llegada de un huracán, hay que tomar precauciones adicionales para defenderse del impacto de objetos, como son la protección de la fachadas, sobre todo tapiando los vidrios de las ventanas y amarrando o desmontando ornamentos y apéndices de las edificaciones.

Figura 92. Daños causados por el huracán Gilbert en Cancún



MAREA DE TORMENTA

La superficie del mar no varía sólo por el oleaje sino también por otros fenómenos que alteran su nivel medio; el más regular es el de las mareas astronómicas que se deben a variaciones en las fuerzas de atracción entre la Tierra y la Luna, y en menor grado entre la Tierra y el Sol; estas fuerzas, dependen de la distancia entre los cuerpos celestes y producen variaciones periódicas en el nivel de la superficie del mar.

Otras variaciones se deben a fenómenos extraordinarios, como los terremotos que producen tsunamis; otra, particularmente peligrosa, es la marea de tormenta que se produce por efecto de los ciclones tropicales y otras tormentas marinas, en la parte de la costa en la que los vientos soplan desde el mar hacia Tierra en forma casi perpendicular. Se trata de una elevación en el nivel del mar debida al empuje que sobre la superficie del mar ejerce el viento en su trayecto hacia la costa; en menor medida se debe a la disminución de la presión atmosférica asociada a los huracanes, la cual produce una succión sobre la superficie del mar. Aunque otras tormentas con fuertes vientos también pueden producir una cierta marea de tormenta, ésta es usualmente de menor magnitud que la producida por ciclones tropicales.

La elevación del nivel del mar produce una invasión de las aguas marinas sobre la costa, la cual se desarrolla en tiempos relativamente breves, de pocas horas. El tamaño de la elevación depende, desde luego, de la intensidad de los vientos, pero también del perfil del fondo submarino en las inmediaciones de la costa (batimetría de la plataforma continental) y del ángulo de incidencia de la tormenta

sobre la costa. Cuando la plataforma es muy tendida (hay poca profundidad del fondo marino cerca de la costa), el empuje del viento produce una mayor acumulación de agua y una mayor sobrelevación.

La distancia en que el agua penetra dentro de la costa depende de la sobrelevación del nivel del mar y del perfil topográfico de la costa. Cuando el perfil costero es muy tendido, el agua penetra muchos cientos de metros o hasta algunos kilómetros. Hay otras características geográficas que influyen en la importancia de la marea de tormenta; por ejemplo, ésta se vuelve particularmente grave en la desembocadura de ríos y, en las bahías pequeñas cuando existen hondonadas en zonas cercanas a la costa. Una configuración litoral que dificulta que las aguas acumuladas drenen aumenta la magnitud de este efecto.

La marea de tormenta, es a escala mundial, la principal causa de pérdidas de vidas humanas asociadas a los huracanes; en México, venturosamente, no tiene la importancia que adquiere en otros países, como los Estados Unidos de Norteamérica o Bangladesh, por ejemplo. Esto se debe a que la plataforma continental es muy abrupta en la mayor parte de nuestros mares y el perfil costero adquiere rápidamente pendientes pronunciadas; sin embargo, no siempre se da la situación anterior, que además no evita que en huracanes intensos haya inundaciones importantes en la franja más cercana a la costa.

El caso reciente más grave de este fenómeno fue el del huracán Gilbert en 1988, que causó una marea de tormenta estimada en 3 m, que afectó a la parte norte y oriental de la

península de Yucatán y, particularmente en el contexto de marea de tormenta, al Puerto de Progreso, en la costa norte, y sus alrededores.

Los estudios de peligro por marea de tormenta se basan por una parte en evidencias de los alcances de fenómenos anteriores, pero además, se prestan a determinaciones bastante precisas de los alcances de la penetración del mar, apoyadas en modelos matemáticos del fenómeno físico que requieren del conocimiento preciso de la batimetría de la plataforma marina y de la topografía costera. Estos estudios se han realizado sólo en zonas muy limitadas en México por la falta de datos topográficos con la suficiente resolución.

La información disponible sobre la incidencia de huracanes y sobre la batimetría y topografía costera (figura 93) permite identificar regiones con distinto grado de peligro por este fenómeno. Una representación general del

problema se muestra en la figura 94, que se fundamenta en las siguientes consideraciones (Rosengaus, 1998).

La costa del Pacífico desde la frontera con Guatemala hasta Puerto Ángel tiene un peligro moderado porque la plataforma continental tiene un desarrollo bastante largo, aunque la topografía costera es relativamente abrupta. Desde Puerto Ángel hasta Cabo Corrientes el peligro es bajo porque la plataforma continental es muy corta. De allí hasta bien entrado el Golfo de California, el riesgo es moderado: la plataforma continental es angosta y las aguas son profundas; sin embargo, hay efectos asociados con la forma del golfo que amplifican el fenómeno. En la parte norte del Golfo de California la batimetría es poco profunda y la dinámica del golfo propicia mareas altas; sin embargo, se trata de una zona donde la incidencia de huracanes es menor, por lo que el riesgo es también moderado. En la parte

Figura 93. Batimetría de la República Mexicana

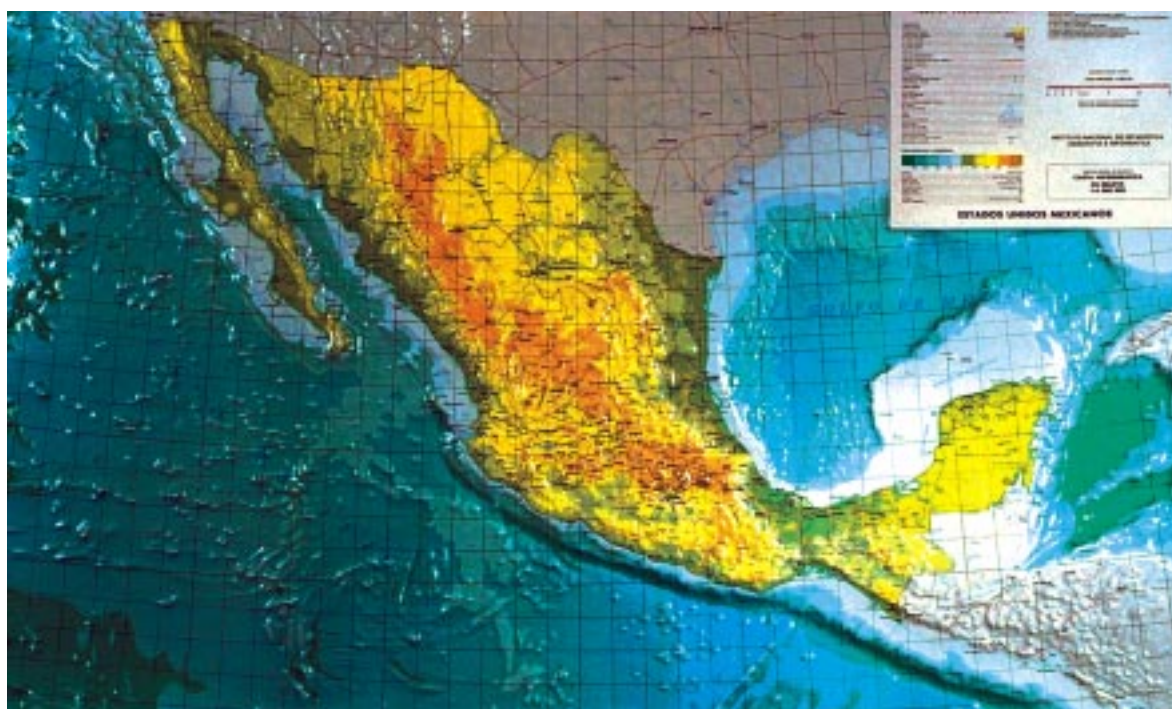
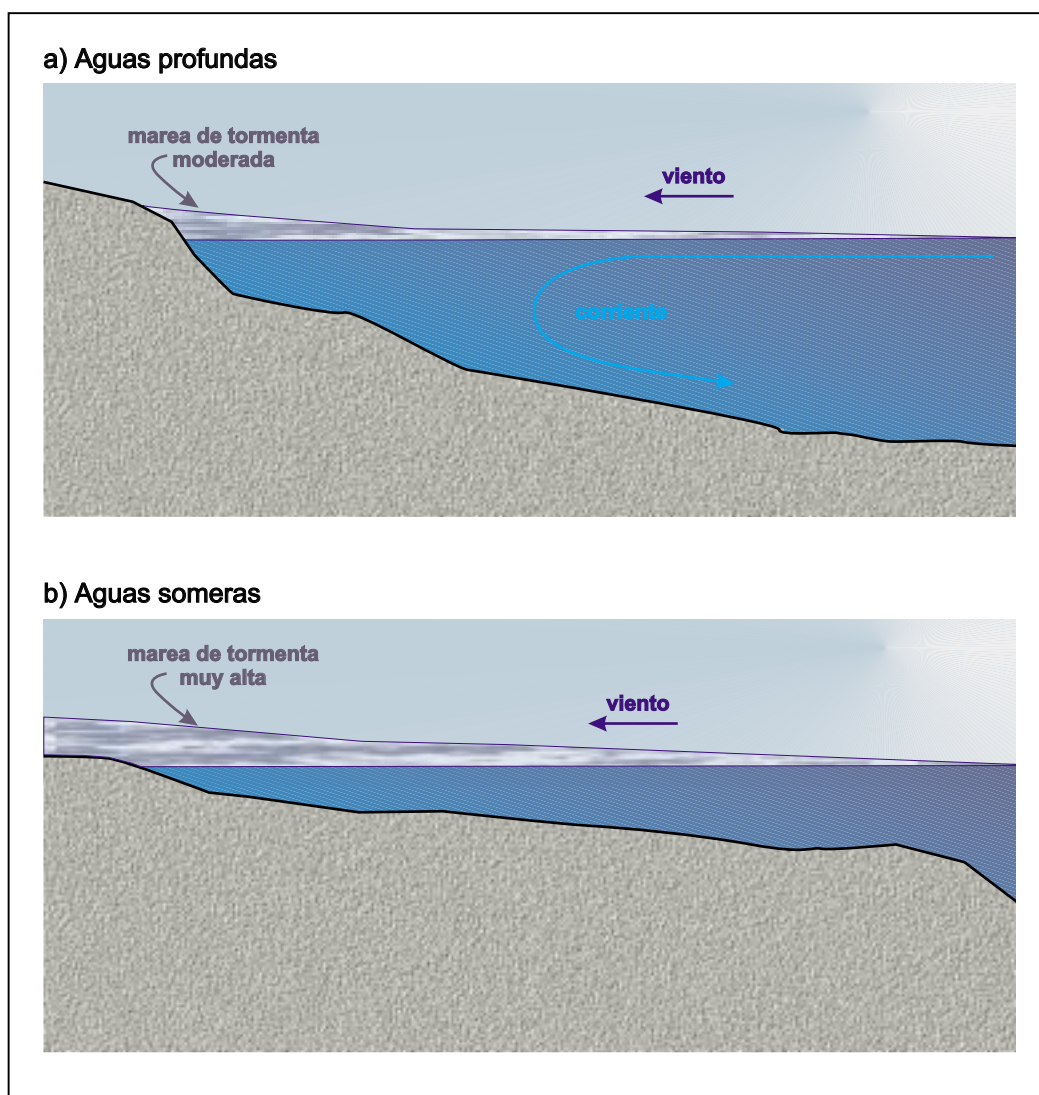


Figura 94. Diferencia conceptual del efecto del viento al soplar sobre aguas profundas vs. aguas someras



externa (occidental) de la península de Baja California se tiene un riesgo moderado hasta San Quintín, y bajo al norte de esa localidad.

En cuanto a la costa del Atlántico, la plataforma continental es estrecha en toda la costa oeste de la península de Yucatán, por lo que el peligro es moderado; pero a partir de la punta noroccidental de la península, en correspondencia con Cabo Catoche, la plataforma se ensancha notablemente por lo que el peligro es grande; de hecho es en esa zona donde se han tenido las mayores sobrelevaciones. En la parte este de la península, la plataforma se estrecha progresivamente hasta alcanzar un

mínimo en correspondencia con la ciudad de Veracruz, a partir de donde se va ensanchando lentamente hasta la frontera con los EUA. En toda esa zona el peligro puede considerarse como moderado.

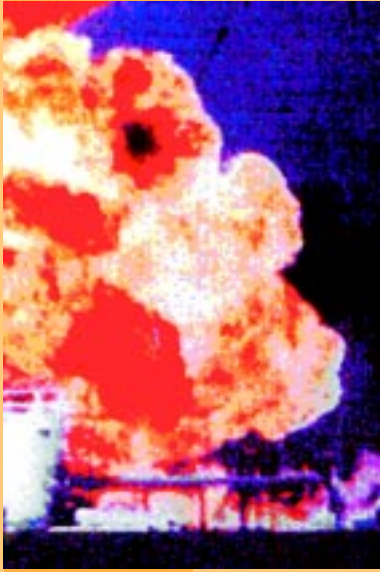
Hay que recalcar que dentro de las grandes zonas identificadas con un grado de peligro general, existen sitios con peligro mayor por las condiciones geográficas y topográficas locales. Por ejemplo, la bahía de Chetumal tiene un perfil costero muy bajo que implica la posibilidad de una fuerte penetración de agua marina durante un huracán que impacte esa región.

Los daños por este fenómeno se deben al empuje del agua, al arrastre y erosión que se producen por la velocidad relativamente alta con que el agua penetra y se retira. El agua marina, además, contamina acuíferos, pozos y daña a la vegetación y a la agricultura. Es también importante notar que la inundación costera por aguas marinas debida a la marea de tormenta, permite que estructuras que originalmente no se encontraban al alcance de oleaje intenso, sí lo estén temporalmente durante el paso de éste fenómeno.

Sólo en casos muy particulares se pueden tomar medidas de protección de tipo estructural contra la marea de tormenta; éstos pueden ser rompeolas y diques en bahías de dimensiones relativamente pequeñas. Aunque dichos rompeolas y diques no evi-

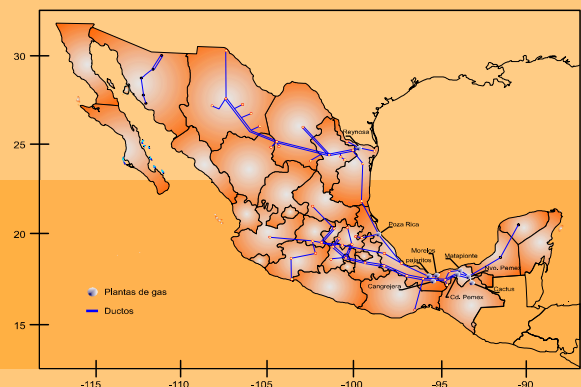
tan la inundación en sí, cuando están bien diseñados pueden mantener una relativa calma en el interior de las bahías aun para estas condiciones del nivel del mar extraordinarias. Es también difícil hacer efectiva la prohibición de los asentamientos humanos en las zonas identificadas como peligrosas; esto por lo muy esporádico de los fenómenos y por el potencial económico que suelen tener esas tierras, sobre todo para el turismo y para la pesca.

En la mayoría de los casos sólo será factible recomendar medidas que eviten que las construcciones sean arrastradas por la corriente (construcción elevada sobre pilotes y cimientos profundos) y tener preparados planes de emergencia que permitan poner a salvo oportunamente a la población en riesgo.



RIESGOS QUÍMICOS

4



INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia de la humanidad, se han desarrollado satisfactores para las siempre cambiantes condiciones de vida, lo cual implica la obtención, almacenamiento, manejo y transformación de diversas materias primas, como la madera, petróleo, minerales, vegetales, etc.

Desde 1950 se ha acelerado el desarrollo industrial y tecnológico de México, lo que conlleva el uso de una amplia variedad de sustancias químicas, necesarias para la elaboración de nuevos productos para uso doméstico, agrícola e industrial; esto genera residuos de diversos tipos, tanto tóxicos como no tóxicos, los cuales se vierten al suelo, agua y aire, ocasionando la consecuente contaminación del ambiente.

Las zonas industriales se encuentran distribuidas en toda la extensión del país, aunque existen sitios donde su número es mayor, como sucede con la zona centro (Estado de México, Querétaro, Puebla, Ciudad de México, Guanajuato), zona norte (Baja California Norte, Chihuahua, Nuevo León) y zona sureste (Oaxaca, Veracruz, Tabasco).

Las materias primas en ciertas zonas se transportan por diversas vías (carretera, ferrocarril, barco y tubería) hacia otro lugar donde se usan en distintos procesos de fabricación. El transporte de las sustancias químicas implica un riesgo, ya que en caso de que ocurra un accidente que provoque eventos como fuga, incendio, explosión o derrame del material, se puede ocasionar daño físico al ser humano, al medio ambiente o a la propiedad.

Por lo anterior, se debe conocer dónde se producen las sustancias químicas, cuáles son las rutas utilizadas en su transporte y cuáles son los sitios donde se utilizan, así como los residuos que se generan en los procesos de transformación y las características de peligrosidad que presentan. Los sitios donde se tratan o depositan las sustancias estabilizadas también deben de estar perfectamente bien ubicadas.

El objetivo principal es minimizar los riesgos a los cuales está expuesta la población debido a la presencia de los materiales peligrosos que se tienen en territorio nacional.

Definición de los riesgos y accidentes de origen químico

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

Riesgos convencionales. Son aquellos ligados a las actividades laborales (por ejemplo: riesgo de caídas desde escaleras, accidentes por descargas eléctricas, riesgos derivados de maquinaria, etc.).

Riesgos específicos. Relacionados con la utilización de sustancias particulares y productos químicos, que por su naturaleza, pueden producir daños de corto y largo alcance a las personas, a las cosas y al ambiente.

Grandes riesgos potenciales. ligados a accidentes anómalos, que pueden implicar explosiones o escapes de sustancias peligrosas (ve-

nenosas, inflamables, etc.) que llegan a afectar vastas áreas en el interior y exterior de la planta. El riesgo total que presenta una instalación industrial está en función de dos factores (SEDESOL, 1994).

Riesgo intrínseco del proceso industrial, que depende de la naturaleza de los materiales que se manejen, de las modalidades energéticas utilizadas y la vulnerabilidad de los diversos equipos que integran el proceso, así como la distribución y transporte de los materiales peligrosos.

Riesgo de instalación, el cual depende de las características del sitio en que se encuentra ubicada, donde pueden existir factores que magnifiquen los riesgos que puedan derivar de accidentes (condiciones meteorológicas, vulnerabilidad de la población aledaña, ecosistemas frágiles, infraestructura para responder a accidentes, entre otros).

Se definen a continuación los términos relativos a los principales accidentes:

Derrame

Es el escape de cualquier sustancia líquida o sólida en partículas o mezcla de ambas, de cualquier recipiente que lo contenga, como tuberías, equipos, tanques, camiones cisterna, carros tanque, furgones, etc.

Fuga

Se presenta cuando hay un cambio de presión debido a rupturas en el recipiente que contenga el material o en la tubería que lo conduzca.

Incendio

Es la combustión de materiales.

Explosión

Es la liberación de una cantidad considerable de energía en un lapso de tiempo muy corto

(pocos segundos), debido a un impacto fuerte o por reacción química de ciertas sustancias.

Desde el punto de vista del diagnóstico del riesgo, el manejo de las sustancias químicas representa una amenaza o peligro cuyo potencial es difícil de establecer debido al número indeterminado de sustancias químicas que se tienen en los parques industriales, y aun dentro de la misma instalación. Es por esta razón que las empresas presentan los estudios de estimación de riesgo para las sustancias que tienen mayor probabilidad de ocasionar un accidente, en función de las cantidades que se manejan y de sus propiedades fisicoquímicas y tóxicas.

En cuanto al diagnóstico del peligro para los fenómenos químicos, éste se puede expresar en términos de concentración de la sustancia que se fugó o derramó y para el caso de un incendio o explosión se considera la cantidad de calor expresada en las unidades correspondientes, así como la fuerza necesaria para desplazar a un individuo una cierta distancia sin causarle un daño al organismo. Con base en estos datos, se determinan las zonas de afectación y las de amortiguamiento, sobre las cuales se deben de evitar los asentamientos humanos.

Para el caso de los eventos causados por materiales químicos, el peligro se puede definir en términos de parámetros con un significado físico preciso que permite utilizar una escala continua de la intensidad de la dispersión de la sustancia que se puede transferir al ambiente y que tenga un límite de concentración establecido, el cual no afecte a la salud de un individuo expuesto a la sustancia tóxica.

Los modelos matemáticos son una herramienta para determinar un posible radio de afectación y definir la exposición, la cual pue-

de comprender: el tamaño del sistema expuesto al fenómeno químico en términos de la cantidad de población afectada, el costo de la infraestructura, así como el costo de actividades de restauración de los ecosistemas dañados.

Todos los modelos y metodologías para estimar el riesgo químico tienen sus limitaciones y la interpretación de los resultados requiere de personal capacitado y con gran habilidad, ya que es bien sabido que no hay dos accidentes químicos iguales. Además los modelos no abarcan las combinaciones sucesivas y paralelas de eventos ocasionados por dos o más sustancias, ni las reacciones combinadas de los diversos materiales dentro de una o varias industrias de la zona.

Se menciona que otro aspecto esencial de los diagnósticos de riesgo es la necesidad de plantear en términos de probabilidades los distintos factores que influyen en él. Los fenómenos que pueden provocar desastres químicos son, en general, altamente impredecibles en cuanto al momento de ocurrencia, pero pueden estimarse en cuanto a su magnitud y sitio específico de impacto, si se utilizan los datos de ubicación de los materiales peligrosos que pueden causar el daño. Es factible definir escenarios de accidentes extremos si se consideran los eventos máximos catastróficos en función de una serie de variables que se fijan, como son: las características específicas de las sustancias involucradas (peso molecular, punto de ebullición, densidad, volumen en condi-

Técnicas más utilizadas en el análisis de riesgo

Índice Mond	<i>Este método se basa en la peligrosidad de los productos y en el carácter crítico de los procesos; en función de sus antecedentes de operación en instalaciones similares, permite obtener índices numéricos de riesgo para cada sección de las instalaciones industriales, en función de las características de las sustancias manejadas, de su cantidad, del tipo de proceso, y de las condiciones específicas de operación.</i>
Análisis «What if»	<i>Esta técnica no requiere de métodos cuantitativos especiales ni de una planeación extensiva; utiliza información específica de un proceso para generar una serie de preguntas que son pertinentes durante el tiempo de vida de una instalación, así como cuando se introducen cambios al proceso o a los procedimientos de operación. Consiste en definir tendencias, formular preguntas, desarrollar respuestas y evaluarlas, incluyendo la más amplia gama de consecuencias posibles.</i>
Análisis de peligro	<i>Consiste en la identificación de eventos indeseables de alto riesgo a través del análisis de los mecanismos operativos de cada empresa, estimando la extensión, magnitud y probabilidad de los efectos. Implica la implementación de métodos cuantitativos sofisticados, aunque puede arrojar una incertidumbre considerable. Es un concepto de seguridad de procesos para protección del personal, instalaciones y comunidades.</i>
Índice Dow	<i>Éste intenta cuantificar anticipadamente daños potenciales por incendios y explosiones, identificando las causas y a los generadores, y traduciendo los riesgos potenciales a una valoración económica que permita jerarquizar decisiones. Este sistema separa los procesos industriales en sectores específicos identificando materiales, proceso y propiedades termodinámicas relevantes, requiriendo un diseño preciso de la unidad industrial analizada, diagramas de flujo del proceso, información económica de costos y beneficios, formatos sistematizados de reporte.</i>
Análisis de probabilidad de riesgo	<i>Es un proceso de estimación basado en la ocurrencia de eventos que pueden causar daños al personal, a las instalaciones y a las comunidades. Parte de definiciones matemáticas de riesgo en función de su frecuencia probabilística, magnitud y costo, en términos de sus consecuencias económicas, a la salud, e incluso a los ecosistemas.</i>

Fuente: Prevención y Preparación de la respuesta en caso de accidentes químicos en México y en el Mundo. Serie Monografías, No. 5. SEDESOL, 1994.

ciones normales, capacidad calorífica, límites inferior y superior de explosividad, calor de combustión, entre otras), las condiciones del proceso (temperatura, volumen del contenedor, diámetro del orificio en caso de fuga) y condiciones meteorológicas.

El potencial del desastre químico también depende de la vulnerabilidad de los sistemas expuestos, o sea de su predisposición a ser afectados por un agente químico perturbador. Así un parque industrial donde todas las plantas químicas manejan programas de preparación y respuesta a emergencias a nivel interno y se coordinan con las otras plantas químicas, las autoridades y la comunidad aledaña, para manejar el accidente a nivel externo, resulta menos vulnerable ante la ocurrencia de un accidente, que otra zona industrial donde no exista preparación para responder a una emergencia.

Lo mismo sucede con la preparación para la atención de emergencias en el transporte de sustancias químicas: la vulnerabilidad en las vías de comunicación se reduce cuando se capacita al personal que se vería involucrado en la emergencia, como son los empleados de las empresas transportistas, las autoridades locales y los servicios de apoyo (Cruz Roja, Bomberos, Ejército y Marina, etc.). La responsabilidad en el manejo de las sustancias se comparte entre las empresas, las autoridades y la comunidad en riesgo.

Estadísticas de accidentes mundiales donde se han visto involucradas sustancias químicas

Los accidentes que han afectado el ambiente o la calidad de vida de las personas se han ido incrementando a medida que ha au-

mentado el uso de sustancias químicas. La liberación de materiales tóxicos, el desarrollo de incendios y explosiones, así como la disposición inadecuada de residuos peligrosos, modifican las condiciones de vida de las personas que se ven expuestas a ellos. Los accidentes más importantes que han causado daños considerables, tanto a nivel mundial como nacional, se encuentran indicados en la tabla 44.

De acuerdo con la información presentada en la tabla 44, se puede deducir que las sustancias que originan más riesgo son aquellas derivadas del petróleo, después el amoníaco, el cloro, los solventes y los explosivos. Es evidente que las zonas donde se encuentra la producción a nivel industrial constituyen las zonas de más alto riesgo debido a la producción y manejo de sustancias químicas.

Por otro lado, las carreteras y vías de ferrocarril por donde se transportan los materiales potencialmente peligrosos, son también zonas de riesgo para la población. Las zonas habitacionales construidas cerca o en ocasiones, sobre tuberías que conducen hidrocarburos principalmente, son áreas con una alta probabilidad de tener eventos adversos con grandes pérdidas humanas y materiales.

Los agentes químicos perturbadores, son las propias sustancias químicas que cambian de estado físico, se transfieren o transforman, debido a los cambios de presión y temperatura a los que se someten los recipientes que los contienen o las tuberías que los conducen y los sistemas afectables son los conjuntos sociales, el ambiente y las instalaciones industriales.

La tabla 44 maneja ciertos criterios para que el accidente se considere dentro de ella, y no toma en cuenta los incendios forestales, que se tratarán por separado por no estar relacionados con la actividad industrial.

Tabla 44. Accidentes seleccionados que involucran sustancias peligrosas, 1970 - 1998.

Fecha	País y localidad	Origen del accidente	Productos involucrados	Número de		
				Muertos	Lesionados	Evacuados
1970	24.01 Indonesia, Java	Incendio (tanque)	Keroseno	50	-	-
	8.04 Japón, Osaka	Explosión en un subterráneo	Gas	79	425	-
	17.12 Irán, Agha Jari	Explosión	Gas natural	34	> 1	-
1971	11.01 Canal de la Mancha	Choque de barcos	Petroquímicos	29	-	-
	3.02 EUA, Woodbine	Explosión	Magnesio	> 25	61	-
	26.06 Polonia, Checoslovaquia	Explosión	Aceite	33	-	-
1972	22.01 EUA, Saint Louis	Explosión (t.f.)	Propileno	-	230	> 100
	30.03 Brasil, Duque de Caxias	Falla en el proceso	Gas LP	39	51	-
	6.04 EUA, Doraville	Incendio	Gasolina	2	161	-
	1.07 México, Chihuahua	Explosión (t.f.)	Butano	> 8	800	-
1973	10.02 EUA, Staten Island	Explosión	Gas	40	2	-
	29.08 Indonesia, Jakarta	Incendio, explosión	Fuegos artificiales	52	24	> 10
1974	26.04 EUA, Chicago	Fuga (almacenamiento)	Tetracloruro de silicio	1	300	2 000
	29.04 EUA, Eagle Pass	Fuga (t.f.)	Gas LP	17	34	-
	30.04 Japón, Yokkaichi	Transbordo	Cloro	-	521	-
	1.06 Reino Unido, Flixborough	Explosión	Ciclohexano	28	104	3 000
	19.07 EUA, Decatur	Fuga (t.f.)	Isobutano	7	349	-
	21.09 EUA, Houston	Explosión (t.f.)	Butadieno	1	235	1 700
	31.01 India, Allahabad	Explosión (t.f.)	Fuegos artificiales	42	-	-
	9.11 Japón, Bahía de Tokio	Choque, explosión	Nafta	33	-	-
	27.12 España, Málaga	Fuga	Cloro	4	129	-
1975	31.01 EUA, Markus Hook	Transbordo	Aceite crudo, fenol	26	35	-
	11.05 EUA, Houston	Fuga	Amoniac	6	178	-
	16.06 Alemania, Heimstetten	Incendio (almacén)	Óxido de nitrógeno	-	-	10 000
	14.12 EUA, Niágara Falls	Explosión	Cloro	4	176	-
1976	23.02 EUA, Houston	Explosión (silo)	Polvo de granos	7	-	10 000
	03 EUA, Deer Park	Fuga (t.f.)	Amoniac	5	200	-
	13.04 Finlandia, Lapua	Explosión	Pólvora	43	> 70	-
	11.05 EUA, Houston	Fuga (t.f.)	Amoniac	6	178	-
	10.07 Italia, Seveso	Fuga	TCCD (Dioxina)	-	> 200	730
	10.12 EUA, Baton Rouge	Explosión (planta)	Cloro	-	-	10 000
	12 Colombia, Cartagena	Explosión	Amoniac	30	30	-
	7.03 México, Cuernavaca	Fuga	Amoniac	2	500	2 000
1977	19.06 México, Puebla	Fuga	Cloruro de vinilo	1	5	> 10 000
	13.07 EUA, Rockwood	Fuga (t.c.)	Bromuro de hidrógeno	1	30	> 10 000
	7.10 EUA, Michigan	Fuga	Cloro	-	> 50	> 13 000
	12.11 Corea del Sur, Iri	Explosión (t.f.)	Dinamita	57	1 300	-
	23.12 EUA, Westwego	Explosión (almacén)	Polvo de granos	35	9	-
1978	02 EUA, Youngstown	Fuga (t.f.)	Cloro	8	138	-
	2.03 Canadá, Ontario	Tubería	Gas LP	-	-	20 000
	12.06 Japón, Sendai	Almacén	Aceite crudo	21	350	-
	06 EUA, Covington	Fuga (almacén)	Cloro	-	240	-
	7.07 Túnez, Manouba	Explosión	Nitrato de amonio	3	150	-
	11.07 España, San Carlos	Fuga (t.c.)	Propileno	216	200	-
	15.07 México, Xilatopec	Explosión (t.c.)	Gas	100	200	-
	3.08 Italia, Manfredonia	Fuga	Amoniac	-	-	10 000
	2.11 México, S. Magallanes	Explosión (tubería)	Gas	41	32	-
1979	8.01 Irlanda, Bahía Bantry	Explosión (t.m.)	Aceite, gas	50	-	-
	02 Polonia, Warsaw	Fuga, explosión	Gas	49	77	-
	28.03 EUA, I. Tres Millas	Falla en el reactor	Nuclear	-	-	200 000
	12.04 Paquistán, Rawalpindi	Explosión	Fuegos artificiales	> 30	100	-
	3.06 Tailandia, Phangnaga	Explosión	Aceite	50	15	-

Fecha	País y localidad	Origen del accidente	Productos involucrados	Número de		
				Muertos	Lesionados	Evacuados
1979	3.06 *México, Golfo	Explosión (plataforma)	Aceite	-	-	-
	5.07 EUA, Memphis	Explosión	Metilparatión	-	150	> 2 000
	20.07 Tobago, Mar Caribe	Incendio	Aceite crudo	26	-	-
	1.10 Grecia, Bahía Suda	Explosión (transbordador)	Propano	7	140	-
	1.11 EUA, Bahía de Galveston	Explosión	Aceite crudo	32	-	-
	11.11 Canadá, Mississauga	Explosión (t.f.)	Cloro, gas LP	-	-	226 000
	15.11 Turquía, Estambul	Explosión (t.m.)	Aceite crudo	52	> 2	-
1980	11.03 África	Explosión	Aceite crudo	36	-	-
	3.04 EUA, Sommerville	Fuga (t.f)	Triclorofosfato	-	418	23 000
	3.05 India, Mandir Asod	Explosión (planta)	Explosivos	50	-	-
	5.06 Malasia, Puerto Kelang	Incendio	Sustancias químicas	3	200	> 3 000
	16.08 Japón, Shizuoka	Explosión	Metano	15	222	-
	19.08 Irán, Deh-Bros Org	Incendio, explosión	Dinamita	80	45	-
	16.11 Tailandia, Bangkok	Explosión de armamentos	Explosivos	54	353	-
	24.11 Turquía, Danaciobasi	Fuga, incendio	Butano	107	-	-
	29.11 España, Ortuella	Explosión	Propano	51	90	-
	- EUA, Alaska	Incendio (plataforma)	Aceite	51	-	-
	- Italia	Choque de barcos	Aceite	25	26	-
1981	13.02 *EUA, Louisville	Fuga, explosión	Hexano	-	4	> 100
	19.05 EUA, Puerto Rico	Fuga	Cloro	-	200	1 500
	1.06 EUA, Geismar	Fuga	Cloro	-	125	.
	23.07 EUA, Blythe	Fuga (t.c.)	Ácido nítrico	-	-	15 000
	4.08 México, Montañas, SLP	Fuga (t.f)	Cloro	28	1 000	5 000
	21.08 EUA, San Francisco	Fuga (t.c.)	Tetracloruro de silicón	-	28	7 000
	25.08 EUA, San Francisco	Fuga (tubería)	Aceite lubricante, BPC	-	-	30 000
	- *EUA, Binghampton	Incendio	BPC	-	-	-
1982	5.03 Australia, Melbourne	Transporte	Butadieno	-	> 1 000	-
	25.04 Italia, Todi	Explosión	Gas	34	140	-
	28.09 *EUA, Livingston	Incendio (t.f.)	Sustancias químicas	-	-	3 000
	11.12 EUA, Taft	Explosión	Acroleína	-	-	20 000
	19.12 Venezuela, Tocoa	Explosión (tanque)	Aceite combustible	> 153	500	40 000
	22.12 EUA, Vernon	Fuga	Metilacrilato	-	355	-
1983	05 Egipto, Río Nilo	Explosión (t.fl.)	Gas LP	317	44	-
	31.08 Brasil, Pojuca	Incendio, explosión	Gasolina	42	> 100	> 1 000
	29.09 India, Dhulwari	Explosión	Gasolina	41	> 100	-
	10.10 Nicaragua, Corinto	Explosión (tanque)	Aceite combustible	-	17	25 000
	3.11 India, Dhurabari	Incendio	Aceite	76	> 60	-
1984	22.01 EUA, Sauget	Industria	Tricloruro de fósforo	-	125	-
	25.02 Brasil, Cubatao	Explosión (tubería)	Gasolina	89	-	2 500
	10.05 EUA, Peabody	Incendio (curtiduría)	Benceno	1	125	> 100
	16.08 Brasil, Río de Janeiro	Fuga, incendio (plataforma)	Gas	36	19	-
	3.09 EUA, Omaha	Fuga (almacenamiento)	Ácido nítrico	-	-	10 000
	6.10 EUA, Linden	Explosión (tanque)	Malatión	-	161	-
	30.10 Indonesia, Jakarta	Incendio	Municiones	> 14	> 200	10
	19.11 México, San J. Ixhuatepec	Explosión (almacenamiento)	Gas LP	> 500	2 500	> 200 000
	3.12 *India, Bhopal	Fuga	Metil isocianato	2800	50 000	200 000
	17.12 México, Matamoros	Transporte	Amoniaco		182	3 000
	12 Paquistán, Gahri Dhoda	Explosión (tubería)	Gas	60	-	-
1985	21.01 EUA, Linden	Industria	Dimetoato	-	200	-
	03 Indonesia, Jakarta	Fuga (fábrica)	Amoniaco	-	130	-
	13.04 *Canadá, Kenora	Fuga (t.c)	BPC	-	-	-
	14.05 India, Cochín	Fuga	Hexaciclo pentadieno	-	200	-

Tabla 44(continuación). Accidentes seleccionados que involucran sustancias peligrosas, 1970 - 1998.

Fecha		País y localidad	Origen del accidente	Productos involucrados	Número de		
					Muertos	Lesionados	Evacuados
1985	19.05	Italia, Priolo	Fuga	Propileno	-	-	> 20 000
	26.05	España, Algeciras	Transbordador	Aceíte	33	37	-
	22.06	EUA, Anaheim	Incendio (almacenamiento)	Plaguicidas	-	12	10 000
	26.02	EUA, Coachella	Incendio	Plaguicidas	-	236	2 000
	16.07	EUA, Cedar Rapids	Planta de aguas negras	Cloruro de polivinilo	-	56	10 000
	15.08	EUA, Institute	Fuga	Aldicarboxima	-	430	3 100
	26.08	EUA, South Charleston	Fuga	Cloruro de hidrógeno	-	135	-
	09	India, Tamil Nadu	Fuga (t)	Gasolina	60	-	-
	1.11	India, Padaval	Incendio	Gasolina	> 43	82	-
4.12	India, Nueva Delhi	Derrame	Ácido sulfúrico	1	340	> 10	
1986	26.04	*URSS, Chernobyl	Explosión (reactor)	Nuclear	31	299	135 000
	8.07	EUA, Miamisburg	Incendio (t.f.)	Ácido fosfórico	-	400	40 000
	25.12	México, Cárdenas	Fuga (tubería)	Gas	-	2	> 20 000
1987	24.03	EUA, Nantichoke	Fuga	Ácido sulfúrico	-	-	18 000
	4.04	EUA, Minot	Incendio	Paratión	-	20	10 000
	11.04	EUA, Pittsburgh	Descarrilamiento	Oxícloruro de fósforo	-	14	16 000
	14.04	EUA, Salt Lake City	Fuga	Tricloroetileno	1	6	30 000
	24.06	India, Bhopal	Fuga	Amoniaco	-	-	200 000
	7.07	URSS, Annau	Fuga (t.f.)	Cloro	-	200	-
	17.07	*Alemania, Herborn	Fuga (t.c.)	Gasolina	6	24	-
	29.10	Francia, Nantes	Incendio	Fertilizante	-	24	25 000
	30.10	EUA, Ciudad de Texas	Falla en el proceso	Ácido hidrofúrico	-	255	4 000
	5.12	España, La Coruña	Incendio en el mar	Sodio	23	-	20 000
	15.12	México, Minatitlán	Falla en el proceso	Acrilonitrilo	-	> 200	1 000
	21.12	Egipto, Alejandría	Explosión	Bombas de humo	8	142	> 1 000
	1988	2.01	*EUA, Floreffe	Derrame (almacenamiento)	Aceite diesel	-	-
10.04		Paquistán, Islamabad	Explosión (almacenamiento)	Explosivos	> 100	3 000	-
22.04		Canadá, en el mar	Explosión (t)	Gasolina	29	-	-
5.05		EUA, Herderson	Explosión, incendio	Perclorato de amonio	2	350	17 000
6.05		China, Liu Pan Shui	Explosión	Gas de hulla	45	5	-
23.05		EUA, Los Ángeles	Incendio	Sustancias químicas	-	-	11 000
25.05		México, Chihuahua	Explosión (almacenamiento)	Aceite	-	7	15 000
4.06		URSS, Arzamas	Explosión (t.f.)	Explosivos	73	230	90 000
8.06		Francia, Tours	Incendio	Sustancias químicas	-	3	200 000
15.06		Italia, Génova	Explosión	Hidrógeno	3	2	15 000
17.06		EUA, Springfield	Fuga, incendio	Hipoclorito de sodio	-	275	20 000
23.06		México, Monterrey	Explosión	Gasolina	4	15	10 000
4.07		URSS, Chakhnounia	Derrame (t)	Plaguicidas	-	-	20 000
6.07		G. B. Mar del N.	Explosión, incendio	Aceite, gas	167	-	-
			Explo, Inc.(Plataforma)				
23.08		*Canadá, St. B.-le-Grand	Incendio	BPC	-	-	3 800
3.09		EUA, Los Ángeles	Derrame, falla en el proceso,	Hipoclorito de sodio	-	37	27 000
4.09		EUA, Los Ángeles	Segundo derrame	Hipoclorito de sodio	-	7	20 000
23.09		Yugoslavia, Sibani	Incendio, falla en el proceso	Fertilizantes	-	-	> 60
4.10		URSS, Sverdlovsk	Explosión (t.f.)	Explosivos	5	1 020	-
22.10		China, Shanghai	Explosión (refinería)	Petroquímicos	25	17	-
9.11		India, Bombay	Incendio (refinería)	Aceite	35	16	-
15.11		Reino Unido, G. B. W. Bromwich	Derrame	Ácido nítrico	-	22	50 000
31.11		Bangladesh, Chittagong	Explosión	Vapores inflamables	33	-	-
1.12		China	Explosión	Gas	45	23	-
11.12		México, Cd. de México	Explosión	Fuegos artificiales	62	87	-
22.12		India, Jhurkully	Fuga	Dióxido de azufre	-	500	-

Fecha	País y localidad	Origen del accidente	Productos involucrados	Número de		
				Muertos	Lesionados	Evacuados
1989	5.01 EUA, Los Ángeles	Fuga	Cloro	-	-	11 000
	17.01 India, Bhatinda	Fuga	Amoniaco	-	500	-
	19.01 China, Henan	Explosión	Fuegos artificiales	27	22	-
	20.03 URSS, Ionava	Explosión, incendio	Amoniaco, fertilizante (NPK)	6	53	30 000
	5.05 India, Britannia Chowk	Fuga	Cloro	-	200	-
	4.06 URSS, Acha Ufa	Explosión (tubería)	Gas	575	623	-
	21.09 URSS, Yurga	Explosión	Muníciones	1	3	20 000
	23.10 EUA, Pasadena	Explosión	Etileno	23	125	1 300
	16.11 Pakistán, Garan Chash	Explosión	Muníciones	40	> 20	-
1990	17.01 Alemania, Ahlsfeld	Fuga (t.c.)	Cloro	-	> 182	-
	18.03 Corea, Daesan	Fuga	Sulfuro de hidrógeno	-	> 100	> 10 000
	22.03 Taiwán, Kaohsiung	Fuga	Cloro	-	-	540
	1.04 Australia, Sydney	Incendio, explosión (almacén) (BLEVE)	-	-	-	10 000
	9.04 *EUA, Warren	Explosión e incendio	Butano	-	-	-
	16.04 India, cerca de Patna	Fuga (transporte)	Gas	100	100	-
	4.05 Cuba, Matanzas	Fuga	Amoniaco	3	374	> 1 000
	29.05 URSS, Ufa	Fuga	Fenol	-	-	400
	22.06 Corea, Ulsan	Fuga	Ácido acético	-	36	> 10 000
	.07 India, Lucknow	Fuga (fábrica de hielo)	Amoniaco	-	200	-
	22.07 Corea, Ulsan	Explosión	Butano	-	-	> 10 000
	25.07 Reino Unido, Birmingham	Incendio, nube de gas	Fosgeno, hidrógeno, cloro, metanol	-	> 60	70 050
	26.07 Líbano, Chtaura	Incendio	Aceite combustible	-	45	-
	25.09 Tailandia, Bangkok	Fuga, incendio (t)	Gas LP	> 51	> 54	-
	9.10 Reino Unido, Gateshead	Incendio	Metal fundido	-	-	10 100
	3.11 *EUA, Chalmette	Explosión (refinería)	Gas inflamable	-	-	-
	5.11 *India, Nagothane	Fuga	Etano y propano	32	22	-
	25.11 *EUA, Denver	Incendio (dep. combustible en aeropuerto)	Keroseno	-	-	-
	30.11 *Arabia Saudita, Ras Tan.	Incendio en una refinería	Keroseno y benceno	1	2	-
1991	12.01 *EUA, Port Arthur	Incendio (refinería)	Petróleo	-	-	-
	14.02 *Corea, Daesan	Explosión	Gas hidrógeno	-	2	-
	15.02 Tailandia, Bangkok	Transporte	Dinamita, detonadores	171	100	-
	3.03 *EUA, Lake Charles	Explosión, incendio	Petróleo	3	12	-
	11.03 *México, Coatzacoalcos	Explosión (petroquímica)	Cloro	2	122	-
	12.03 *EUA, Seadrift	Explosión (planta química)	Óxido de etileno	1	20	-
	10.04 Italia, Livorno	Fuga (t)	Gas nafta	141	-	-
	13.04 *EUA, Sweeny	Explosión (refinería)	Petróleo	-	2	-
	4.05 Malaysia, Kuala Lumpur	Explosión	Fuegos artificiales	41	61	-
	4.05 México, Córdoba	Explosión	Paratión	-	300	-
	6.056 *EUA, Henderson	Fuga (fábrica)	Cloro	-	55	1 500
	.05 *EUA, Sterlington	Explosión (fábrica)	Nitrometano	> 8	> 123	15 000
	21.05 México, Cd. de México	Fuga (t)	Ácido clorhídrico	-	200	500
	30.05 *Francia, Berre-L'Etang	Fuga (planta química)	Etileno	-	4	-
	30.05 *China Dongguang	Incendio (industria textil)	-	71	-	-
	4.06 Etiopía, Addis Abeba	Explosión	Muníciones	100	200	-
	15.06 *Francia, Seclin	Incendio (oficinas)	Plásticos	-	-	-
	20.06 *Bangladesh, Dhaka	Explosión	Amoniaco	8	22	-
	12.07 India, Meenampalti	Explosión (fábrica)	Fuegos artificiales	38	-	-
	10.08 Taiwán, Kaohsiung	Fuga	Dióxido de azufre	-	600	-

Tabla 44 (continuación). Accidentes seleccionados que involucran sustancias peligrosas, 1970 - 1998.

Fecha	País y localidad	Origen del accidente	Productos involucrados	Número de		
				Muertos	Lesionados	Evacuados
1991 21.08	*Australia, Melbourne	Incendio (almacén)	Fenol, acrilonitrilo	-	-	> 1 000
3.09	Reino Unido, Immingham	Fuga, falla en el proceso	Fertilizantes	-	127	-
3.09	EUA, Hamlet	Explosión (almacén)	Sustancias químicas	25	41	-
24.09	Tailandia, Bangkok	Explosión	Gas	> 63	-	-
.09	China, Shaxi	Incendio, nube de gas	Plaguicidas	30	650	-
.10	India, Nuevo Bombay	Fuga (t)	Amoniaco	1	150	-
.10	India, Lhudsonia	Mercado	Fuegos artificiales	> 40	-	-
5.10	Suiza, Nyon	Fuga (fábrica de cloruro de polivinilo)	Cloro	-	-	12 000
31.10	Corea, Pyongyang	Explosión	Dinamita	> 120	-	-
3.11	*EUA, Beaumont	Incendio (refinería)	Hidrocarburos	-	-	-
.11	India, Medran	Fuga (t)	Líquido inflamable	93	25	-
.12	India, Calcuta	Fuga (tubería)	Cloro	-	200	-
5.12	EUA, Richmond	Válvula defectuosa	Emisión de polvo, Hollín	-	300	-
10.12	*Alemania, Gelsenkirch	Fuga, explosión	Productos refinados	-	8	-
29.12	México, San Luis Potosí	Fuga	Butano	-	40	-
1992 23.02	Corea, Kwangju	Explosión (almacén)	Gas LP	-	16	20 000
24.03	Senegal, Dakar	Fuga (fábrica de cacahuates)	Amoniaco	> 40	> 300	-
22.04	*México, Guadalajara	Explosión (alcantarillado)	Hidrocarburos	> 206	> 1500	6 500
29.04	India, Nueva Delhi	Explosión (almacén)	Sustancias químicas	43	20	-
20.06	Líbano, Assawani	Explosión	Explosivos	30	-	-
20.06	Libia, Al-Sanouani	Explosión (fábrica)	Fuegos artificiales	17	143	-
30.06	EUA, Duluth	Fuga (t.f)	Benceno	-	20	80 000
28.07	*EUA, Westlake	Explosión, fuga (almacén)	Amoniaco	-	63	-
8.08	Turquía, Corlu	Explosión	Metano	32	64	-
22.08	EUA, Richmond	Fuga	Ácido nítrico	-	130	-
8.10	*EUA, Wilmington	Fuga (refinería)	Hidrocarburos,	-	16	-
			Hidrógeno	-	-	-
16.10	*Japón, Sodegaura	Fuga, explosión	Hidrógeno	10	7	-
23.10	Alemania, Schkopau	Fuga (almacén)	Cloro	-	186	-
25.10	India, Tharia	Explosión, incendio	Fuegos artificiales	> 25	100	-
9.11	*Francia, Chateauneuf. L.	Fuga (refinería)	Propano, butano,	6	1	-
			Gas nafta	-	-	-
7.01	Corea del Sur, Chongju	Incendio	Gas LP	27	50	-
1993 9.02	*Francia, Cornille-L-Cav.	Incendio (fábrica de lácteos)	Plásticos	-	-	-
22.02	*Alemania, Frankfurt	Fuga	o-Nitroanisol	-	1	-
6.04	*Bélgica, Machelen	Explosión, incendio	Solventes	-	-	> 1 000
10.05	Tailandia, Bangkok	Incendio (fábrica de juguetes)	Plásticos	240	547	-
26.06	China, Zhengzhou	Explosión, incendio	Sustancias químicas	27	32	-
26.07	EUA, Richmond	Derrame	Ácido sulfúrico	-	> 6 250	-
27.07	*Francia, Evry	Incendio, explosión (imprensa)	Sustancias químicas	-	-	-
2.08	*EUA, Baton Rouge	Fuga, incendio	Hidrocarburos	-	-	-
4.08	Colombia, Remeios	Fuga	Aceite crudo	430	-	-
6.08	China, Shenzhen	Explosión (bodega)	Sust. químicas, gas	> 12	168	-
20.08	*Francia, Limoges	Incendio (almacén)	Plásticos	-	2	-
24.08	*Francia, Mirande	Incendio, explosión	Plásticos	-	-	-
29.08	China, Nanshankou	Explosión	Fuegos artificiales	27	2	-
28.09	Venezuela, Tejerías	Explosión (alcantarillado)	Gas	53	35	-
11.10	China, Baohe	Explosión	Gas natural	70	-	-

Fecha	País y localidad	Origen del accidente	Productos involucrados	Número de		
				Muertos	Lesionados	Evacuados
1993	1.11 Vietnam, Nam Khe	Derrame, explosión	Petróleo	47	48	
	4.11 Vietnam, Nam Khe	Fuga, explosión (tubería)		39	62	
	19.11 China, Kuiyong	Incendio (fábrica de muñecas)		81	19	
	25.11 China, Dulin	Explosión, bola de fuego (BLEVE)	Fuegos artificiales, pólvora	26		
1994	24.01 *Francia, Noyelles-God.	Explosión	Zinc		9	
	17.02 *Francia, Ducey	Incendio	Poliuretano		7	
	8.03 *Suiza, Zurich	Fuga (t.f.)	Gasolina		7	120
	30.03 *Francia, Courbevoie	Fuga	Gas	1	59	
	7.05 *Taiwán, Kaohsiung	Explosión (planta química)	Plásticos	1		
	27.05 *EUA, Belpre	Incendio (planta química)	Estireno	3		1 000
	17.06 China, Zhuhai	Incendio (fábrica textil)		76	150	20 desaparecidos
	24.07 *Reino Unido, Pembroke	Explosión (refinería)	Hidrocarburos		26	
	26.07 Corea, Inchon	Explosión	1-hidroxi benzo triazol	6	39	> 10 000
	2.08 China, Guangxi	Explosión (almacenamiento)	Dinamita, explosivos	73	99	
	23.08 *Francia, Balanod	Incendio (industria de carne)	Sustancias químicas (espuma plástica)			
	.10 India, Distrito de Thane	Fuga (t)	Cloro	4	298	
	4.10 India, Madhya-Pradesh	Explosión (almacenamiento)	Fuegos artificiales	30	100	
	20.10 EUA, Houston	Derrame	Aceite crudo, aceite combustible, gasolina		< 70	12 000
	.11 Egipto, Drowka, Durunka	Derrame	Aceite	> 200		
	4.11 Nigeria, Onitsha	Incendio (t.c.)	Aceite combustible	60		
	13.11 India, Nueva Delhi	Fuga, incendio (almacén de sustancias químicas)	Nube tóxica		500	
	7.12 Corea, Seúl	Explosión (centro ciudad)	Gas natural licuado	7	50	> 10 000
	14.12 Mozambique, Palmeira	Fuga (t)	Gas	36		
	28.12 Venezuela	Explosión (tubería)	Gas	50	10	
1995	12.03 India, Madras	Fuga (t)	Combustible	~ 100	23	
	28.04 Corea, Taegu	Fuga (construcción en transporte subterráneo)	Gas LP	101	140	> 10 000
	14.05 *Francia, Gerardmer	Incendio (fábrica textil)	Tintas		7	
	15.07 *Francia, Annecy	Explosión, incendio	Sustancias químicas		4	
	15.07 Irán, Astara	Fuga	Cloro	3	200	
	16.07 Brasil, Boqueiro	Explosión (almacén)	Municiones	100		
	24.07 *Francia, Blotzheim	Incendio	Plásticos		1	
	10.09 *Suiza	Incendio (fábrica de relojes)	Lubricantes			
	24.10 *Indonesia, Cilapcap	Incendio, explosión (refinería)	Gas			
	24.10 EUA, Bogalusa	Fuga de gas	Tetraóxido de nitrógeno		> 400	< 3 000
	3.11 Argentina, Río Tercero	Explosión (planta)	Municiones	13		> 10 000
	8.11 *Jamaica, Kingston	Explosión, incendio	Sustancias químicas			
	.12 India, Maharashtra	Fuga (t)	Amoniaco		2 000	
	24.12 *Francia, Dreux	Incendio (fábrica de autos)	Tricloroetileno		3	
1996	11.01 *Rusia, Toyatti	Explosión (planta química)	Sustancias químicas			
	31.01 China, Shaoyang	Explosión (almacén)	Explosivos	125	400	
	15.02 Afganistán, Kabul	Explosión (almacén)	Municiones	60	> 125	
	20.02 México, Cd. de México	Explosión (planta química)	Mercaptanos		> 125	> 100
	11.04 EUA, Alberton	Fuga (t.f.)	Sodio, cloro		140	< 1 000

Tabla 44 (continuación). Accidentes seleccionados que involucran sustancias peligrosas, 1970 - 1998.

Fecha	País y localidad	Origen del accidente	Productos involucrados	Número de		
				Muertos	Lesionados	Evacuados
1996	14.05 Yemen, Aden	Explosión	Municiones	38	> 100	-
	29.06 China, Piya	Explosión (fábrica)		36	52	-
	6.08 *Francia, Heilliecourt	Incendio (almacén de agroquímicos)	Clorato de sodio	-	-	-
1997	.01 Paquistán, Lahore	Fuga (t)	Cloro	32	900	1 000
	.01 *India, Mumbai	Incendio (terminal de manejo)	Azufre	-	-	-
	26.01 *EUA, Martinez	Incendio, explosión	Hidrocarburos	1	60	-
	19.02 Rusia, Khabarovsk	Explosión (planta química)	Cloro	1	208	-
	21.01 India, Bhopal	Fuga (t)	Amoniaco	-	400	-
	8.03 *Francia, Annezin	Incendio	Plásticos	-	-	-
	1.04 El Salvador, Acajutla	Fuga (fábrica de jabón)	Cloro	-	400	> 100
	22.06 *EUA, Deer Park	Explosión (BLEVE)	Hidrocarburos	-	1	-
	3.07 Turquía, Kirikkale	Explosión	Municiones, fuegos artificiales	1	1	< 200 000
	4.07 Ecuador, Quito	Explosión (almacén)	Municiones	3	187	-
	14.09 India, Wishakhaptnam	Fuego (refinería)	Hidrocarburos	34	31	150000
	20.09 China, Jin Jiang	Incendio (fábrica de zapatos)		32	4	-
	25.10 Sudáfrica, Stanger	Fuga (t.c.)	Petróleo	34	2	-
	02.11 *Francia, St. Nicolas d.P	Incendio (empacadora de carne)	Plásticos	-	-	-
1998	24.01 China, Pekín	Explosión (t.c)	Fuegos artificiales	40	100	-
	14.02 Camerún, Yaoundi	Fuga (t)	Productos del petróleo	220	130	-

Nota: Criterios de inclusión

- 25 muertes o más
- 125 lesionados o más
- 10,000 evacuados o más; o 10 mil personas o más privadas de agua
- 10 millones de US\$ o más en daños a terceros en casos identificados con *.

Exclusiones de:

- Derrames de aceite en el mar desde los barcos
- Accidentes mineros
- Destrucción voluntaria de barcos y aeronaves
- Daños causados por productos defectuosos.

Fuente: OECD, MHIDAS, TNO, SEI, UBA-Handbuch Stoerfaelle, SIGMA, Press Reports, UNEP, BARPI. Trabajo en curso.

Descriptores:

t. Transporte

t.c. Transporte carretero

t.f. Transporte ferroviario

t.fl. Transporte fluvial

t.m. Transporte marítimo

BLEVE : Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion (Explosión por vapores expandidos producidos por un líquido en ebullición dentro de un tanque cerrado).

UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS FUENTES DE PELIGRO

Zonas industriales

En México, una parte importante de la industria se encuentra ubicada en zonas o parques bien localizados, aun cuando se pueden encontrar otras dentro de ciudades (como el caso de la farmacéutica) o en sitios aislados, así solicitados por las industrias considerando el riesgo de las sustancias que manejan.

La localización de nuevas instalaciones depende de diversos factores, entre los cuales se encuentran:

- ♦ la compatibilidad con otras empresas del área y las expectativas de mercado para sus productos.
- ♦ la ubicación y vías de comunicación disponibles para el transporte de materias primas y productos.
- ♦ las condiciones meteorológicas, topográficas y climatológicas del sitio.
- ♦ la disponibilidad de mano de obra y de la infraestructura de servicios necesarios.
- ♦ la facilidad de acceder a servicios de atención de emergencias de tipo médico, industrial y ecológico que puedan presentarse en sus instalaciones.

Las industrias establecidas usan una amplia variedad de sustancias químicas en sus procesos, algunas de las cuales implican un riesgo a la propiedad y a la población localizada en los alrededores y al ambiente. El riesgo de cier-

tas actividades en procesos industriales requiere una clasificación que se determina por características como el tipo de proceso, la cantidad y peculiaridades de la o las sustancias empleadas como materia prima, y los productos y/o residuos generados (sólidos, líquidos, material particulado, vapores o de otro tipo).

La distribución de parques industriales en México no es uniforme (figura 95). Una gran parte de la industria de manufactura se encuentra ubicada en la parte central y en el norte, mientras que por ejemplo la petrolera, se encuentra localizada en la zona sur y sureste. Su ubicación sirve para identificar aquellos sitios que implican un riesgo considerable, pero que permiten la planeación de medidas de prevención o de atención a emergencias, en caso de que éstas se lleguen a presentar.

En la tabla 45 se indica el número de parques industriales que existe en cada estado de México. En esta tabla se puede observar que una parte importante de las zonas industriales se encuentra concentrada en la zona norte del país, principalmente en la franja fronteriza con Estados Unidos.

Observando esta tabla, se puede deducir erróneamente que en los estados del norte de la República están las zonas más peligrosas; sin embargo, se debe analizar la naturaleza de las empresas y el tipo de sustancias químicas que manejan así como sus volúmenes y el tipo de proceso químico involucrado, entre otros factores.

Figura 95. Distribución espacial de parques industriales en los Estados de la República

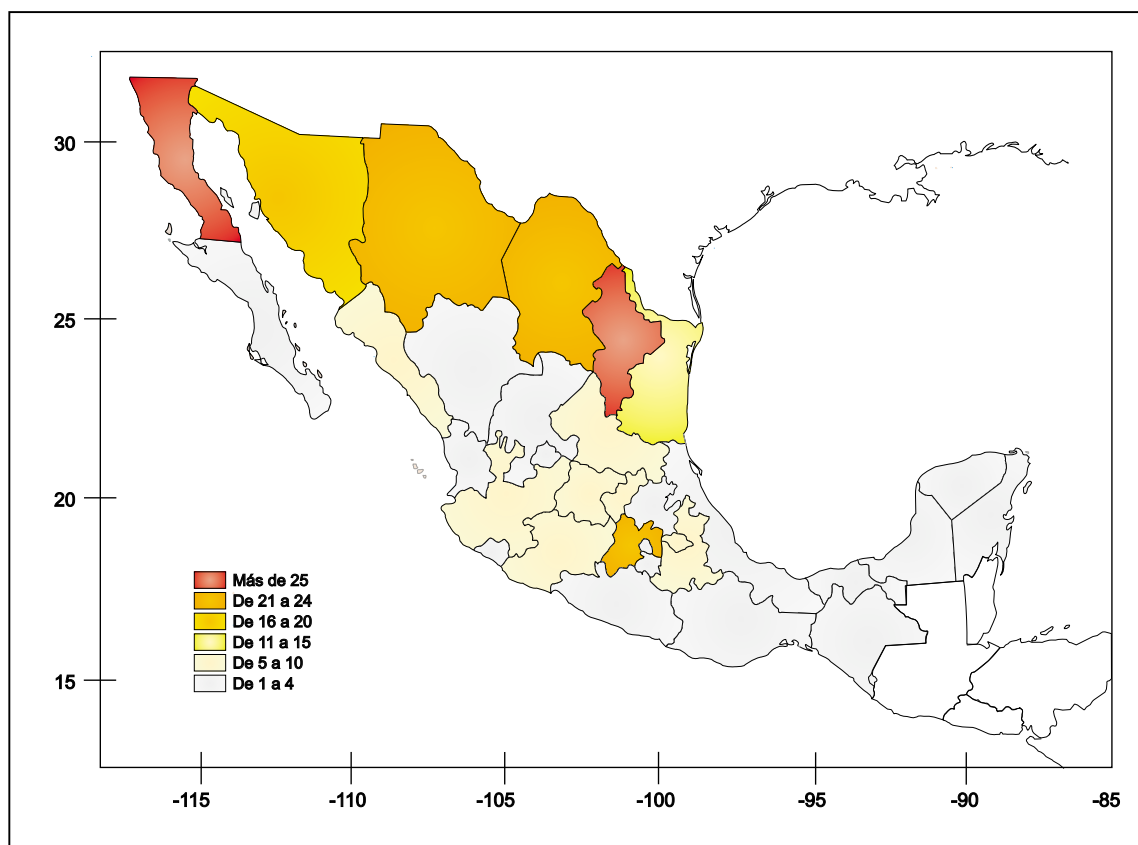


Tabla 45. Parques industriales localizados en los Estados de la República (1998).

Estado	Parques industriales	Puertos	Estado	Parques industriales	Puertos
Baja California Norte	49		Durango	4	
Nuevo León	27		Hidalgo	4	
Chihuahua	24		Veracruz	4	2
Coahuila	23		Morelos	3	
Estado de México	21		Oaxaca	3	
Sonora	19	3	Quintana Roo	3	
Tamaulipas	15	1	Tabasco	3	
Querétaro	10		Yucatán	3	
Puebla	9		Campeche	2	
Guanajuato	8		Chiapas	2	
Sinaloa	6	1	Zacatecas	2	
Jalisco	5		Baja California Sur	1	
Michoacán	5	1	Colima	1	
San Luis Potosí	5		Distrito Federal	1	
Tlaxcala	5		Guerrero	1	
Aguascalientes	4		Nayarit	1	

Fuente: Sistema de Información Empresarial Mexicano (SIEM) (1998).

De estos parques industriales, algunas empresas hacen uso de materias primas, obtienen productos intermedios o finales y/o generan residuos peligrosos, que implican algún tipo de riesgo a la población o al ambiente (tabla 46)

Se debería tratar de vincular la información industrial con datos geográficos y demográficos para realizar estimaciones al menos generales, sobre el riesgo potencial con base en las estimaciones del número de residentes que se encuentran en torno a los parques industriales.

En ocasiones la continuidad geográfica y la proximidad de dos o más parques industriales hacen que se consideren como un solo corredor industrial con 30 o más empresas y al-

gunos miles de pobladores cercanos a la zona. Por el contrario habrá parques industriales con 3 ó 4 empresas con un número reducido de habitantes. Asimismo, existen situaciones contrarias a los dos ejemplos citados, es decir, muchas industrias rodeadas de colonias saturadas de residentes en riesgo.

Algunos corredores industriales se encuentran ya dentro del ámbito urbano y en torno a ellos se aprecia una tendencia hacia el incremento de unidades habitacionales verticales. Por otro lado, existen parques industriales a lo largo de rutas de transporte público intenso, tanto privado como industrial donde han proliferado numerosos establecimientos de servicios comerciales, de todos tamaños, todos ellos con población flotante potencialmente expuesta a riesgos de origen químico.

Tabla 46. Tipos de industrias localizadas en los Estados de la República.

Estado	Polímeros y pegamentos	Farmacéutica	Química inorgánica	Química orgánica	Explosivos	Biocidas	Pinturas y colorantes	Aceites	Electrónica
Aguascalientes		•	•	•					•
Campeche				•					
Chihuahua			•	•					•
Coahuila			•	•	•	•			
Distrito Federal	•	•	•	•			•	•	•
Durango	•			•	•	•	•	•	
Guanajuato	•	•	•	•		•	•	•	
Hidalgo	•		•	•			•		
Jalisco	•	•	•	•		•	•	•	
Estado de México	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Michoacán	•		•	•					
Morelos	•	•	•	•			•		•
Nuevo León	•		•	•		•	•	•	
Oaxaca				•				•	
Puebla	•	•	•	•	•		•		
Querétaro	•		•	•			•	•	
San Luis Potosí	•		•	•					
Sinaloa			•					•	
Sonora			•	•			•		•
Tamaulipas	•		•	•	•	•	•	•	•
Tlaxcala	•		•	•		•			
Veracruz	•		•	•					

Fuente: Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ) (1997). Materiales químicos (MAQUIM). CENAPRED (1998).

Modelos de simulación

Modelos de Dispersión en Aire

Modelos de dispersión de fugas y derrames

Se aplica para estimar la concentración de sustancias peligrosas a nivel de piso, provenientes de una fuga gaseosa o del derrame de un líquido que se evapora. Los resultados que reporta el modelo son la distancia de la pluma para alcanzar una concentración dada y el área de exclusión o área de riesgo, dentro de la cual se pueden tomar acciones preventivas de evacuación en caso de accidentes.

Modelo de dispersión de un «Puff»

Considera la dispersión en burbuja tridimensional, formada por la masa de una sustancia que es liberada a la atmósfera en unos cuantos segundos, tal como una nube de gas provocada por la explosión o ruptura de una esfera de almacenamiento.

Modelos de Nubes Explosivas

Modelo de nubes explosivas

Se considera para gases en estado líquido por enfriamiento, por efecto de una presión y para gases sujetos a presiones de 500 psi o mayores así como líquidos inflamables o combustibles a una temperatura mayor a su punto de ebullición y mantenidos en estado líquido por efectos de presión (exceptuando materiales con viscosidad mayor a 1, 000 000 (centipoises) o puntos de fusión mayores a 100 °C).

Fuente: Prevención y Preparación de la respuesta en caso de accidentes químicos en México y en el mundo. Serie Monografías, No. 5. SEDESOL, 1994.

Industria petroquímica

Entre las principales empresas industriales de México se encuentra la paraestatal Petróleos Mexicanos (PEMEX). Las instalaciones y operaciones industriales que desarrolla son muy variadas, sobresaliendo entre ellas los complejos petroquímicos y de fraccionamiento de hidrocarburos, y los sitios de almacenamiento y distribución de combustibles. En la tabla 47 se indican algunas de las principales instalaciones de PEMEX que están actualmente en operación.

Los productos elaborados en las instalaciones indicadas en la Tabla 47 son muy variados (Tabla 48); su uso, en algunos casos, se encuentra ligado a otro tipo de procesos de transformación, lo que ha fomentado el desarrollo de nuevas industrias, con distintos giros, en sus alrededores. La ubicación de algunas instalaciones se muestra en la figura 96.

Tabla 47. Principales instalaciones en operación de PEMEX para la producción de productos derivados del petróleo (1997).

Plantas de gas	Fraccionadoras	Refinería	Complejo Petroquímica	Unidad
Reynosa	Reynosa	Cadereyta	Pajaritos	Reynosa
Poza Rica	Poza Rica	Madero	Morelos	Salamanca
Pajaritos	Pajaritos	Minatitlan	La Cangrejera	Tula
Morelos	Morelos	Salamanca	Cosoleacaque	Camargo
La Cangrejera	La Cangrejera	Salina Cruz	San Martin, Texmelucan	
La Venta	Cactus	Tula	Escolín	
Cactus	Nuevo PEMEX			
Nuevo PEMEX	Cd. PEMEX			
Cd. PEMEX	Matapionche			

Fuente: Anuario estadístico de PEMEX (1997).

Tabla 48. Terminales de almacenamiento de productos petroquímicos en operación (1992).

Terminal	Producto	Terminal	Producto
C.E. Pajaritos, Ver.	Gas licuado	Guadalajara, Jal	Gas licuado
C.E. Pajaritos, Ver.	Hexanos	Guaymas, Son.	Amoniaco
C.E. Pajaritos, Ver.	Heptanos	Lázaro Cárdenas, Mich.	Amoniaco
C.E. Pajaritos, Ver.	Propano	Madero, Tamps.	Amoniaco
Cactus, Chis.	Gas licuado	Madero, Tamps.	Butadieno
Cadereyta, N.L.	Gas licuado	Madero, Tamps.	Paraxileno
Cadereyta, N.L.	Hexanos	Madero, Tamps.	Gas licuado
Cosoleacaque, Ver.	Amoniaco	Madero, Tamps.	M.P. negro de humo
Cosoleacaque, Ver.	Paraxileno	Minatitlán, Ver.	Hexanos
Cosoleacaque, Ver.	Xileno (licor madre)	Pajaritos, Ver.	Monoetilenglicol
Pajaritos, Ver.	Benceno	Salina Cruz, Oax	Gas licuado
Pajaritos, Ver.	Dicloroetano	San Fernando, Tamps.	Amoniaco
Pajaritos, Ver.	Paraxileno	T.R. Rosarito, B.C.N.	Gas licuado
Pajaritos, Ver.	Ortoxileno	T.R. Topolobampo, Sin.	Gas licuado
Pajaritos, Ver.	Xilenos	T.R. Tula, Hgo.	Gas licuado
Pajaritos, Ver.	Tolueno	T.R. Tula, Hgo.	Hexanos
Pajaritos, Ver.	Metil terbutil éter	T.R. Pajaritos, Ver.	Amoniaco
Pajaritos, Ver.	Estireno	T.R. Pajaritos, Ver.	Etileno
Pajaritos, Ver. (Terr)	Acetaldehído	T.R. Pajaritos, Ver.	Rafinado 2 ¹
Poza Rica, Ver.	Gas licuado	T.R. Pajaritos, Ver.	Gas licuado
Poza Rica, Ver.	Propano	T.R. Pajaritos, Ver.	Butanos ²
Puebla, Pue	Gas licuado	T.R. Pajaritos, Ver.	Butano crudo
Reynosa, Tamp.	Gas licuado	T.R. Salina Cruz, Oax.	Amoniaco
Reynosa, Tamp.	Propano	Tierra Blanca, Ver.	Gas licuado
Salamanca, Gto.	Amoniaco	Topolobampo, Sin.	Amoniaco
Salamanca, Gto.	Gas licuado	Tuxpan, Ver.	Etileno

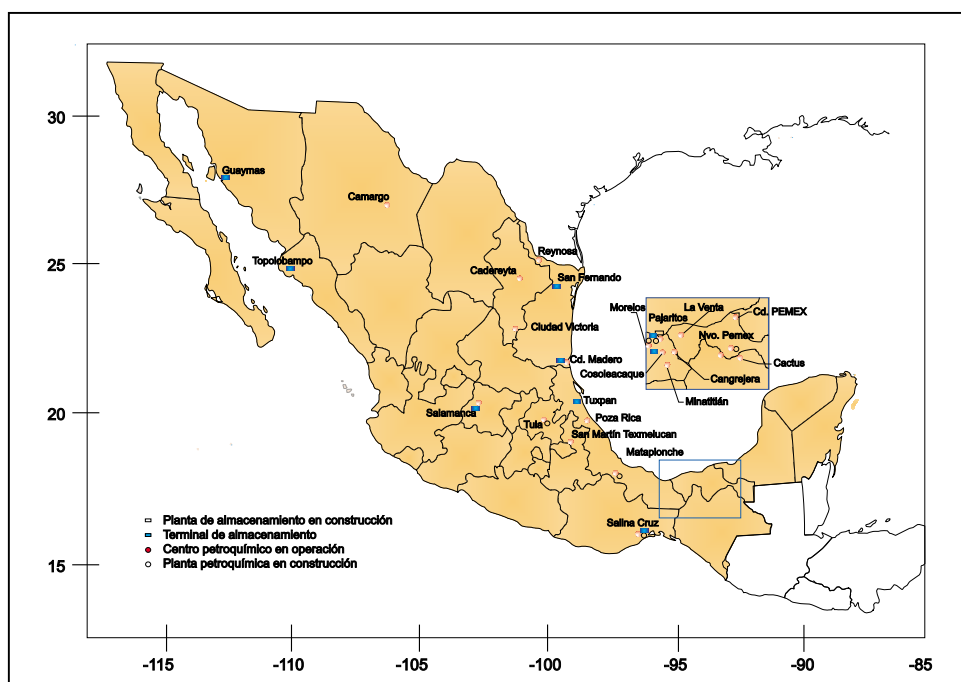
Fuente: Memoria de Labores de PEMEX (1992), MAQUIM (CENAPRED, 1998).

¹ El almacenamiento está ubicado en La Cangrejera y ² está ubicado en los complejos de Morelos y La Cangrejera.

T.R. Terminal Refrigerada.

C.E. Centro Embarcador.

Figura 96 Centros productores y terminales de productos petroquímicos en operación y construcción.



Tuberías de transporte de gas

Además del uso de combustibles como gasolina y diesel, el consumo de gas natural y gas licuado de petróleo (comúnmente conocido como gas LP) se ha ido incrementando en nuestro país durante los últimos años (tabla 49).

El gas L.P. es básicamente una mezcla de hidrocarburos (propano, butano, isobutano y algunos hidrocarburos insaturados) que son gases a temperatura ambiente, pero que pueden ser licuados mediante presión; por debajo de su punto de ebullición se producen gases de petróleo en cantidades considerables lo cual permite almacenarlo, transportarlo y distribuirlo en forma segura y eficiente en cilindros de baja

presión, como los que se usan para servicio doméstico.

La conducción de gas natural, desde los sitios de extracción hacia las plantas de gas donde se procesa para eliminar compuestos indeseables como azufre, se lleva a cabo básicamente por tubería. La red básica de conducción de gas natural en nuestro país se muestra en la figura 97.

El área susceptible a afectación, al ambiente o a las personas, en caso de fuga y/o explosión de gas, es proporcional a la cantidad liberada. Para el caso de las tuberías, el área dañada es paralela a ésta.

Figura 97. Red básica de plantas y ductos de gas

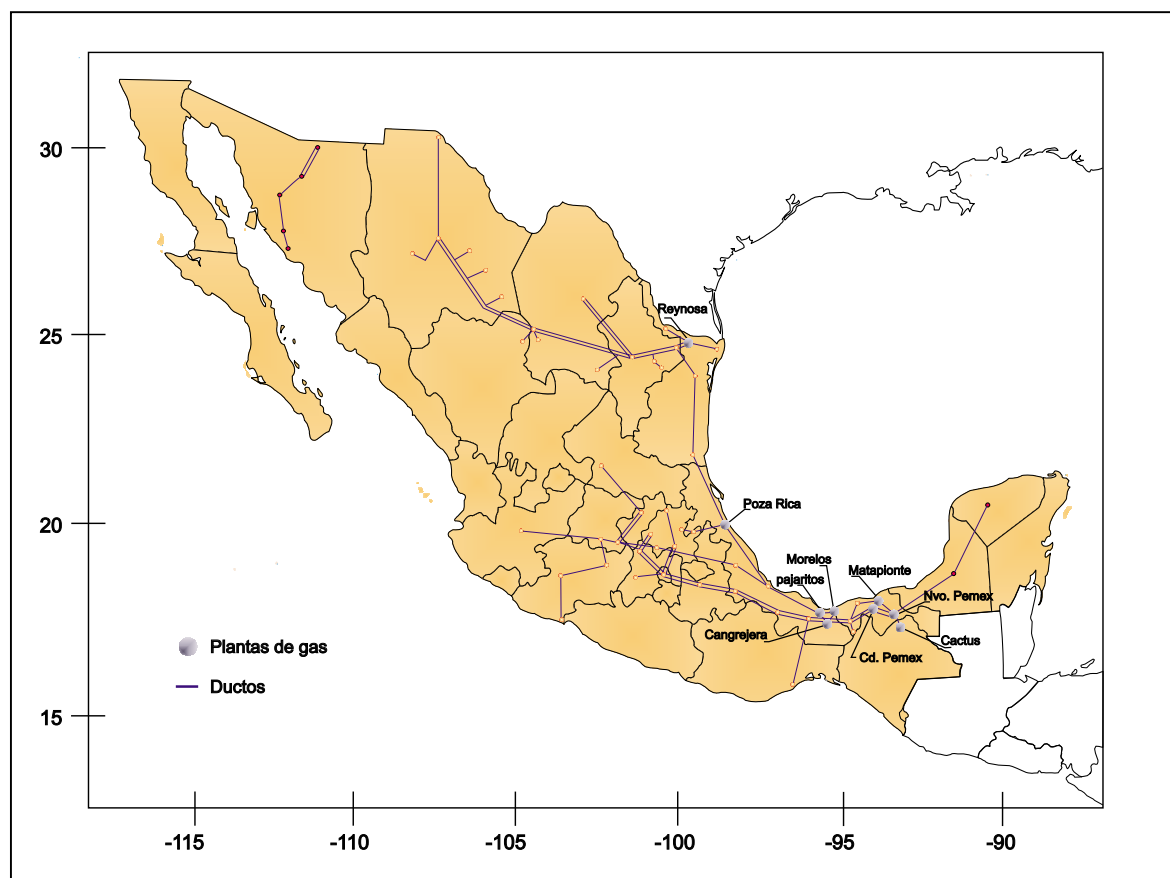


Tabla 49. Consumo de gas natural seco, en millones de pies cúbicos (1994 - 1997).

Destino	1994	1995	1996	1997
Consumo de PEMEX	1,676	1,602	1,730	1,844
Exportaciones	19	21	36	
Ventas internas	1,368	1,464	1,541	1,621
Sector industrial	823	906	956	983
Sector eléctrico	465	494	492	538
Sector doméstico	80	63	93	100

Fuente: Anuario estadístico de PEMEX (varios años).

Criterios de protección utilizados por el Instituto Nacional de Ecología (INE) en la evaluación de riesgos

Afectación por sustancias tóxicas	Se valora utilizando un índice conocido como IDLH, que es el valor máximo de una sustancia tóxica a la cual una persona puede escapar sin sufrir daños irremediables a su salud, si se expone a ella por un lapso de 30 minutos. Con este valor se determina la Zona de Exclusión o de alto riesgo.
Valores promedio máximos (TLV15)	Señala el valor promedio máximo al que una persona puede estar expuesta durante 15 minutos sin que se dañe su salud. Con este valor, se define la Zona de Amortiguamiento, es decir, los espacios que permiten cubrir los riesgos que pueda ocasionar una sustancia tóxica.
Afectación por sustancias explosivas	Valor que la SEDESOL ha establecido para calcular la Zona de Riesgo, y que corresponde a una presión de 0.035 kg/cm ² . Para determinarla se traza un círculo cuyo centro es la fuente de explosión señalando los puntos de la onda de sobrepresión de 0.035 kg/cm ² , siendo éste el valor máximo probable. En este caso la Zona de Amortiguamiento, se define por la distancia en que se presentaría una onda de sobrepresión de 0.035 kg/cm ² en la determinación del daño máximo catastrófico.
Zona Intermedia de Salvaguarda (ZIS)	Producto de todo lo anterior y de la evaluación de los estudios de riesgo que para tal efecto se realicen, se establece la necesidad de instaurar una ZIS a fin de proteger a la población y al ambiente de los riesgos derivados de la actividad de la industria riesgosa. La ZIS, en términos generales, se define como aquella zona determinada por resultado de la aplicación de los criterios y modelos de simulación de riesgo ambiental, que comprende las áreas en las cuales se presentarían límites superiores a los permisibles para la salud del hombre, afectaciones a sus bienes y al ambiente en caso de fugas accidentales de sustancias tóxicas y de presencia de ondas de sobrepresión en caso de formación de nubes explosivas; esta zona está conformada, a su vez, por dos zonas: la zona de riesgo y la zona de amortiguamiento.
La Zona de Riesgo	Zona de restricción total, en la que no se debe de permitir ningún tipo de actividad, incluyendo los asentamientos humanos y la agricultura, con excepción de actividades de forestación, de cercamiento y señalamiento de la misma, así como el mantenimiento y la vigilancia.
La Zona de Amortiguamiento	Zona donde se pueden permitir determinadas actividades productivas que sean compatibles con la finalidad de salvaguardar a la población y al ambiente, restringiendo el incremento de la población ahí asentada y capacitándola en los programas de emergencia que se realicen para tal efecto.

Fuente: Prevención y Preparación de la respuesta en caso de accidentes químicos en México y en el mundo. Serie Monografías, No. 5. SEDESOL, 1994.

Estaciones de servicio

Los productos combustibles como gasolina, diesel, combustóleo, gasóleo, gas avión y gas LP, se elaboran en México por Petróleos Mexicanos, el cual es su productor y distribuidor principal. La distribución al menudeo de gasolina y diesel, los principales combustibles usados por vehículos automotores, en cada una de las ciudades, carreteras y sitios particulares, se lleva a cabo en las estaciones de servicio (comúnmente llamadas gasolineras) y presenta una distribución regional acorde con el comportamiento económico de las distintas zonas del país, con la densidad de la población y las tendencias de crecimiento en la demanda de combustibles.

Los principales riesgos que involucra el manejo de estaciones de servicio, son los derrames o fugas de líquidos combustibles que pue-

den ocasionar la contaminación de sitios donde se encuentran los tanques de almacenamiento (que son de tipo enterrado) o zonas aledañas, la inflamación del material, e inclusive explosiones, en casos en que el mantenimiento de las instalaciones o el manejo de las sustancias se lleve a cabo de forma inadecuada.

El aumento del número de estaciones de servicio en el país ha sido constante (tabla 50), lo que ha incrementado también el riesgo de accidentes donde puede verse involucrada la población, sobre todo cuando la densidad poblacional que existe alrededor del sitio (estación de servicio) es elevada, tal como sucede en algunas de las ciudades del país, o cuando hay mucho tráfico vehicular, en el caso de las carreteras.

Tabla 50. Número de estaciones de servicio ubicadas en cada uno de los estados del país (1994 a 1997).

Estado	1994	1995	1996	1997	Variación (%)
Aguascalientes	24	27	37	46	91.7
Baja California	245	226	218	214	-12.7
Baja California Sur	40	42	35	39	-2.5
Campeche	21	23	24	25	19.0
Coahuila	109	128	139	159	45.9
Colima	27	26	27	28	3.7
Chiapas	74	73	72	76	2.7
Chihuahua	210	224	236	235	11.9
Distrito Federal	243	247	254	264	8.6
Durango	77	82	87	95	23.4
Guanajuato	140	163	181	207	47.9
Guerrero	66	79	77	80	21.2
Hidalgo	86	83	85	93	8.1
Jalisco	231	254	260	292	26.4
Estado de México	216	227	248	275	27.3
Michoacán	139	160	170	186	33.8

Estado	1994	1995	1996	1997	Variación (%)
Morelos	33	35	37	42	27.3
Nayarit	42	49	40	43	2.4
Nuevo León	178	203	239	261	46.6
Oaxaca	70	74	79	81	15.7
Puebla	131	144	151	164	25.2
Querétaro	39	48	55	66	69.2
Quintana Roo	28	27	28	31	10.7
San Luis Potosí	76	76	82	92	21.1
Sinaloa	118	127	129	141	19.5
Sonora	200	199	204	212	6.0
Tabasco	40	40	42	48	20.0
Tamaulipas	158	168	188	197	24.7
Tlaxcala	35	39	43	43	22.9
Veracruz	193	187	194	204	5.7
Yucatán	68	68	72	75	10.3
Zacatecas	66	72	75	79	19.7
Total	3423	3620	3808	4093	19.6

Fuente: Memoria de Labores de PEMEX (varios años). Revista Octanaje.

La vulnerabilidad se reduce al incrementar las medidas de seguridad en las instalacio-

nes de servicio mediante el uso de sistemas automatizados para el control de fugas.

Figura 98. Distribución de estaciones de servicio en México

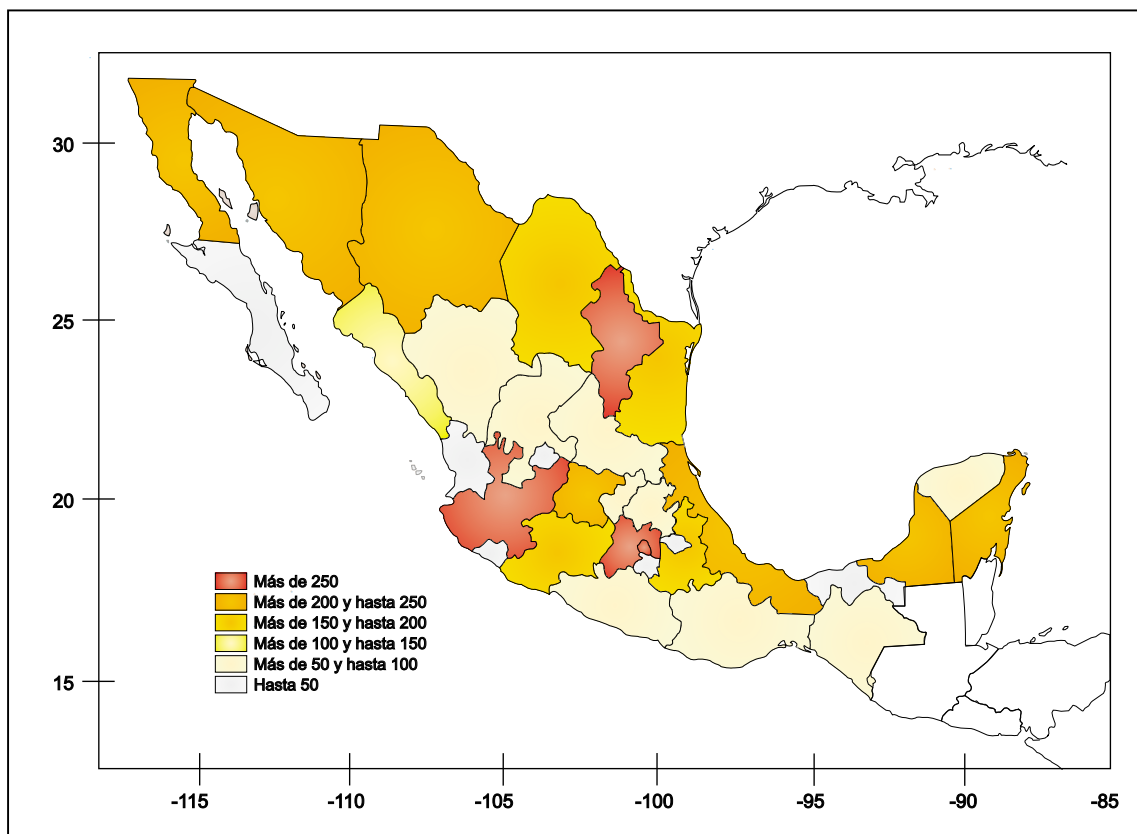


Figura 99. Distribución del menudeo de gasolina



Las estaciones de servicio son un sitio indispensable para el abastecimiento de combustible de una gran variedad de vehículos automotores (Fuente PEMEX).

Fuentes de materiales radiactivos

El uso de materiales radiactivos en México está orientado tanto a fines industriales, como de investigación y médicos, y sólo cuenta con una planta nucleoelectrónica.

En la industria, el uso de material radiactivo está orientado a la inspección de soldaduras, o piezas de fundición, para detectar fugas en tuberías enterradas (por resonancia magnética), e incluso para la destrucción de gérmenes en conservas, en la industria de alimentos. Para el área de investigación, se usan radiaciones para la modificación de ciertas especies vegetales y conseguir de esta forma mejorar ciertas características de interés. El campo médico hace uso de material radiactivo para diagnosticar, localizar y tratar tumores, principalmente de tipo canceroso, ya que las radiaciones, con isótopos radiactivos como el Co-57, Ba-133 y Cs-167, se utilizan para destruir células malignas.

La central nucleoelectrónica de Laguna Verde está localizada sobre la costa del Golfo de México, en el Municipio de Alto Lucero, Estado de Veracruz, a 70 km al noroeste de la Ciudad de Veracruz (figura 100). La central Laguna Verde está integrada por dos unidades, cada una con una capacidad de 654 MW; los reactores son tipo Agua en Ebullición (BWR/5) y la contención es tipo Mark II de ciclo directo.

La actividad de esta central en servicio de operación comercial, empezó el 29 de julio de 1990, con la unidad 1. La unidad 2 empezó sus actividades de operación comercial el 10 de abril de 1995. Entre ambas unidades se cubre el 4% de la potencia real instalada del Sistema Eléctrico Nacional. Los datos técnicos de la central nucleoelectrónica de Laguna Verde se indican en la tabla 51.

Tabla 51. Especificaciones técnicas básicas de la central nucleoelectrónica de Laguna Verde.

Localización	Laguna Verde, Veracruz. Kilómetro 70 al NNO de la Ciudad de Veracruz
Número de unidades	Dos
Tipo de reactor	BWR/5 (Reactor de agua ligera en ebullición)
Potencia térmica por reactor	1931 MWt
Carga inicial de combustible por reactor	444 ensambles; 92 toneladas de combustibles UO ₂) al 1.87% Uranio-235 en promedio
Recarga anual de combustible por reactor	96 ensambles al 2.71% Uranio-235, para un factor de capacidad del 70%
Potencia eléctrica bruta por unidad	675 MW
Potencia eléctrica neta por unidad	654 MW
Energía anual generada por unidad	4010 GWh, al 70% de factor de capacidad
Ahorro anual en combustóleo por unidad	1 millón 96,000 metros cúbicos (6 millones 895 mil barriles)
Líneas de transmisión	Tres de 400KV: a Tecoali, Puebla y Poza Rica Dos de 230 KV: a la Ciudad de Veracruz

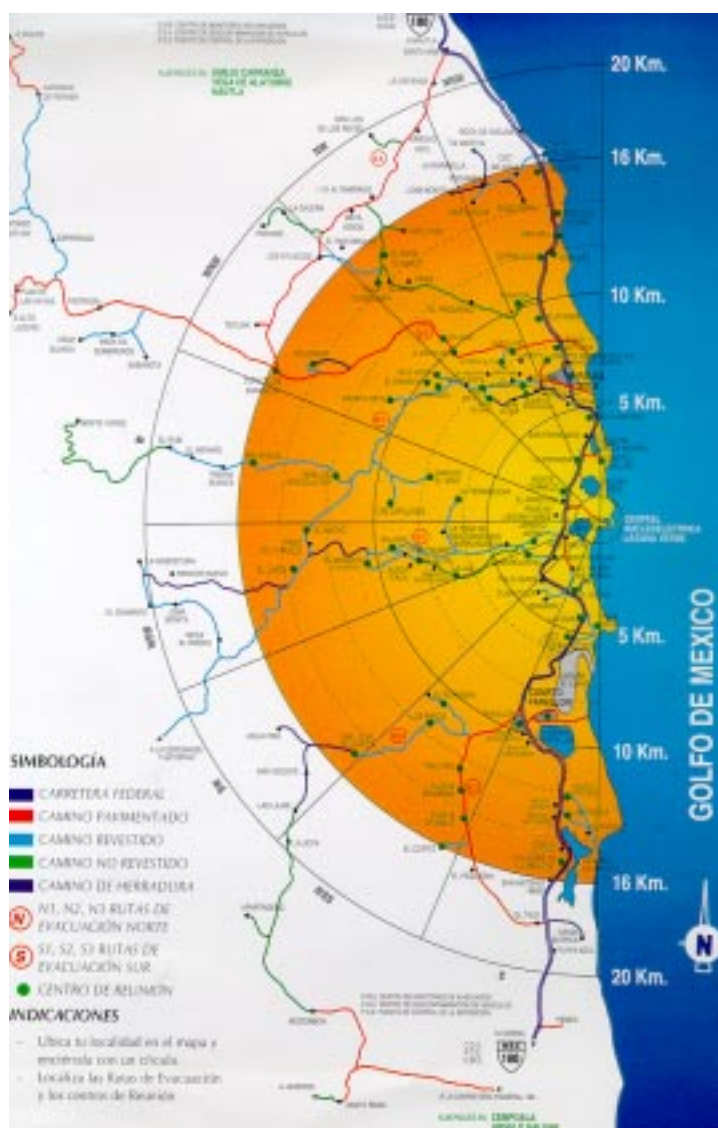
Fuente: Comisión Federal de Electricidad.

Figura 100. Central nucleoelectrónica de Laguna Verde



Se pueden observar las dos unidades de reactores.

Figura 101. Mapa para la planeación de emergencias de Laguna Verde



ACCIDENTES RELACIONADOS CON SUSTANCIAS QUÍMICAS

Sucesos como fuga, derrame, incendio y explosión pueden ocurrir tanto en el sitio donde se elaboran y manejan sustancias químicas, como en operaciones de almacenamiento, transporte o trasvase de las mismas. Cierta número de accidentes se debe a fallas de los equipos, mientras que otros se deben a problemas ocasionados por errores humanos, como son la operación y transporte de materiales.

El transporte de sustancias químicas en México se lleva a cabo mediante vía carretera, ferroviaria y marítima. Este proceso de transporte implica dos riesgos básicos:

1. Riesgo de un accidente en la carretera o en el sistema ferroviario, y derrame real de los materiales durante ese accidente.
2. Riesgo durante el transporte por tubería, desde una instalación a otra.

Accidentes carreteros (fuentes móviles)

Ya que una parte importante de los materiales usados por la industria es transportada por vía terrestre a largas distancias, la ocurrencia de accidentes donde se ven involucradas sustancias químicas es frecuente; estos accidentes pueden provocar derrames, fugas, incendios y explosiones de sustancias, originando la contaminación de suelos y acuíferos, además de daño físico a personas y bienes que se encuentren directa o indirectamente involucrados en el evento.

El transporte carretero de materiales se lleva a cabo mediante camiones, contenedores y carrotaques, aunque también se usan camiones y camionetas de poco tonelaje.

Los tipos de accidentes carreteros más comunes donde se involucran sustancias químicas, son los de choque y colisión y las fallas mecánicas, que ocasionan problemas en válvulas y desprendimiento de semirremolques.

De acuerdo con la información reportada por la Policía Federal de Caminos en 1996 y 1997, las principales sustancias que se vieron involucradas en accidentes carreteros en México se presentan en la tabla 52.

La base de datos ACARMEX por su parte contiene información sobre 1283 accidentes carreteros que involucran materiales químicos, para los que existe información disponible accesible y más o menos consistente, proporcionada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Esta información abarca de 1996 a 1997.

Los criterios para incluir los reportes de accidentes en la base de datos ACARMEX son:

- ♦ Que el evento involucre: fuga, derrame, explosión, incendio o volcadura.
- ♦ Que haya habido daños a la población civil, al ambiente y/o a las viviendas.
- ♦ Que haya habido pérdidas humanas y/o materiales a las vías de comunicación, además de las anteriores.

En cuanto a la distribución espacial, el número de accidentes, por estado, donde se ven involucradas una o más sustancias químicas están indicadas en la tabla 53.

Tabla 52. Número de accidentes carreteros y materiales que se encuentran involucrados.

Sustancia	1996	1997
Gas (incluye los reportados como LP, butano, butano propano, propano y doméstico)	143	179
Combustóleo (incluye combustóleo pesado)	62	74
Gasolina (incluye los tipos Magna Sin y Nova)	26	45
Diesel (incluye los tipos desulfurado, industrial y Sin)	37	46
Sustancia no especificada	24	29
Ácido sulfúrico	17	21
Hidróxido de sodio	11	16
Amoniaco	8	12
Asfalto	10	9
Turbosina	9	10
Azúfre	3	12
Ácido fosfórico	6	8
Combustible	4	6
Policloruro de vinilo	5	5
Fertilizante	4	6
Aceite	8	2
Tolueno	4	4
Hipoclorito de sodio	3	5
Oxígeno	1	7
Cloruro de vinilo	1	4
Clorhídrico	2	3
Otros	175	181

Fuente: Base de datos de accidentes carreteros en México donde se ven involucradas sustancias químicas (ACARMEX, CENAPRED-SCT, 1999).

Figura 102. Transporte carretero de materiales



Una gran variedad de materiales son transportados por vía terrestre a través de las carreteras, por lo que éstas requieren vigilancia permanente para reducir los riesgos a los que está expuesta la población, la propiedad y el ambiente.

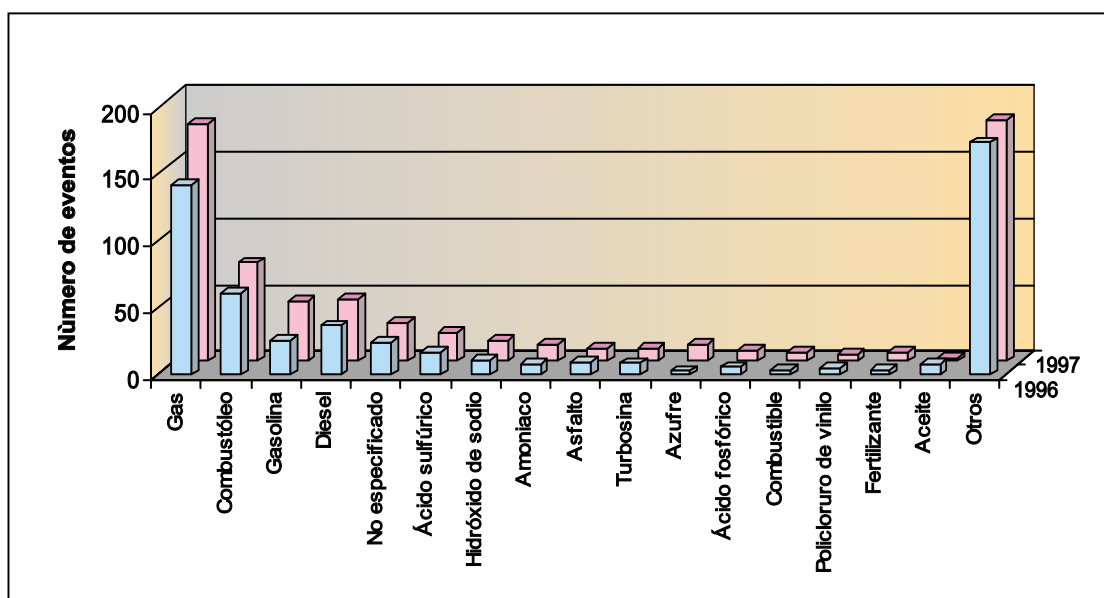
Tabla 53. Número de accidentes carreteros (1996-1997) donde se involucran sustancias químicas.

Estado	1996	1997	Total 96 - 97
Veracruz	66	68	134
México	48	70	118
Puebla	42	52	94
Tamaulipas	51	38	89
Oaxaca	33	42	75
Michoacán	41	31	72
Coahuila	28	37	65
Guanajuato	34	28	62
Hidalgo	27	31	58
Querétaro	22	35	57
San Luis Potosí	27	24	51
Sonora	17	34	51
Tlaxcala	15	32	47
Jalisco	10	23	33
Tabasco	12	17	29
Chiapas	14	14	28
Guerrero	10	17	27

Estado	1996	1997	Total 96 - 97
Baja California Sur	15	8	23
Chiapas	10	12	22
Nuevo León	7	15	22
Sinaloa	12	8	20
Zacatecas	7	11	18
Campeche	8	9	17
Nayarit	7	6	13
Distrito Federal	6	6	12
Morelos	4	5	9
Baja California	4	4	8
Quintana Roo	2	5	7
Aguascalientes	3	3	6
Yucatán	3	3	6
Colima	3	2	5
Durango	2	3	5
Total	590	693	1283

Fuente: Base de datos de accidentes carreteros en México donde se ven involucradas sustancias químicas (ACARMEX, CENAPRED-SCT, 1999).

Figura 103. Sustancias involucradas en accidentes carreteros



Accidentes químicos en fuentes fijas

Los accidentes químicos en fuentes fijas, básicamente abarcan eventos en instalaciones, estaciones de servicio y tuberías. Existe un apartado adicional denominado «otros», donde se incluyen: viviendas, basureros, cuerpos de agua, planteles educativos, lugares de orden público, monumentos históricos, oficinas, comercios o sitios que no pueden quedar clasificados en los principales rubros.

El número total de eventos ocurridos en cada estado de la República de 1990 a 1997, se presenta en la tabla 54.

Todos ellos están registrados en la base de datos denominada ACQUIM desde junio de 1990 a diciembre de 1997, la cual se ha venido elaborando en el Área de Riesgos Químicos del CENAPRED. Las fuentes de información fueron: los medios de difusión, las unidades estatales de protección civil y la Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ).

Aunque la base de datos ACQUIM supera algunas de las inconsistencias de las diferentes fuentes, continúa reflejando limitaciones debido a la falta de disponibilidad y solidez de la información referente al reporte preciso de los accidentes que involucran sustancias químicas. Los criterios para incluir a los accidentes en esta base de datos fueron:

- ♦ Que el evento haya sido: fuga, derrame, incendio, explosión, volcadura o descarrilamiento.
- ♦ Que haya habido daños a la población civil, al ambiente y/o a las viviendas.
- ♦ Que haya habido pérdidas humanas y/o materiales dentro de las instalaciones industriales y estaciones de servicio, además de los dos criterios anteriores.

Tabla 54. Número de accidentes en México donde se involucran sustancias químicas (1990 a 1997).

Estado	Eventos	% de ocurrencia	Estado	Eventos	% de ocurrencia
Aguascalientes	3	0.27	Morelos	17	1.55
Baja California	48	4.39	Nayarit	45	4.11
Baja California Sur	8	0.73	Nuevo León	4	0.37
Campeche	7	0.64	Oaxaca	28	2.56
Coahuila	22	2.01	Puebla	36	3.29
Colima	11	1.01	Querétaro	17	1.55
Chiapas	64	5.85	Quintana Roo	4	0.37
Chihuahua	4	0.37	San Luis Potosí	22	2.01
Distrito Federal	160	14.63	Sinaloa	14	1.28
Durango	9	0.82	Sonora	29	2.65
Guanajuato	21	1.92	Tabasco	18	1.65
Guerrero	23	2.10	Tamaulipas	46	4.20
Hidalgo	37	3.38	Tlaxcala	17	1.55
Jalisco	88	8.04	Veracruz	89	8.14
Estado de México	161	14.72	Yucatán	7	0.64
Michoacán	33	3.02	Zacatecas	2	0.18
			Total	1094	100

- ♦ Que el evento haya ocurrido durante la distribución de las sustancias por tubería, barco, lancha o ferrocarril.

En cuanto a las sustancias involucradas en los eventos indicados aparecen con mayor frecuencia el gas LP, amoníaco, gasolina, combustóleo, diesel, explosivos, cloro (gas) y

solventes; los resultados se muestran en la tabla 55.

La base de datos ACQUIM puede proporcionar información de los eventos por sustancia, tipo de accidente y en este caso, por estado de la República Mexicana. Los resultados sobre el tipo de eventos ocurridos durante 1990 a 1997 se muestran en la tabla 57.

Tabla 55. Sustancias químicas que aparecen con mayor frecuencia en los accidentes en fuentes fijas (1990 a 1997).

Sustancia	Eventos	% de ocurrencia
Gas LP	178	16.64
Gasolina	104	9.72
Amoníaco	62	5.79
Amoníaco anhidro	43	4.02
Explosivos	33	3.08
Combustóleo	25	2.34
Hidrocarburos	25	2.34
Petróleo crudo	24	2.24
Acido clorhídrico	22	2.06
Sosa cáustica	20	1.87
Ácido sulfúrico	19	1.78
Combustible	16	1.50
Otros	499	46.64

Fuente: Base de datos de accidentes químicos (ACQUIM) (CENAPRED, 1997).

Tabla 56. Tipos de eventos relacionados con las sustancias químicas (1990 a 1997).

Evento	Eventos	% de ocurrencia
Fuga	307	28.06
Derrame	302	27.61
Incendio	177	16.18
Combinación	119	10.88
Explosión	96	8.78
Volcadura	76	6.95
Intoxicación	16	1.46
No especificado	1	0.09
Total	1094	100

Fuente: Base de datos de accidentes químicos (ACQUIM) (CENAPRED, 1997).

Figura 104. Número de accidentes carreteros donde se encuentran involucradas sustancias químicas

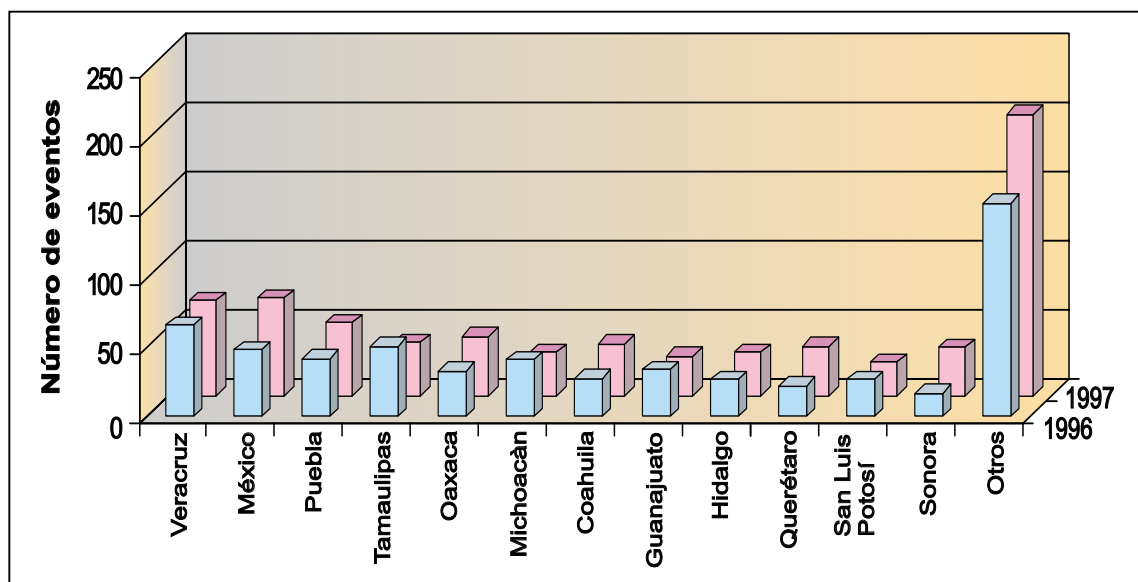


Tabla 57. Estados con la mayor incidencia de accidentes carreteros donde se involucran sustancias químicas.

Estado	1996		1997	
	No.	%	No.	%
Veracruz	66	11.19	68	9.81
México	48	8.14	70	10.1
Puebla	42	7.12	52	7.5
Tamaulipas	51	8.64	38	5.48
Oaxaca	33	5.59	42	6.06
Michoacán	41	6.95	31	4.47
Coahuila	28	4.75	37	5.34
Guanajuato	34	5.76	28	4.04
Hidalgo	27	4.58	31	4.47
Querétaro	22	3.73	35	5.05
San Luis Potosí	27	4.58	24	3.46
Sonora	17	2.88	34	4.91
Otros estados	154	26.10	203	29.29

Figura 105. Explosión en industria química



El riesgo de sufrir eventos como fugas, incendios y explosiones pueden ser disminuidos al incrementar las medidas de seguridad en sitios donde se almacenan sustancias peligrosas.

RESIDUOS PELIGROSOS

Se considera como un residuo de proceso a aquel material que ha sido generado durante un proceso de producción y que no cumple con las especificaciones mínimas de pureza o calidad, como los subproductos cuya comercialización no es económicamente rentable.

Como residuo peligroso se define a un residuo sólido, líquido o gaseoso o una combinación de residuos, los cuales debido a su cantidad, concentración, características físicas, químicas o infecciosas pueden (USEPA, 1990; NOM-052-ECOL-1993):

a) Causar o contribuir significativamente a incrementar la mortalidad o las enfermedades serias, irreversibles o producir incapacitación.

b) Poseer un peligro sustancial o potencial para la salud humana o el ambiente, cuando son tratados, almacenados, transportados o dispuestos inadecuadamente.

c) Presentar una o más de las características CRETIB (Corrosivas, Reactivas, Explosivas, Tóxicas, Inflamables o Biológico infecciosas).

Asimismo, los residuos peligrosos pueden ser identificados por alguna de sus características físicas, su composición química o su categoría genérica, por ejemplo: solventes y aceites lubricantes usados, jales, lodos procedentes de plantas de tratamiento de agua, colas de destilación, escoria que contenga metales pesados, tierra contaminada y fármacos caducos.

Dos de los elementos más importantes por tomar en consideración son el volumen de generación y la concentración de las sustancias y

residuos peligrosos, ya que esto indicará el mayor o menor riesgo que tendrán para los seres humanos y el ambiente.

Según información reportada al Instituto Nacional de Ecología, la generación estimada de residuos peligrosos para 1997 fue de más de 12 millones de toneladas, sin considerar los jales producidos en la minería (INE, 1997). En esta cantidad se encuentran incluidos los residuos generados de los siguientes tipos: solventes, aceites gastados, líquidos residuales de proceso, sustancias corrosivas, breas, escorias, medicamentos y fármacos caducos, y residuos biológico infecciosos. Las cantidades estimadas de la generación se muestran en la tabla 58.

La producción general por zona de país es la mostrada en la tabla 59. De acuerdo con los datos presentados, las zonas centro y norte contribuyen con más del 90% de los residuos generados, entre otras causas, porque en estas regiones se encuentra el mayor porcentaje de industrias instaladas en México.

Entre los tipos de residuos peligrosos más importantes producidos, en cuanto a la cantidad generada, se encuentran los materiales sólidos, solventes, líquidos residuales de procesos y aceites gastados (tabla 60).

En comparación con la cantidad de residuos peligrosos generados, la capacidad instalada para el manejo, transporte, tratamiento, destrucción o disposición final de los mismos es muy limitada, lo cual origina que una cantidad muy importante de ellos se disponga en forma clandestina en diversos sitios: basureros municipales, barrancas, hondonadas y cañadas, terrenos abandonados, derechos de vía de las carreteras y cuerpos de agua (INE, 1996).

Tabla 58. Generación estimada de residuos peligrosos (ton/año) en México 1997, por zona geográfica.

Estado	Solventes	Aceites gastados	Líquidos residuales de proceso	Sustancias corrosivas	Lodos	Sólidos	Breas	Escorias	Medicamentos y fármacos caducos	Residuos biológico infecciosos	Total por estado
Zona Norte											
Aguascalientes	18,406	33,298	40,416	11,368	26,040	53,956	82	8,833	76	404	192,879
Baja California	51,011	92,285	112,013	31,507	72,170	149,539	227	24,482	209	1,121	534,564
Baja California Sur	3,550	6,422	7,795	2,193	5,023	10,407	16	1,704	15	78	37,203
Chihuahua	48,881	88,431	107,336	30,191	69,156	143,295	217	23,459	201	1,074	512,241
Coahuila	37,193	67,287	81,671	22,972	52,621	109,033	165	17,850	153	817	389,762
Colima	3,168	5,731	6,956	1,957	4,482	9,286	14	1,520	13	70	33,197
Durango	26,489	47,921	58,165	16,360	37,476	77,652	118	12,713	109	582	277,585
Jalisco	111,362	201,466	244,534	68,781	157,553	326,457	495	53,445	457	2,446	1,166,996
Nayarit	2,949	5,336	6,467	1,822	4,173	8,646	13	1415	12	65	30,898
Nuevo León	100,002	180,914	219,589	61,765	141,481	293,155	444	47993	411	2197	1,047,951
San Luis Potosí	19,771	35,768	43,414	12,211	27,972	57,959	88	9,489	81	434	207,187
Sinaloa	15,948	28,851	35,019	9,850	22,563	46,751	71	7654	65	350	167,122
Sonora	25,342	45,846	55,647	15,652	35853	74,289	113	12,162	104	557	265,565
Zacatecas	4,424	8,003	9714	2,732	6259	12,969	20	2,123	18	97	46,359
Zona Centro											
Distrito Federal	251,725	455,397	552,749	155,475	356,136	737,931	1,119	120,809	1,034	5,530	2,637,905
Estado de México	157,075	284,166	344,913	97,015	222,227	460,466	698	75,384	645	3,450	1,646,039
Guanajuato	82,852	149,889	181,931	51,173	117,218	242,882	368	39,763	340	1,820	868,236
Hidalgo	20,426	36,953	44,853	12,616	28,899	59,880	91	9,803	84	449	214,054
Michoacán	20,481	37,052	44,973	12,650	28,976	60,040	91	9829	84	450	214,626
Morelos	12,398	22,429	27,224	7,657	17,540	36,344	55	5950	51	272	129,920
Puebla	58,821	106,414	129,163	36,330	83,219	172,435	261	28230	242	1292	616,407
Querétaro	20,099	36,361	44,134	12,414	28,435	58,919	89	9646	83	442	210,622
Tlaxcala	12,343	22,330	27104	7,624	17,463	36,184	88	5924	51	271	129,382
Zona Golfo											
Tabasco	4,697	8,497	10,314	2,901	6,645	13,769	21	2254	19	103	49,220
Tamaulipas	28,182	50,984	61,883	17,406	39,871	82,615	125	13525	116	619	295,326
Veracruz	27,963	50,589	61,403	17,271	39,562	81,975	124	13420	115	614	293,036
Zona Sureste											
Campeche	3,441	6,225	7,555	2,125	4,868	10,087	15	1,651	14	76	36,057
Chiapas	6,499	11,758	14,271	4,014	9,195	19,053	29	3,119	27	143	68,108
Guerrero	6,554	11,857	14,391	4,048	9,272	19,213	29	3,145	27	144	68,680
Oaxaca	8,138	14,722	17,869	5,026	11,513	23,856	36	3906	33	179	85,278
Quintana Roo	3,222	5,830	7,076	1,990	4,559	9,446	14	1,546	13	71	33,767
Yucatán	21,519	38,930	47,252	13,291	30,444	63,082	96	10327	88	473	225,502
Total	1,214,931	2,197,942	2,667,794	750,387	1,718,864	3,561,571	5,432	583,073	4,990	26,690	12,731,674

Fuente: Instituto Nacional de Ecología (INE), Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas).

Una vez que los residuos se han abandonado, pueden ocurrir diversos tipos de contaminación tanto en aire, agua y suelo; en este último caso las sustancias pueden viajar a través del subsuelo e infiltrarse en acuíferos y corrientes subterráneas.

La población podría quedar expuesta al consumir agua contaminada. El riesgo se minimizará al disponer en confinamientos autorizados a los residuos estabilizados mediante procesos fisicoquímicos y/o biológicos.

Sitios contaminados

Tradicionalmente, desde el inicio del proceso de industrialización en México, la industria minera, química básica, petroquímica y de refinación del petróleo, ha producido can-

tidades muy grandes, pero muy difíciles de cuantificar, de residuos peligrosos. En muchos casos suelen ocurrir prácticas inadecuadas en la disposición de los materiales y residuos peligrosos (los cuales se depositan abiertamente en el suelo sin medidas de protección), además de que ocurren derrames, fugas o incorrecto manejo de sustancias químicas lo cual plantea importantes riesgos a la población o bien genera riesgos de contaminación de acuíferos por la lixiviación de contaminantes.

La calificación de riesgo que representa un sitio contaminado con sustancias químicas peligrosas se basa en el potencial de afectar la salud pública y/o ambiente. Para evaluar el riesgo se debe considerar la concentración y las características físico-químicas de los contaminantes en cada medio y la presencia de receptores que puedan ser afectados (Izcapa, 1998).

Tabla 59. Generación estimada de residuos peligrosos en México, por zona geográfica.

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

Fuente: Instituto Nacional de Ecología (INE), Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas.

Tabla 60. Tipos de residuos peligrosos generados en México (1997).

Zona	Generación (t/año)	%
Sólidos		27.97
Líquidos residuales de proceso		20.95
Aceites gastados		17.26
Lodos		13.50
Solventes		9.54
Sustancias corrosivas		5.89
Escorias		4.58
Residuos biológico infecciosos		0.21
Breas		0.04
Medicamentos y fármacos caducos		0.04

Fuente: Instituto Nacional de Ecología (INE), Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas.

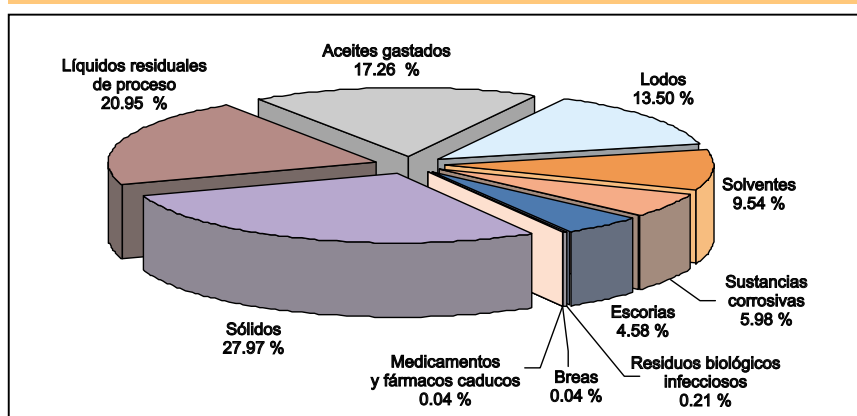
Tabla 61. Número de eventos, cantidad derramada y superficie contaminada por sustancias químicas (1993-1996).

Estado	No. de eventos	Cantidad derramada (m³)	Cantidad derramada (kg)	Superficie contaminada (m²)
Tabasco	243	7,606		926,928
Veracruz	121	4,733	10,360	123,719
Jalisco	34	222	15,000	8,513
Sonora	27	470		8,987
Tamaulipas	27	645	450	7,915
Guanajuato	24	101		275
Nuevo León	23	157	46,200	30,410
Coahuila	22	106		2,270
Oaxaca	21	534		16,248
Sinaloa	21	331		27,200
Baja California Norte	20	450		5,900
Tlaxcala	18	398	42,768	5,062
Hidalgo	16	765	980,820	31,250
Estado de México	15	132	60,000	432
Puebla	12	131		
San Luis Potosí	12	24		21,100
Michoacán	9	390		150
Nayarit	8	83		6,000
Querétaro	8	225		2,900
Campeche	7	85	40,000	
Morelos	7	96		
Durango	6	235		20,276
Guerrero	5	93		500
Baja California Sur	4	21		
Zacatecas	4	2,036		
Aguascalientes	2	10		
Quintana Roo	2		21,063	
Colima	1	14		
Total	719	20,091	1,216,661	1,246,035

Nota: Los estados de Chiapas, Chihuahua y Yucatán, así como el Distrito Federal no se encuentran incluidos en esta lista donde sólo se consideraron derrames superiores a los 200 litros.

Fuente: Izcapa Treviño, C (1998). Tesis de maestría, UNAM.

Figura 106. Generación por tipo de residuos peligrosos producidos en México (1997)



INCENDIOS FORESTALES

Se considera incendio forestal al fuego que, con una ocurrencia y propagación no controlada, afecta selvas, bosques o vegetación de zonas áridas o semiáridas, por causas naturales o inducidas, con una ocurrencia y propagación no controladas o programadas.

Tipos de incendios

Se conocen tres tipos de incendio, determinados básicamente por los combustibles involucrados (Dirección general forestal, SEMARNAP):

♦ Incendio de copa, de corona o aéreo.

Estos incendios se propagan por la parte alta de los árboles (copas) causándoles la muerte y afectando gravemente a los ecosistemas, pues destruyen toda la vegetación y en grados diversos dañan a la fauna silvestre. Este tipo de incendios es poco frecuente en México, presentándose en menos del 5% de total.

♦ **Incendio superficial.** Daña principalmente pastizales y vegetación herbácea que se encuentre entre la superficie terrestre y hasta 1.5 m de altura afectando principalmente a pastizales y vegetación herbácea, causando daños graves a la reforestación natural e inducida. Deteriora severamente la regeneración natural y la reforestación. En México es el de mayor presencia, estimándose en un poco más del 90%.

♦ **Incendio subterráneo.** Se propaga bajo la superficie del terreno, a través de las raíces y la materia orgánica acumulada en grandes afloramientos de roca. Se caracteriza por no generar llamas y poco humo. Su incidencia en el país es baja, menor al 2% a nivel nacional.

Temporada de incendios

Los meses durante los cuales ocurre la mayor cantidad de incendios son de enero a mayo, lo cual coincide con la temporada de heladas y sequía, cuando la cantidad de material combustible es relativamente elevada. Entre las diversas causas que originan el número de eventos durante estos meses, se pueden mencionar las siguientes:

- Enero: mes muy frío, lo que provoca mucha vegetación quemada por heladas.
- Febrero: hay incremento de calor y vientos fuertes.
- Marzo: ambiente seco, vientos fuertes y zonas con mucho material combustible por incendios anteriores.
- Abril: se registran temperaturas elevadas, con incremento del promedio diario de incendios y recrudecimiento de la sequía.
- Mayo: en muchos estados del país, coincide con las temperaturas más altas del año.

Entre los factores que tienen impacto en el inicio de fuego, su desarrollo y las medidas para atacarlo se encuentran el clima, el combustible y la topografía del sitio.

Datos estadísticos

La ocurrencia de incendios forestales se debe en gran medida a actividades humanas, como son las prácticas agropecuarias, de roza-tumba-quema, principalmente, aunque en los últimos años han aumentado factores como los

incendios intencionales y los ocasionados por los fumadores (tabla 62).

Los incendios forestales atribuibles a causas humanas representan el 97% del total de los que se producen en el país .

Las acciones de prevención han permitido reducir el número de incendios desarro-

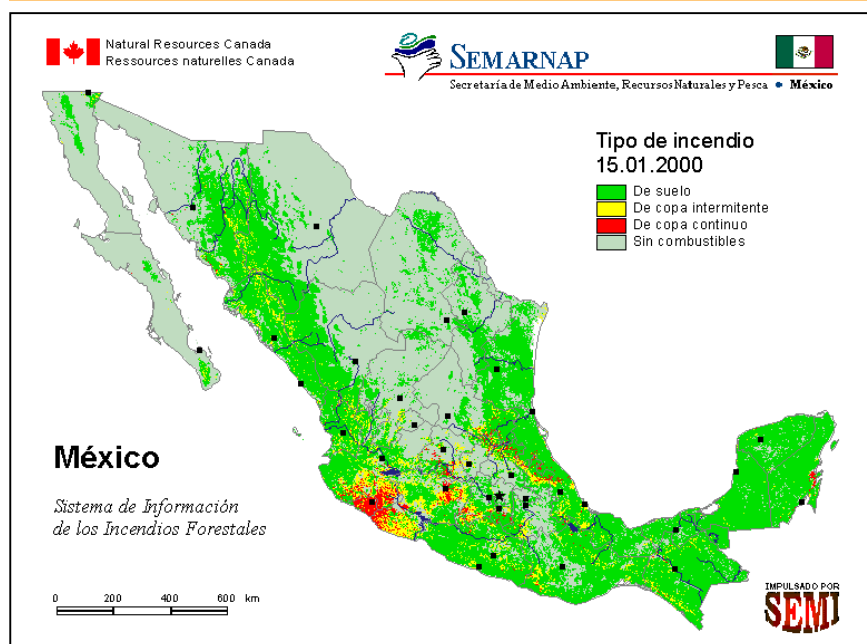
llados en los últimos años (tablas 63 y 64). En el caso especial de 1998, el gran número de incendios forestales con respecto a años anteriores fue debido a fenómenos climatológicos particulares que aumentaron considerablemente la temperatura, además de ocasionar la acumulación de una cantidad importante de material combustible en ciertas áreas.

Tabla 62. Causas de los incendios forestales ocurridos en México (1994 a 1998).

Causa	% de Ocurrencia				
	1994	1995	1996	1997	1998
Actividades agropecuarias (quema de pastos, roza, tumba y quema, etc.)	57	52	62	54	54
Intencional	4	8	6	16	16
Fumadores	5	14	9	10	10
Fogatas	10	13	10	9	9
Otras causas (cultivos ilícitos, rayos, truenos, líneas eléctricas)	7	7	7	7	6
Actividades silvícolas	4	3	2	2	2
Derecho de vía	5	1	1	1	2
Otras actividades productivas	8	3	3	1	1

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Subsecretaría de Recursos Naturales. Dirección General Forestal. 1998.

Figura 107. Tipos de incendios forestales



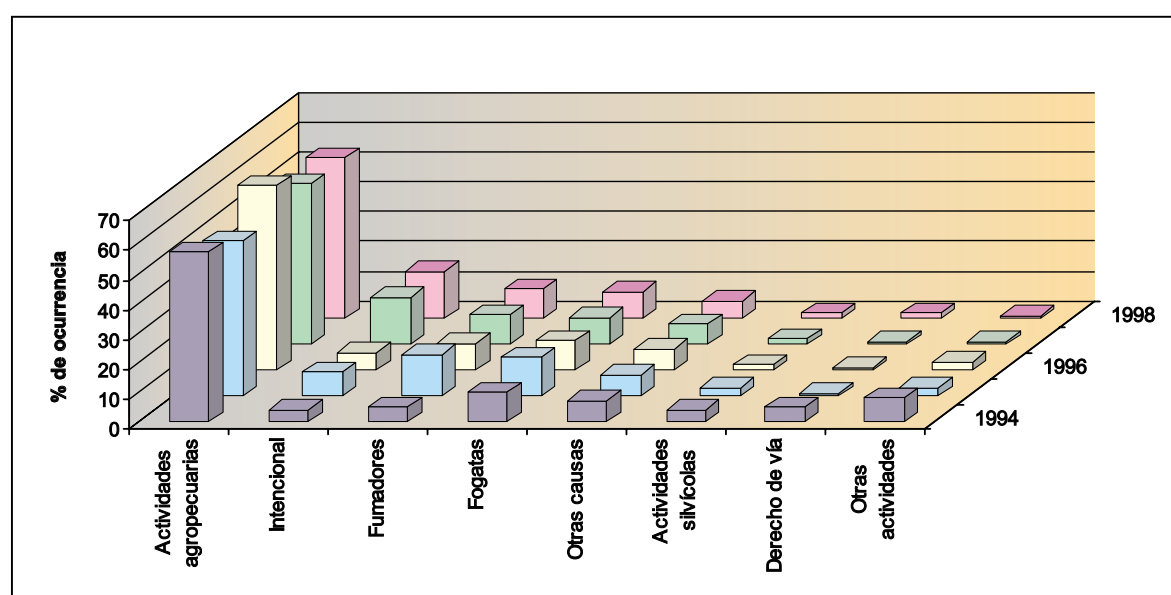
Uno de los mapas generados es el del tipo de incendio, mediante el cual se puede determinar con anticipación las técnicas de ataque que deben ser utilizadas para cada caso particular.

Tabla 63. Número de incendios forestales por tipo de vegetación y superficie afectada (Ha) ocurridos de 1994 a 1998.

Año	No. de incendios	Pastos	%	Forestal	%	Otros	%	Total	Promedio de superficie afectada por incendio (Ha)
1994	7,848	60,059	42.4	32,703	23.1	48,740	34.4	141,502	18.0
1995	7,872	88,956	28.8	115,117	37.2	105,014	34.0	309,087	39.3
1996	9,266	89,424	35.9	57,139	23.0	102,202	41.1	248,765	26.8
1997	5,163	46,477	43.1	23,444	21.7	37,924	35.2	107,845	20.9
1998	14,445	352,242	41.5	198,487	23.4	298,903	35.2	849,632	58.8

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Subsecretaría de Recursos Naturales. Dirección General Forestal. Información al 30 de noviembre de 1998.

Figura 108. Causas de incendios forestales (1994-1998).



Las superficies afectadas se clasifican como pastos, forestales u otros (por ejemplo matorrales); de ahí que los tiempos de recuperación de cada una de ellas sean distintos y por tanto, los planes y programas de recuperación deben ser específicos para cada caso.

Durante 1998 se utilizaron técnicas más precisas para la detección y cuantificación de áreas incendiadas; éstas incluyen la utilización de sensores de infrarrojo y la percepción remota satelital de alta definición, además de la inspección directa *in situ*. Por esta razón, la información para 1998 es más incluyente y por

ende no compatible con la obtenida años atrás. Debe considerarse, además, que en 1998 ocurrieron efectos climáticos muy particulares que provocaron una temporada de sequía muy fuerte y casi al final del año, una temporada de huracanes y tormentas tropicales; por consecuencia la cantidad de material combustible disponible fue considerable.

Durante los años de 1994 a 1998, los incendios sucedieron sobre todo en los quince estados (tablas 65 y 66) donde se concentra el 90.42% del total nacional.

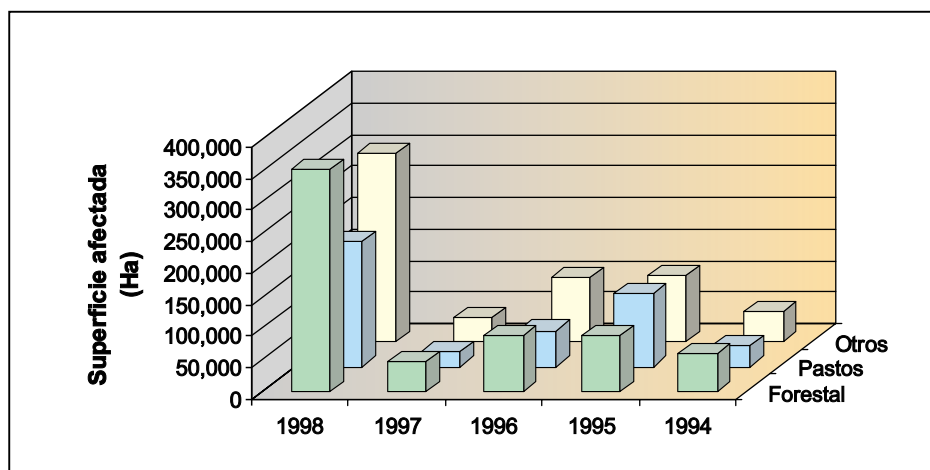
Tabla 64. Número de incendios y áreas afectadas por estado en hectáreas (1994 a 1998).

Estado	1994		1995		1996		1997		1998	
	Número	Área (Ha)	Número	Área (Ha)	Número	Área (Ha)	Número	Área (Ha)	Número	Área (Ha)
Aguascalientes	23	702	12	213	22	914	5	31	5	167
Baja California	59	3,040	63	12,846	54	16,104	60	9,213	233	5,494
Baja California Sur	3	11	2	2	4	93	2	23	12	29
Campeche	45	605	77	1,713	3	22	7	155	76	5,253
Coahuila	56	4,878	61	14,000	64	22,822	6	177	41	14,602
Colima	93	1,896	66	4,473	95	5,554	59	2,254	64	1,191
Chiapas	121	16,673	150	24,193	197	18,574	181	48,114	405	198,808
Chihuahua	626	14,477	692	14,475	899	44,909	263	2,930	921	27,502
Comarca Lagunera*	18	728	12	15,518	10	1,140	—	—	—	—
Distrito Federal	1,069	2,556	1,406	2,565	1,484	3,166	1,115	1,530	1,932	5,735
Durango	318	14,619	368	31,905	319	28,346	23	435	436	68,960
Guanajuato	38	1,646	35	1,056	15	428	2	62	61	2,811
Guerrero	241	4,755	214	5,236	254	8,268	241	5,636	496	19,203
Hidalgo	89	1,335	136	2,376	154	2,175	51	497	420	14,557
Jalisco	531	19,377	437	17,005	354	14,583	115	2,031	428	18,196
Estado de México	2,061	11,240	1,875	13,811	2,771	15,008	1,496	4,517	3,649	25,847
Michoacán	944	5,584	755	6,186	774	6,188	611	5,604	1,793	25,790
Morelos	396	669	228	528	145	452	103	232	330	2,360
Nayarit	91	7,647	45	4,683	43	1,769	56	2,420	71	2,284
Nuevo León	22	233	48	4,815	67	4,974	11	459	96	28,155
Oaxaca	126	4,443	147	8,464	137	8,027	237	10,629	419	241,708
Puebla	244	4,138	204	4,251	336	3,648	176	1,213	544	19,835
Querétaro	32	993	61	1,924	97	5,729	13	66	96	17,524
Quintana Roo	105	2,368	137	59,986	111	2,206	58	629	234	6,209
San Luis Potosí	9	206	109	9,645	181	8,800	4	12	249	27,181
Sinaloa	82	1,955	76	1,574	141	4,238	54	916	129	8,211
Sonora	19	609	29	5,009	48	8,017	26	5,058	26	1,667
Tabasco	11	974	15	4,431	0	0	0	0	67	13,938
Tamaulipas	11	328	27	4,639	70	5,471	3	51	91	17,826
Tlaxcala	161	882	146	514	209	756	103	388	439	8,832
Veracruz	135	470	148	1,841	157	1,500	53	129	539	9,690
Yucatán	7	102	16	1,087	6	76	14	1,676	41	5,397
Zacatecas	62	12,091	75	43,641	45	5,948	15	758	102	4,670
Totales	7,848	141,502	7,872	309,087	9,266	248,765	5,163	107,845	14,445	849,632

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Subsecretaría de Recursos Naturales. Dirección General Forestal. Información al 30 de noviembre de 1998.

*** La Comarca Lagunera no es un estado político de México; sin embargo, los incendios registrados en ella no se encuentran registrados por separado.

Figura 109. Superficie afectada por incendios forestales en México (1994-1998)



En relación con la superficie afectada, Chiapas y Oaxaca registran más del 34% del total nacional para el período de 1994 a 1998. En general, los quince estados que sufrieron mayor afectación en su superficie, se indica en la tabla 65.

Zonas con riesgo de incendio

En cuanto a la identificación de zonas con peligro de incendios para cada temporada se utilizan básicamente cinco variables (SEMARNAP, Sistema Canadiense de Evaluación de Peligro de Incendio Forestal, 1999):

a) Índice de humedad del combustible ligero, indica la facilidad de ignición del material combustible; es un rango numérico del contenido de humedad de los combustibles ligeros, muertos de superficie, en una masa forestal.

b) Índice de humedad del humus, es un rango numérico que indica la sequedad de la materia orgánica muerta compactada, conocida como humus, para capas de 5 a 10 cm de espesor.

c) Índice de sequía, el cual mide los efectos

de la sequía estacional o de largo plazo sobre los combustibles forestales pesados; es un rango numérico que indica la sequedad de la materia orgánica muerta compactada en capas de 10 a 20 cm de profundidad.

d) Índice de propagación; es determinado en un rango numérico que señala la velocidad de propagación del fuego inmediatamente después de que se ha producido la ignición; su valor se calcula al combinar los valores del índice de humedad del combustible ligero con el de la velocidad del viento.

e) Índice de consumo; representa una combinación balanceada del índice de humedad del humus y el índice de sequía; sus valores muestran la cantidad total de combustible disponible.

A partir de la combinación de los cinco índices anteriores se determina el Índice Meteorológico de Peligro (IMP), que proporciona una evaluación del potencial relativo del incendio basado solamente en las observaciones meteorológicas ya señaladas. El cálculo de este índice lo lleva a cabo el Sistema Canadiense de Evaluación de Peligro de Incendio Forestal (CFFDRS) el cual forma parte del Sistema Espacial del Manejo de Incendios (SEMI).

Tabla 65. Estados que registraron el mayor número de incendios forestales en el período 1994-1998.

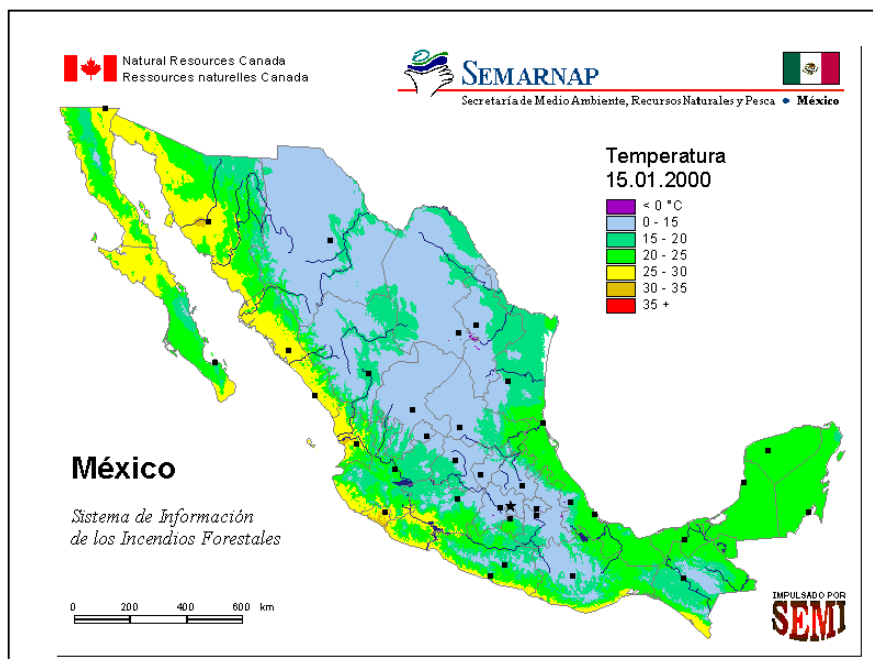
Estado	Número de incendios	Superficie afectada (Ha)	Promedio de superficie afectada
Edo. de México	11,852	70,423	5.94
Distrito Federal	7,006	15,552	2.22
Michoacán	4,877	49,352	10.12
Chihuahua	3,401	104,293	30.67
Jalisco	1,865	71,192	38.17
Puebla	1,504	33,085	22.00
Durango	1,464	144,265	98.54
Guerrero	1,446	43,098	29.80
Morelos	1,202	4,241	3.53
Oaxaca	1,066	273,271	256.35
Tlaxcala	1,058	11,372	10.75
Chiapas	1,054	306,362	290.67
Veracruz	1,032	13,630	13.21
Hidalgo	850	20,940	24.64
Quintana Roo	645	71,398	110.69
Subtotal	40,322	1,232,474	30.57
% Total nacional	90.42	73.77	
Otros estados	4,272	438,165	102.57
Total nacional	44,594	1,670,639	37.46

Tabla 66. Estados que registraron la mayor superficie afectada por incendios forestales en el período.

Estado	Número de incendios	Superficie afectada (Ha)	Promedio de superficie afectada
Chiapas	1,054	306,362	290.67
Oaxaca	1,066	273,271	256.35
Durango	1,464	144,265	98.54
Chihuahua	3,401	104,293	30.67
Quintana Roo	645	71,398	110.69
Jalisco	1,865	71,192	38.17
México	11,852	70,423	5.94
Zacatecas	299	67,108	224.44
Coahuila	228	56,479	247.71
Michoacán	4,877	49,352	10.12
Baja California	469	46,697	99.57
San Luis Potosí	552	45,844	83.05
Guerrero	1,446	43,098	29.80
Nuevo León	244	38,636	158.34
Puebla	1,504	33,085	22.00
Subtotal	30,966	1,421,503	45.911.5
% Total nacional	69	85	
Otros estados	13,628	249,136	18.28
Total nacional	44,594	1,670,639	37.46

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Subsecretaría de Recursos Naturales. Dirección General Forestal. Información al 30 de noviembre de 1998.

Figura 110. Mapa de temperaturas en la República del 15 de enero de 2000



El aumento de la temperatura permite localizar áreas donde la probabilidad de que sucedan incendios es mayor.

La imagen del índice meteorológico de peligro para el día 28 de abril de 1999 se muestra en la figura 110.

El peligro de los factores principales que influyen en los incendios son la disminución en la intensidad de lluvias y el aumento de temperatura. Entre menor sea la precipitación y mayor la temperatura existe un importante incremento en el riesgo de que ocurra un incendio, ya que se origina una generación de material combustible en áreas de vegetación potencial, como son pastos, matorrales y selvas bajas, entre otros, debido a que estos tienden a disminuir en forma rápida su contenido de humedad.

En cuanto al desarrollo de los incendios y las zonas en que éstos se extienden una vez iniciados, el viento tiene un papel primordial ya que éste puede hacer que la propagación se lleve a cabo en una forma más rápida y no predecible.

Con el uso del índice meteorológico de peligro se generan mapas, como el indicado en la figura 110. Se toman las medidas de prevención correspondientes y se preparan con los recursos humanos y materiales necesarios para combatir los incendios que se vayan presentando en todo el país, puesto que estos mapas se actualizan diariamente.

Figura 111. Mapa de índice meteorológico de peligro del 28 de abril de 1999

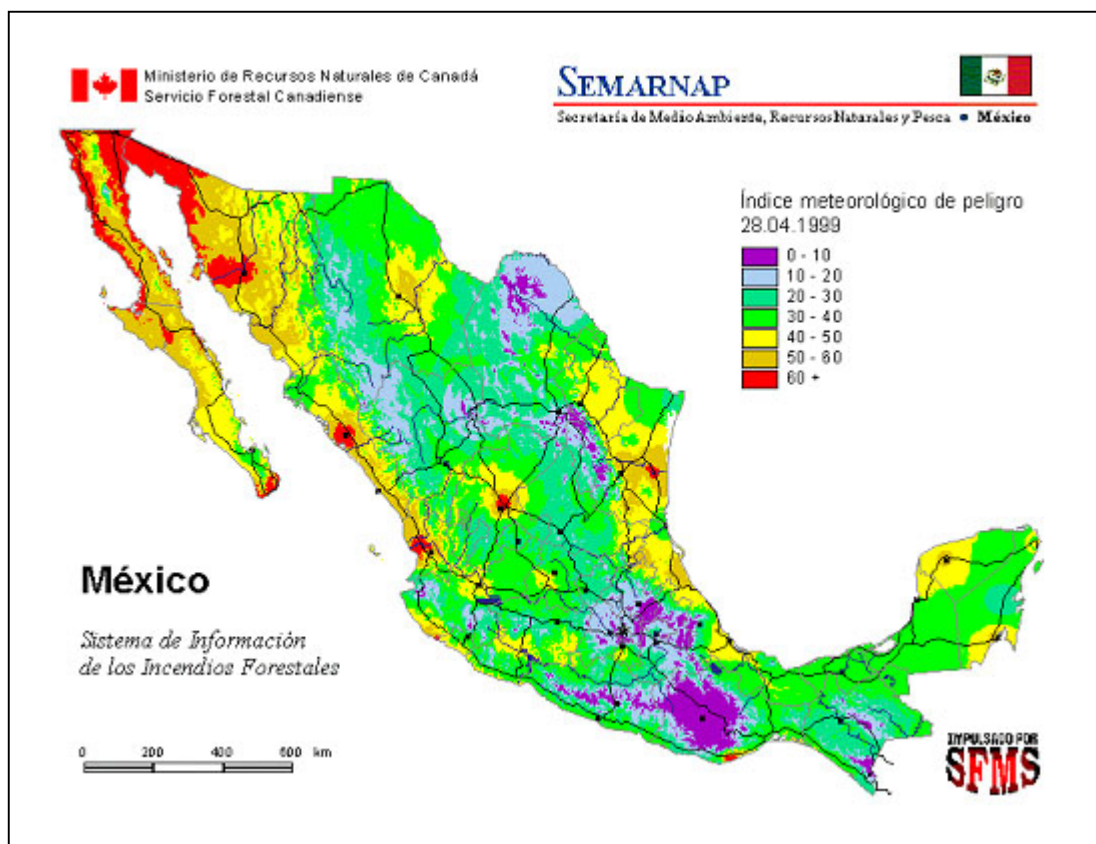


Figura 112. Número de incendios ocurridos en México (1994 a 1998)

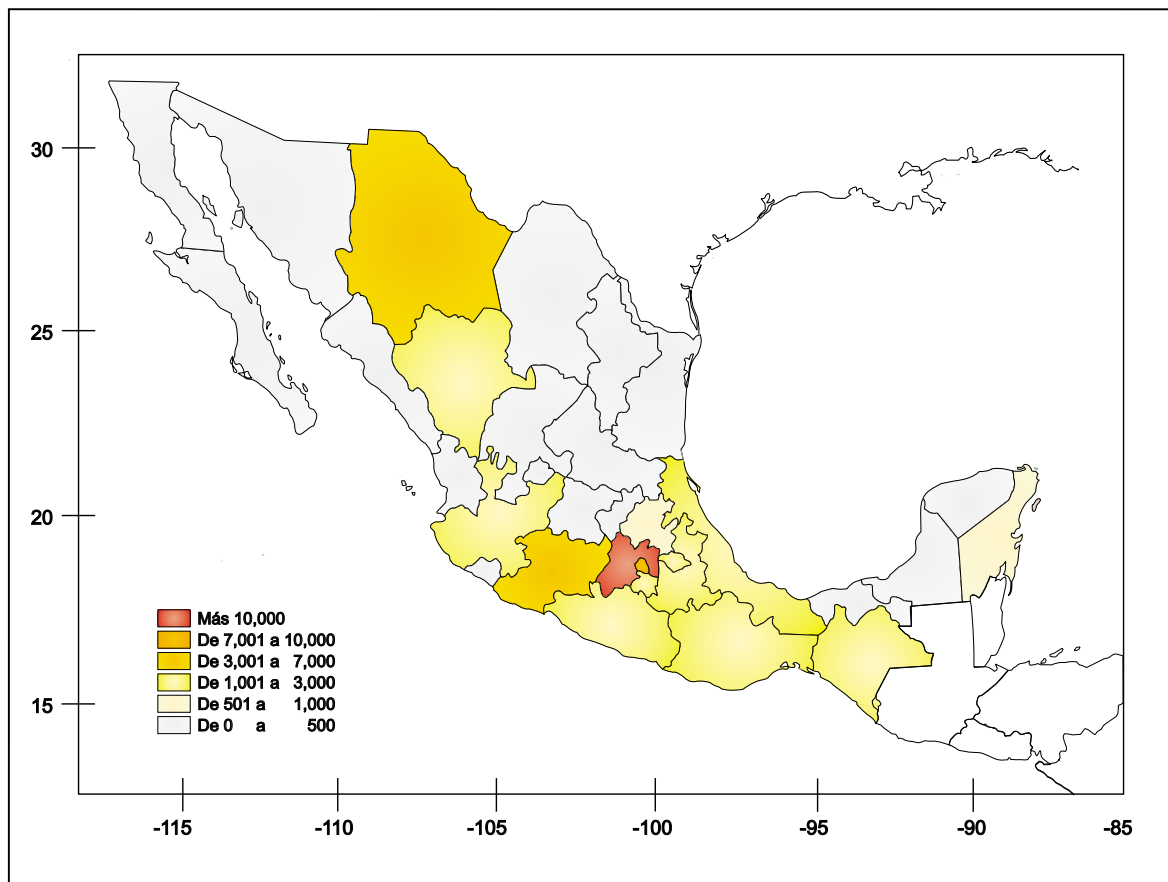
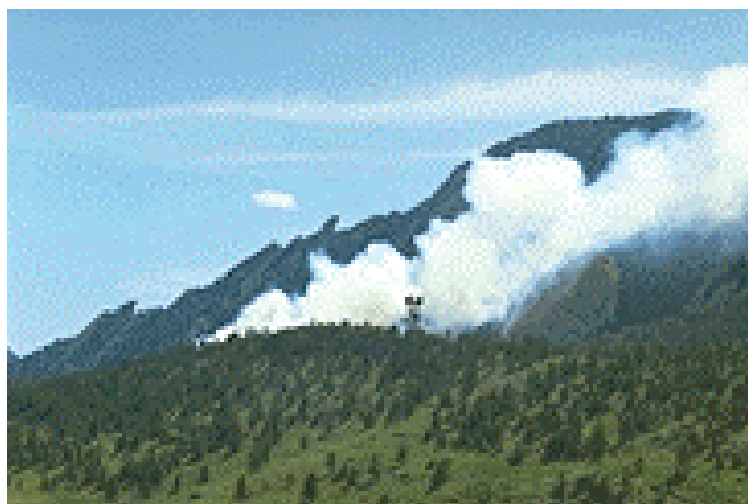


Figura 113. Incendio forestal



Los incendios forestales que afectan nuestro país se pueden presentar en lugares donde su extinción puede ser difícil, como montes y montañas.

CONCLUSIONES

Debido a la vulnerabilidad que actualmente presentan las poblaciones aledañas a zonas industriales o a vías de comunicación así como las que están cercanas a tuberías, es necesario desarrollar y aplicar técnicas de análisis de riesgo ambiental, así como políticas del uso del suelo que eviten la coexistencia de zonas urbanas o ecológicamente sensibles y áreas industriales de alto riesgo, para prevenir daños de consideración en el caso de presentarse una emergencia química. La necesidad de evaluar el riesgo químico surge de la importancia de proteger a la población civil, sus bienes y al ambiente, que circundan a los sitios donde se efec-

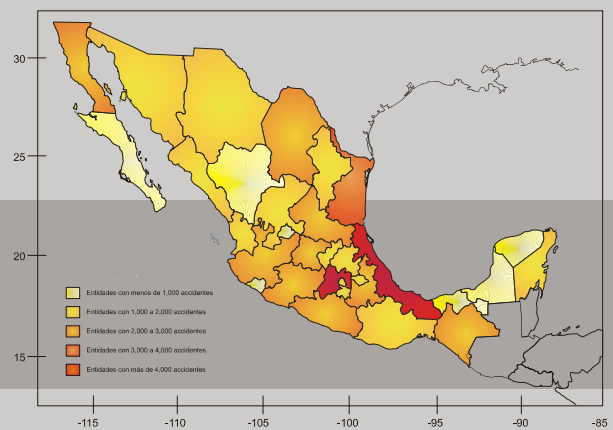
túan actividades riesgosas. De acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología, el procedimiento para realizar estudios de riesgo consta de tres niveles: informe preliminar de riesgo, análisis de riesgo y análisis detallado de riesgo.

Una vez que estos estudios proporcionan la información mínima y suficiente sobre las actividades riesgosas, se incorporan medidas de seguridad tendientes a evitar o minimizar los efectos potenciales a su entorno en caso de un accidente químico. La complejidad de los procesos industriales ya instalados o por desarrollar definirá el nivel del estudio de riesgo.



OTROS RIESGOS

5



OTROS RIESGOS

Los cuatro capítulos anteriores cubren los principales tipos de riesgos que se atienden dentro del ámbito de la protección civil. Adicionalmente, 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. No se prestan a una determinación del peligro a escala nacional. Deberán detectarse los que correspondan a las localidades de interés para su estudio especializado.

Hay otras dos categorías de riesgos que se incluyen en la clasificación oficial del

SINAPROC, los de origen sanitario y los sociorganizativos. Se decidió no incluir los riesgos de este tipo en este trabajo, porque en su mayoría no se prestan a un diagnóstico de peligro a escala nacional y, sobre todo, porque sus problemas son atendidos por sectores específicos, sin que haya una participación predominante de los organismos de protección civil.

Para fines informativos, se expondrán brevemente a continuación las características de estos riesgos y de los fenómenos que se consideran incluidos en estas dos categorías.

RIESGOS DE ORIGEN SANITARIO

La clasificación del SINAPROC agrupa en esta categoría los eventos relacionados con la contaminación de aire, agua y suelos; los que sean propios del área de salud, esencialmente las epidemias; también se incluyen algunos ligados a la actividad agrícola, como la desertificación y las plagas. La agrupación parece algo arbitraria, pero obedece a la dificultad de reunir todos los desastres que pueden ocurrir, en un número pequeño de categorías. Las siguientes son las características principales de los mencionados eventos.

Contaminación Ambiental. Se caracteriza por la presencia de sustancias en el medio ambiente que causan un daño a la salud y al bienestar del hombre o que ocasionan desequilibrio ecológico. Esto sucede cuando las sustancias contaminantes exceden ciertos límites

considerados tolerables; se trata en general de fenómenos que evolucionan lentamente en el tiempo y su efecto nocivo se manifiesta por un deterioro progresivo de las condiciones ambientales. La contaminación puede darse en aire, agua y suelo, y en cada caso presenta características propias que requieren medidas de prevención y combates peculiares, que son prerrogativa del sector de protección al ambiente, y normalmente quedan fuera del ámbito de la protección civil.

La información estadística sobre este tema se reúne a nivel nacional en un volumen anual publicado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, (INEGI), en colaboración con la Secretaría del Medio

Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). Algunas de las estadísticas

contenidas en la mencionada publicación han sido incluidas en los capítulos anteriores.

Figura 114



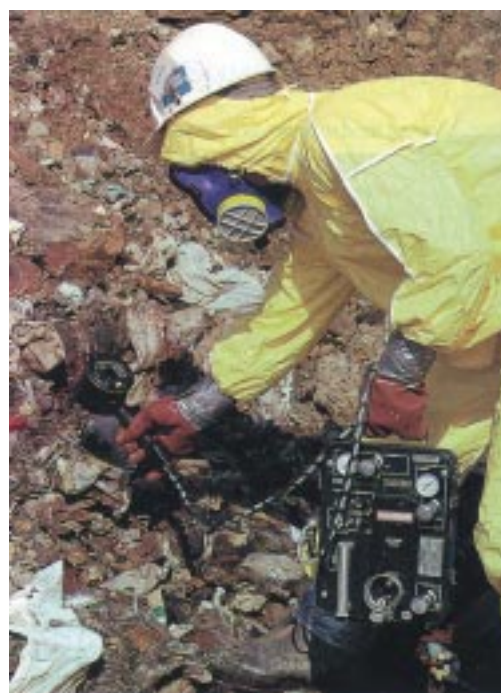
Los tiraderos de basura no controlados producen contaminación del suelo y de las aguas tanto superficiales como subterráneas.

Figura 115



Los residuos contaminantes muestran sus huellas sobre el cauce del río Atotonilco, a las afueras de Tlaquepaque, Jalisco.

Figura 116



Se cuenta con técnicas para detectar la presencia de gases y compuestos peligrosos en los depósitos de desechos sólidos, en particular para determinar el grado de explosividad.

Figura 117. Pérdidas de cultivos por sequía y desertificación



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, sobre el cual se trata en el capítulo de

riesgos de origen hidrometeorológico.

Epidemias. Este hecho se da cuando una enfermedad adquiere durante cierto lapso una incidencia claramente superior a sus valores normales; esto se relaciona esencialmente con las enfermedades de tipo infeccioso y con la aparición de condiciones particularmente favorables a la transmisión de las mismas, sean estas condiciones de tipo ambiental o social.

La atención de estos sucesos corresponde al sector salud y se remite a las estadísticas que publica regularmente la Subsecretaría de Epidemiología de la Secretaría de Salud, para la información sobre este tema.

RIESGOS SOCIO-ORGANIZATIVOS

En el esquema del Sistema Nacional de Protección Civil se agrupan en esta categoría ciertos accidentes y actos que son resultado de actividades humanas. Se tienen por una parte los accidentes relacionados con el transporte aéreo, terrestre, marítimo o fluvial; la interrupción del suministro de servicios vitales; los ac-

cidentes industriales o tecnológicos no asociados a productos químicos (éstos se consideran aparte); los derivados del comportamiento desordenado en grandes concentraciones de población y los que son producto de comportamiento antisocial, como los actos de sabotaje o terrorismo.

Con mucho, los que producen mayor número de pérdidas humanas y materiales son los accidentes que se originan en el transporte terrestre, sea urbano o interurbano. La tabla 67 adjunta muestra las estadísticas de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte so-

bre la incidencia de accidentes carreteros en distintos estados del país. Las medidas de prevención para estos riesgos están relacionadas con la adopción de prácticas adecuadas de transporte, organización, operación y vigilancia, que son propias de cada actividad específica.

Tabla 67. Accidentes registrados en carreteras federales en 1998.

Estado	Accidentes	Muertos	Heridos
Aguascalientes	613	56	455
Baja California	2,081	182	1,611
Baja California Sur	911	68	509
Campeche	712	50	279
Coahuila	2,930	228	1,687
Colima	557	36	297
Chiapas	2,010	180	1,190
Chihuahua	1,803	167	1,249
Distrito Federal	1,798	120	728
Durango	520	47	425
Guanajuato	2,487	204	1,319
Guerrero	2,370	164	1,243
Hidalgo	1,740	123	979
Jalisco	2,880	270	2,127
México	4,707	346	2,206
Michoacán	2,713	303	1,907
Morelos	1,807	113	970
Nayarit	1,551	113	1,083
Nuevo León	1,611	110	875
Oaxaca	1,866	173	1,169
Puebla	2,577	211	1,518
Querétaro	1,354	119	788
Quintana Roo	1,133	117	686
San Luis Potosí	2,204	216	1,223
Sinaloa	1,627	154	995
Sonora	1,689	175	1,031
Tabasco	780	63	381
Tamaulipas	3,815	294	2,118
Tlaxcala	1,039	71	508
Veracruz	5,137	455	2,505
Yucatán	951	70	467
Zacatecas	1,043	86	682
Total	61,216	5,084	35,210

Figura 118. Número de accidentes carreteros por entidad federativa durante 1998

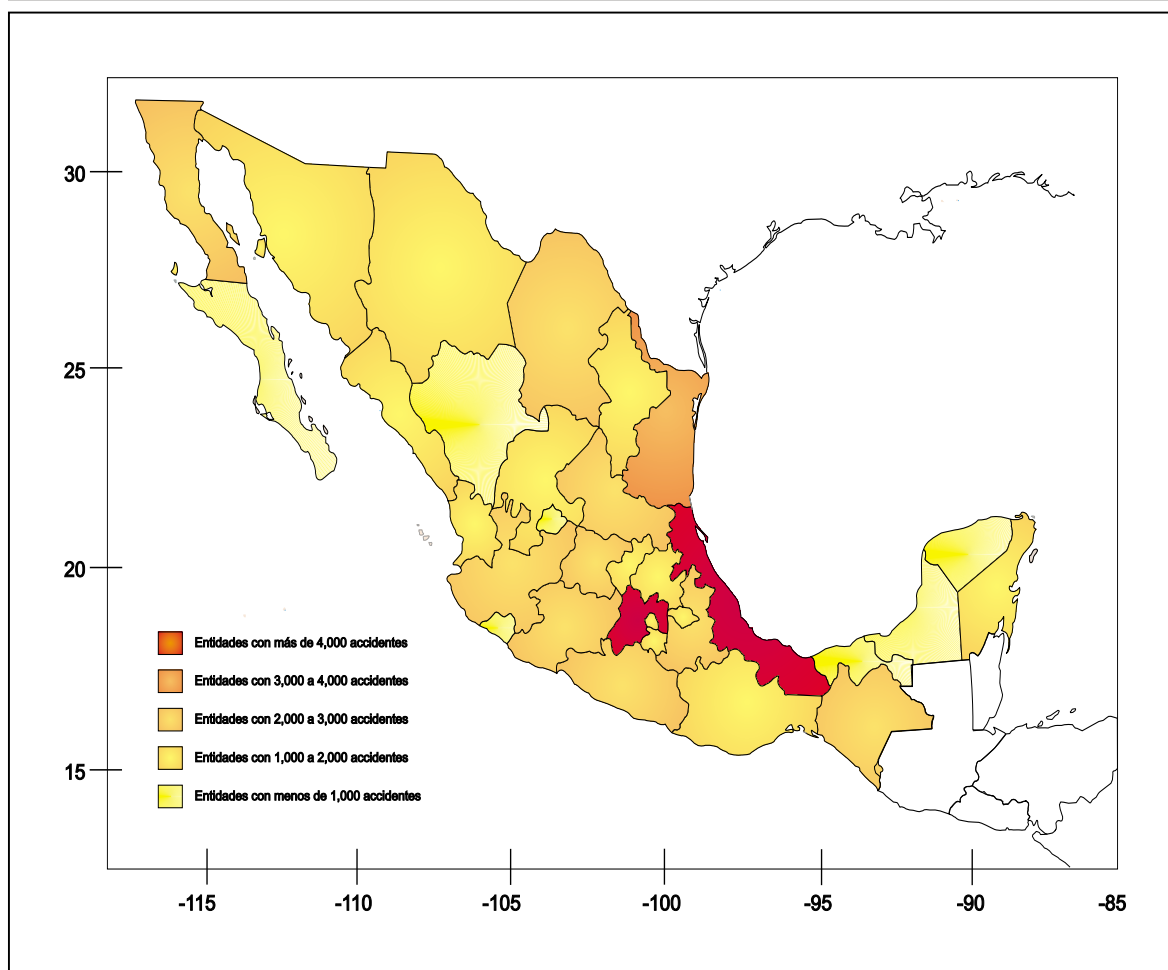


Figura 119

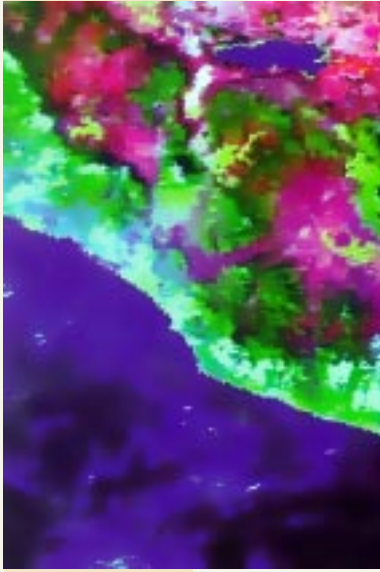


El desacarrilamiento de tres furgones de carga que realizaban maniobras en un área cercana a la estación ferroviaria de Tapachula causó un saldo de 4 personas heridas de gravedad y 15 casas semidestruidas el 20 de enero del 2000.

Figura 120

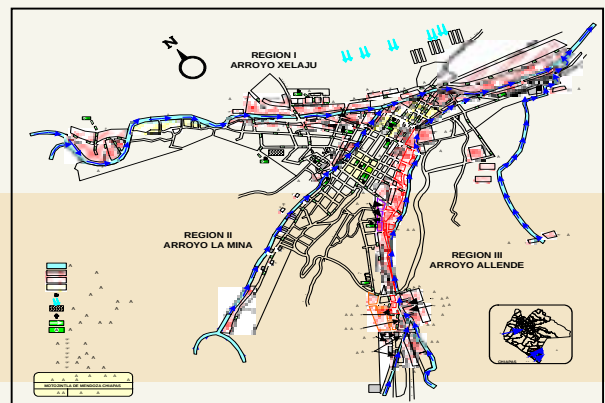


Tragedia en el Estadio Mateo Flores Guatemala, el 16 de octubre de 1996.



MICROZONIFICACIÓN DEL RIESGO

6



ASPECTOS GENERALES DE LA MICROZONIFICACIÓN DEL RIESGO

Como se ha señalado a lo largo de los capítulos anteriores, el riesgo depende de condiciones específicas de cada sitio, tanto por las diferencias con que se manifiestan los fenómenos de uno a otro lugar, como por las distintas características de vulnerabilidad de las construcciones, de la infraestructura y del entorno. Por ello, los diagnósticos de riesgo y de peligro sólo son de utilidad práctica cuando se realizan a escala local. Por otra parte, los métodos para el diagnóstico de riesgos y para su representación son propios de cada fenómeno y de la aplicación que le se quiera dar al diagnóstico.

Estas aplicaciones pueden ser por, ejemplo para zonificación del uso del suelo en los planes de desarrollo urbano o regional o para fijar requisitos de diseño de obras civiles en los reglamentos de construcción; en usos más propios de la protección civil, se requieren para definir las obras de mitigación y para diseñar los planes operativos de emergencia (planes de contingencia).

Por la gran variedad de situaciones que se pueden presentar en cada localidad, resulta

difícil fijar reglas de validez general, por lo que los diagnósticos deberán ser elaborados específicamente para la aplicación deseada y para las condiciones de riesgo del sitio en consideración. Los diagnósticos cuantitativos son de utilidad principalmente para los especialistas en cada materia; además de éstos, conviene contar con documentos que proporcionen información general sobre las características de los riesgos, sobre todo para fines de difusión y para toma de decisiones de tipo general. Para ello se requieren representaciones sencillas y fácilmente accesibles para la población.

En el resto de este capítulo se tratará de proporcionar una visión general de las herramientas disponibles para los diagnósticos de riesgo y de mostrar algunos ejemplos representativos. Hay que considerar, recordando el planteamiento presentado en el capítulo inicial, que el riesgo depende en gran medida de la capacidad de respuesta y grado de preparación de la población y de las instituciones de protección civil. Aquí únicamente se hará referencia a los aspectos físicos del riesgo, sin considerar los factores sociales.

TECNOLOGÍAS PARA LA MICROZONIFICACIÓN DEL RIESGO

Los diagnósticos de riesgo deben ser realizados por especialistas en cada campo particular, los que deben recabar información bási-

ca de las distintas fuentes existentes y complementarla con datos específicos obtenidos de estudios de campo propios de cada disciplina.

Las fuentes de información general son en primer lugar las instituciones públicas responsables de los distintos temas: el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), sobre todo en lo relacionado a la cartografía y la información demográfica; la Comisión Nacional del Agua (CNA), para lo relacionado con riesgos hidrometeorológicos, y diversos organismos especializados. Los centros académicos dedicados a la investigación en ciencias de la tierra e ingeniería suelen también poseer información valiosa y además, de personal idóneo para realizar los estudios necesarios para los diagnósticos específicos. Las oficinas estatales y municipales son fuente de información local indispensable, sobre todo en lo que respecta a datos catastrales y demográficos. La población local y sobre todo los ancianos, constituyen una valiosa fuente de información, por la experiencia que pueden haber tenido de eventos del pasado y de indicios de situaciones de peligro.

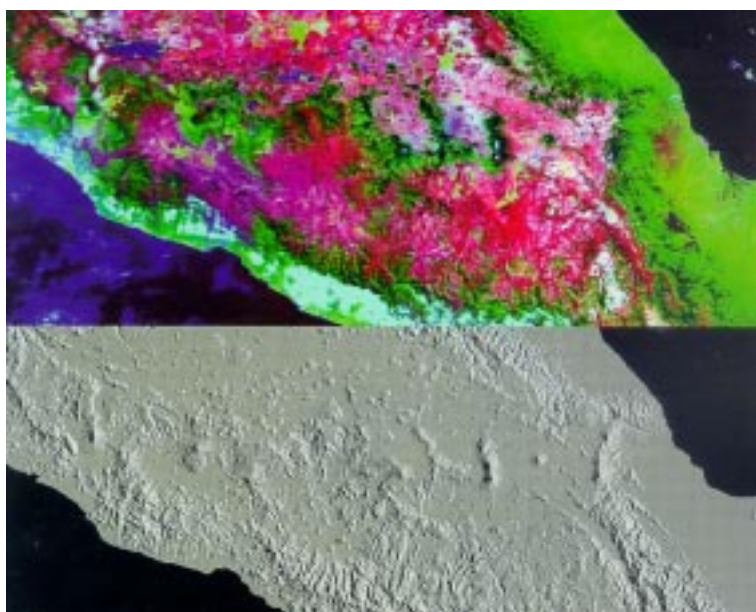
El INEGI es la institución de consulta obligada para recabar información básica a través de la gran variedad de productos ya elaborados o de asesoría y apoyo para la elaboración de documentos específicos. La información se encuentra disponible tanto en medios cartográficos como en digitales. Los mapas más detallados están a escala 1:50,000, la cual resulta en general pequeña para fines de diagnósticos de riesgos y requiere elaboraciones más detalladas. El contenido de los documentos es muy variado. Se cuenta con planimetría, altimetría, hidrografía, así como datos toponímicos y de infraestructura. Productos más especializados son mapas tridimensionales, espaciomaps y ortofotos.

En los últimos años se han desarrollado diversas tecnologías que facilitan en gran medida la tarea de obtener los datos necesarios para los diagnósticos de riesgos, sobre todo porque reducen la necesidad de mediciones di-

Figura 120. Fragmento de un producto cartográfico del INEGI de Acapulco, Guerrero. Escala 1:50,000



Figura 121



- a) Composición en color de una imagen AVHRR de la faja volcánica transmexicana. Se identifica fácilmente la Sierra Nevada con el Popocatepetl y el Iztaccíhuatl, la Ciudad de México como una mancha morada en la parte centro-este de la imagen.
- b) Modelo digital de elevación, con remuestreo a 1 km correspondiente a la imagen superior. La fuente de luz está al este.

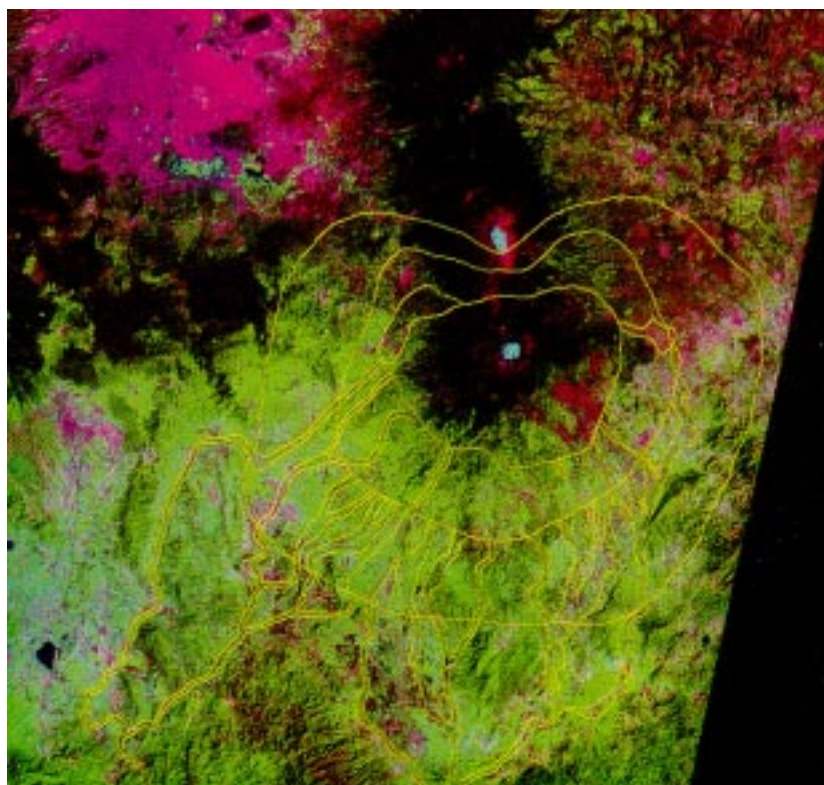
rectas de campo. Se mencionarán brevemente algunas de las más importantes.

Tecnología satelital. Desde que se puso en órbita el primer satélite estacionario para fines científicos, el Landsat 1 en 1972, ha ido aumentando extraordinariamente la cantidad y calidad de información disponible para la prevención de desastres. Las principales tecnologías son las imágenes satelitales, los sistemas de posicionamiento global (GPS) y la comunicación satelital. La interpretación y aprovechamiento de estas tecnologías requieren el empleo de recursos informáticos de alto grado de complejidad y conocimientos amplios de los sistemas físicos estudiados.

Las **imágenes satelitales** son desde hace años la base de los sistemas de monitoreo y diagnóstico meteorológicos; dichas imágenes junto con las imágenes de radar han permitido un avance notable en el pronóstico de huracanes

y en los sistemas de alerta para estos fenómenos. En lo relativo al diagnóstico de riesgos, sirven principalmente para obtener información topográfica y para detectar rasgos de la superficie terrestre que indiquen la presencia de situaciones peligrosas, como fallas geológicas, trazas de eventos del pasado que muestran el alcance que han tenido algunos de éstos que podrían repetirse, con lo que se puede delimitar zonas de peligro. La resolución de las imágenes satelitales disponibles sin costo es todavía insuficiente para realizar diagnósticos locales, y las imágenes de los satélites comerciales de mayor resolución son todavía relativamente costosas para un empleo generalizado. La observación satelital abarca una amplia variedad de tipos de medición (visual, infrarroja, ultravioleta, etc.) con la que se pueden elaborar muy diversos productos como representaciones tridimensionales y mapas de distintas características. El INEGI cuenta con un acervo amplio de imágenes satelitales y con una

Figura 122. Imagen del Satélite Landsat de la zona de riesgo del volcán Popocatepetl



La imagen se procesó en un sistema de información geográfica para visualizar las zonas pobladas, bosques y cultivos que pudieron ser afectados por una erupción. A esta imagen georreferenciada y corregida se le superpuso el contorno de las zonas de riesgo.

interpretación de las mismas que puede ser de gran utilidad para la realización de diagnósticos locales. Por otra parte, es previsible, que en breve, aumentará extraordinariamente la precisión y disponibilidad de estas herramientas, lo que las hará de uso común para una gran cantidad de aplicaciones.

Los **sistemas de posicionamiento global (GPS)** son dispositivos que reciben y transmiten señales entre el punto en que se colocan y cierto número de satélites, suficiente para determinar las tres coordenadas de la posición del punto en cuestión. La precisión de estos sistemas ha ido mejorando de manera acelerada, aunque es todavía insuficiente para levantamientos topográficos detallados; esta precisión aumenta notablemente cuando se hace un posicionamiento diferencial, o sea se determinan

diferencias entre las coordenadas de un punto que interesa conocer y otro de posición conocida. Se aplica, por ejemplo, para interpolar entre curvas de nivel topográficas y ubicar rasgos específicos de ciertas zonas donde hay, evidencias de inundaciones pasadas. El costo de estos instrumentos ha disminuido notablemente y su precisión sigue en aumento, por lo que su campo de aplicación se ampliará en breve.

La **telecomunicación**, satelital o no, proporciona una extraordinaria capacidad de transmisión de datos y de información de distintos tipos. Su empleo en la prevención de desastres es muy variado. El internet constituye el medio más poderoso de acceso a información para la elaboración de diagnósticos de riesgo.

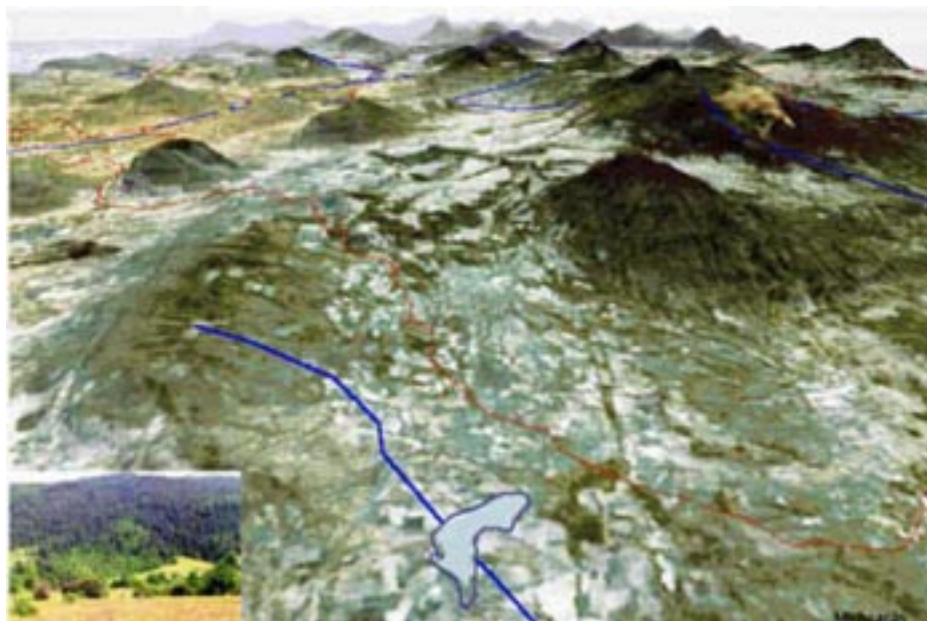
Tecnología informática. El procesamiento digital de información por medio de computadoras, ligado a los medios electrónicos de transmisión y comunicación de dicha información, ha constituido el avance tecnológico más significativo de las últimas décadas y tiene gran aplicación en la prevención de desastres.

Se han creado grandes **bases de datos** que contienen información exhaustiva sobre los temas más variados, las cuales pueden servir de base para estudios específicos. Los sistemas de este tipo que han tenido mayor auge para la realización de diagnósticos de riesgos son los **Sistemas de Información Geográfica (GIS)** que permiten recolectar, almacenar, procesar y desplegar gráficamente grandes cantidades de datos de tipo “espacial”, o sea que se pueden ubicar en el espacio, esencialmente en mapas geográficos. La información de cada tipo se maneja en “capas” que pueden superponerse y combinarse. Se pueden introducir datos de topografía,

geología, hidrología, población, instalaciones y redes de distinto tipo, escenarios y modelos numéricos de incidencias de distintos fenómenos; el manejo conjunto de toda esta información permite elaborar representaciones muy detalladas y completas de mapas de peligros y de riesgo. También se prestan estos sistemas para el diseño y manejo de planes de contingencia (planes operativos de emergencia). La mayor fuente de bases de datos directamente aprovechables para la elaboración de GIS es el INEGI. Existen en el mercado diversos paquetes de cómputo para guiar en la elaboración de un GIS; el más populares son el ARQINFO y MAPINFO.

Las **redes de información global** que se basan en la comunicación satelital permiten el acceso a una extraordinaria cantidad de datos así como el intercambio de los mismos y la comunicación entre los interesados sobre cualquier tema, y en particular, sobre prevención de de-

Figura 123. Modelo elaborado en base a Sistemas de Información Geográficos

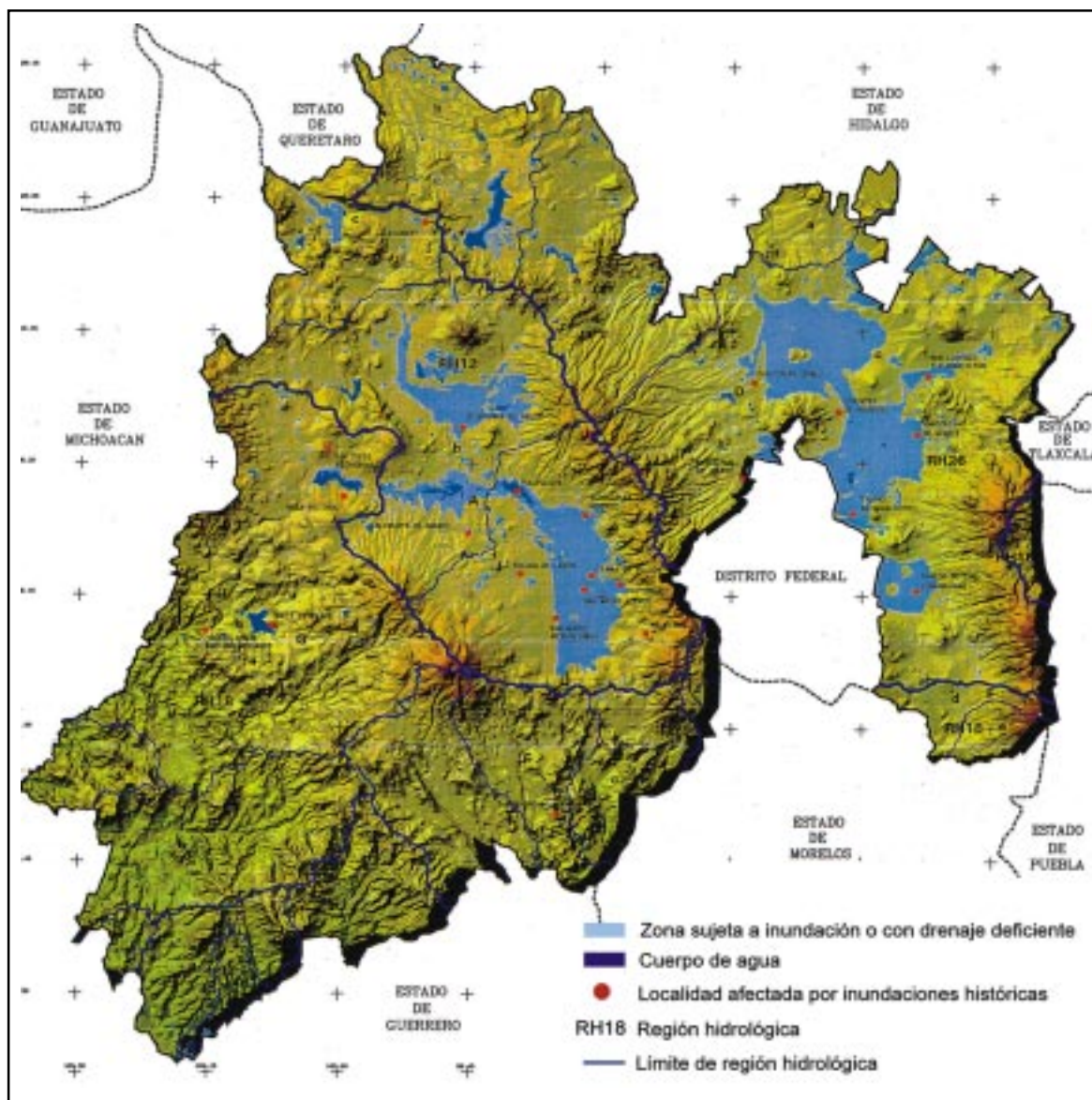


Fuente: Modelo Digital del Terreno, Imagen TM abril 1998, carreteras, hidrología, Trabajo de campo-Conabio (Michoacán).

sastres. Las principales instituciones relacionadas con el tema mantienen sus propias **páginas de internet** donde se encuentra directamente material de utilidad para los estudios de riesgo y sobre todo se mencionan los documentos y archivos electrónicos disponibles así como la forma de tener acceso a los mismos. Una vez más, la información disponible normalmente no está a la escala necesaria para los estudios de riesgo local, pero sirve de base para elaborar los estudios más detallados.

La elaboración de escenarios de peligro y de riesgo implica generalmente análisis numéricos de los fenómenos físicos, y en algunos casos también sociales, involucrados en el problema. Se trata siempre de **modelos matemáticos** relativamente complejos que requieren el empleo de paquetes de cómputo que tienen que procesar grandes cantidades de datos. Las técnicas son propias de cada materia y requieren la participación de personal especializado.

Figura 124. Mapa estatal de riesgo, donde se localizan zonas susceptibles a inundaciones en el Estado de México



El Sistema Nacional de Protección Civil prevé la elaboración de Mapas Municipales de Riesgo como los documentos más detallados que deben servir de base para las acciones de protección civil en general y los planes de contingencia en particular. Por la gran diversidad de características de los municipios del país en cuanto a superficie cubierta, población y condiciones de peligro, no es posible pensar en re-

glas y formato únicos que deban aplicarse a todos ellos; sin embargo, el SINAPROC ha elaborado lineamientos generales que están contenidos en la **“Guía para el levantamiento de riesgos a nivel municipal”**. El documento básico recomendado por esta guía es un Mapa Municipal de Riesgos, para el cual se propone una escala 1:20,000, en el que se concentre toda la información referente a los distintos fenómenos.

[illegible]

RNO DE LOS REMEDIOS

Se trata de un mapa de los llamados **multi-peligro** que tienen como propósito presentar una visión de conjunto tanto de los sistemas afectables como de los agentes perturbadores de los mismos. Esta visión de conjunto es útil para identificar los sitios y los fenómenos que demandan mayor atención, así como para detectar posibles interacciones entre los distintos fenómenos, las que pueden pasar inadvertidas cuando se estudian y se presentan por separado. Estos mapas son de particular utilidad para fines de planeación del desarrollo urbano y para difusión entre las autoridades y la población de las situaciones de riesgo y de las medidas de mitigación necesarias. Idealmente, estos mapas deberían indicar no sólo el tipo de evento

que puede incidir en determinada zona del municipio, sino también el grado de peligro que éste representa, al menos identificado como en categorías como bajo, mediano y alto. Esto frecuentemente resulta complicado de representar, por lo que muchos mapas se limitan a ubicar íconos representativos de los principales riesgos en los sitios potencialmente afectables.

Por las características mencionadas, además de los mapas municipales, son necesarios estudios más cuantitativos de los riesgos específicos para la preparación de los planes de emergencia y para las decisiones sobre las medidas de mitigación.

MAPAS DE ESCENARIOS

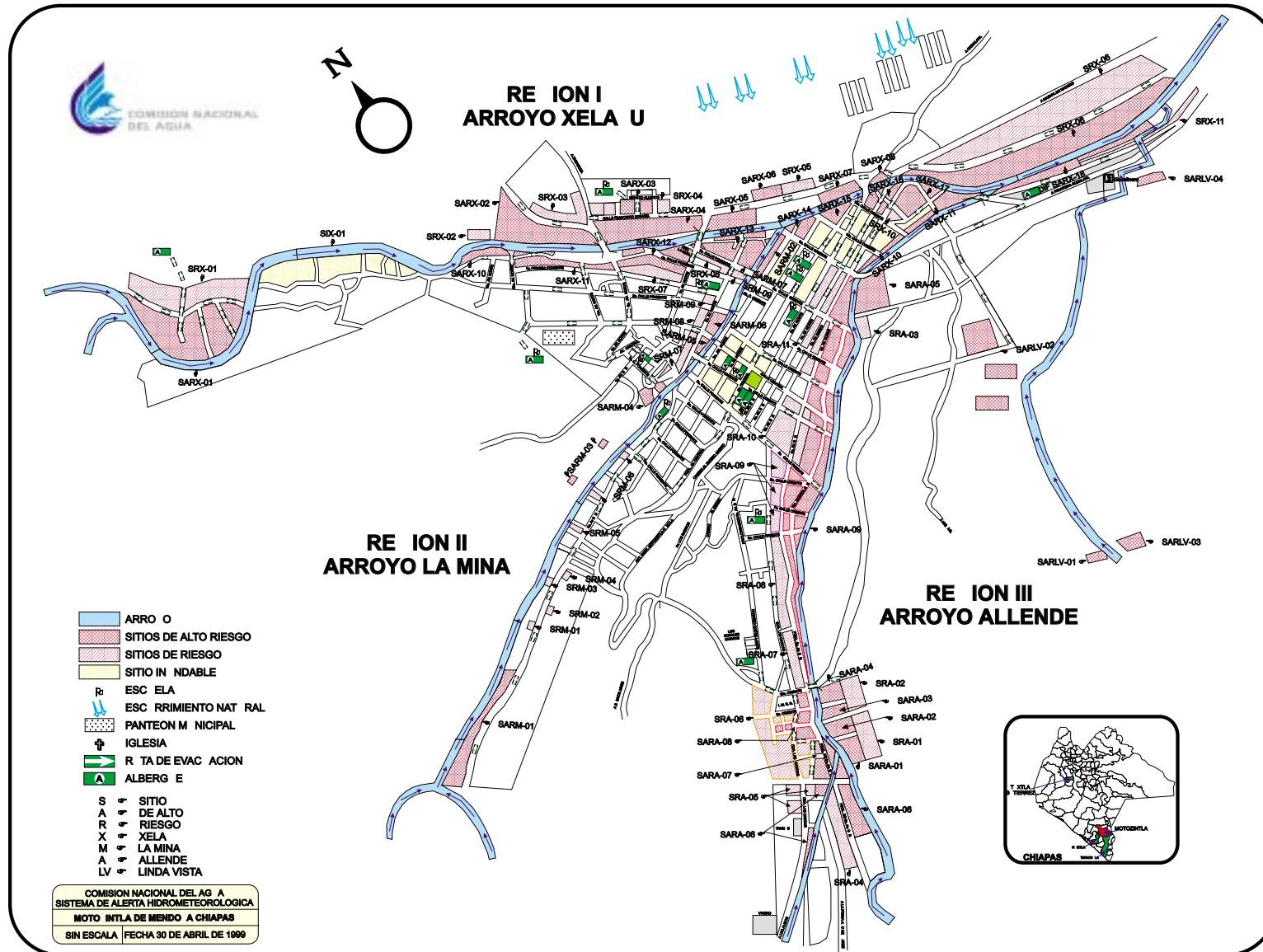
Los mapas de escenarios de riesgos son representaciones de los efectos de eventos extremos, o sea de los alcances que pueden tener las manifestaciones de éstos y los daños que causan. Constituyen la base para saber contra qué hay que protegerse y cuáles medidas hay que tomar.

Ejemplos de escenarios son la representación de los alcances de una inundación con los tirantes máximos que puede tener el agua en una zona; distribución de la caída de cenizas consecuencia de una erupción volcánica y los espesores de sus depósitos; la intensidad máxima del movimiento del terreno en distintos sitios debido a un terremoto de cierta magnitud originado en una falla geológica cercana e identificada como activa.

La base para la construcción de escenarios es la definición del evento extremo cuyos efectos se van a representar. Con referencia al capítulo inicial de este libro, hay distintos criterios para definir este evento extremo o **postulado**; debe tratarse que corresponda a un período de retorno establecido o, si no se cuenta con la información suficiente, al evento máximo considerado posible.

Para la determinación de los efectos de estos eventos extremos se recurre a cálculos sobre modelos matemáticos de los fenómenos; por ejemplo, el alcance de una pluma de ceniza se calcula con modelos de difusión a partir de la potencia de la erupción, de la altura del volcán, y de las condiciones meteorológicas predominantes. La altura y la penetración dentro de la costa de las

Figura 127. Sistema de alerta hidrometeorológica, Motozintla de Mendoza Chiapas.



olas debidas a un huracán se pueden estimar a partir de las velocidades del viento y de las características de batimetría y topografía de la zona costera. Las intensidades del movimiento sísmico en distintos sitios se calculan con base en la magnitud del sismo, la distancias del sitio al epicentro y las características del subsuelo.

En muchos fenómenos los alcances de eventos extraordinarios del pasado dejan evidencias en el terreno o en el subsuelo, y el estudio de estas evidencias es la principal base para la construcción de escenarios de eventos futuros. Tal es el caso de los depósitos de flujos o de caídas de cenizas por erupciones volcánicas, de avalanchas o movimientos del terreno, de rasgos de inundaciones o de señales de daños por sismo en edificios antiguos. Para los eventos del pasado reciente, es posible encontrar relatos y crónicas que describan sus características.

Toda la evidencia producto de las fuentes anteriormente descritas se interpreta de

conjunto para construir los escenarios de eventos futuros. Resulta conveniente elaborar mapas que contengan la superposición de eventos que resulten más desfavorables para cada sitio particular, de manera que constituyan una envolvente de los efectos de un conjunto de eventos extremos. Un ejemplo es el mapa de escenarios volcánicos que presenta los efectos más desfavorables de una serie de erupciones que pueden variar en el tipo de sus manifestaciones (flujos piroclásticos, explosiones, etc.) y en los alcances de los mismos por las condiciones atmosféricas que definen sus efectos (velocidad y dirección del viento).

Como es de suponerse los estudios necesarios requieren la participación de especialistas en distintas disciplinas y de tiempos y costos considerables, pero resultan indispensables para la prevención de desastres, y su realización debe impulsarse en todo el país.



CRÉDITOS AUTORÍAS Y BIBLIOGRAFÍA



CRÉDITOS, AUTORÍAS Y BIBLIOGRAFÍA

CRÉDITOS

Una parte del material presentado en esta obra proviene de la literatura que los diversos autores han podido reunir sobre esta materia. Otra parte se ha derivado de los estudios realizados en amplios proyectos de investigación del CENAPRED. La interacción y participación de investigadores del Centro con otras instituciones y con autoridades estatales de Protección Civil también ha enriquecido notablemente el contenido de esta publicación. Como un reconocimiento a la destacada participación de los especialistas que contribuyeron a la realización de este libro se incluye en la lista siguiente a los coordinadores, autores y colaboradores de cada capítulo. Una mención especial merecen aquellas instituciones que tuvieron alguna participación, directa o indirecta en esta obra, especialmente al Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica del Departamento *El Hombre y su Ambiente* de la UAM Xochimilco, por su participación en la elaboración de mapas bajo la dirección de Martha Chávez y Gerardo Juárez. Finalmente, un merecido agradecimiento a Oscar Zepeda y Tomás A. Sánchez, quienes estuvieron a cargo de la producción y dirección editorial.

AUTORÍAS Y BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCIÓN

Coordinador y autor: Dr. Roberto Meli

Institución: CENAPRED (hasta 2000)

Instituto de Ingeniería, UNAM

Lista de Figuras

Fig. 1-Fotografía: **Roberto Meli**, Fig. 2-Cortesía de la DGCOH del GDF, Fig. 3-Cortesía de la Dirección Estatal de Protección Civil de Jalisco, Fig. 4-Tomado de "Great Disasters of the 20 th Century", Gallery Books, pag.86, Fig. 5-Fotografía: **Michel Rosengaus**, Fig. 6-Tomado de "Great Disasters of the 20 th Century", Gallery Books, pag. 91, Fig. 7-Fotografía: **Servando de la Cruz**, Figs. 8 y 9-Elaboró: **Oscar Zepeda** con datos de Munich Reinsurance, Fig. 10-Münich Reinsurance, Fig. 11-National Geographic Society, Fig. 12-National Geographic Society, Fig. 13-Autor: **Carlos Montoya**, Fig. 14-Elaboró: **Leonardo Flores**.

Bibliografía

1. Dirección General de Protección Civil, "**Prontuario de contingencias en el siglo XX mexicano**", Secretaría de Gobernación, 1994.
2. Federal Emergency Management Agency, "**Multi Hazard**", Identificación y valoración de riesgos, 1^{era} Edición, 1997. (en inglés).
3. Münchener Rück, "**Topics 2000**", Catástrofes Naturales -La posición actual. 1999. (en inglés).
4. National Geographic Society, Mapa "**Peligros Naturales de América del Norte**", Julio, 1998.

RIESGOS GEOLÓGICOS

Coordinador: M. en C. Carlos Gutiérrez

Tema: SISMOS

Autor: M. en C. Carlos Gutiérrez

Institución: CENAPRED

Colaboradores/Institución: Dr. Mario Ordaz / Instituto de Ingeniería, UNAM, Dr. Carlos Valdés / Instituto de Geofísica, UNAM, Dr. Luis E. Pérez / Fundación Javier Barros Sierra

Tema: TSUNAMIS

Autores/ Dr. Salvador Farreras/CICESE

Instituciones: M. en C. Carlos Gutiérrez/CENAPRED

Tema: VOLCANES

Autor: Dr. Servando de la Cruz

Institución: Instituto de Geofísica, UNAM

Colaboradores/Institución: Ing. Esteban Ramos, Fis. Gerardo Juárez y Fis. Alex. González /CENAPRED

Tema: MOVIMIENTOS DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO NATURAL

Autor: M. en I. Alonso Echavarría
Institución: CENAPRED

Lista de Figuras:

Fig. 15-Autor: **Carlos Gutiérrez**, Fig. 16-Cortesía del Arizona Historical Society, Fig. 17-Fotografía: Roberto Meli, Fig. 18-Autores: **A. Martínez y C. Javier C.** /Elaboró: **Gerardo Juárez**, Fig. 19-Autor: **Carlos Gutiérrez** /Elaboró: **Gerardo Juárez**, Fig. 20-Códice Telleriano-Remensis, lámina XVII, Fig. 21-Elaboró: **Carlos Gutiérrez**, Figs. 22 y 23-Autor: **Carlos Valdéz** -Servicio Sismológico Nacional (S.S.N.) / Instituto de Geofísica, U.N.A.M., Fig. 24-Autor: **M. Ordaz** /Elaboró: **Gerardo Juárez**, Fig. 25-Manuel de Obra Civil para Diseño por Sismo de la Comisión Federal de Electricidad /Elaboró: **Gerardo Juárez**, Fig. 26-NOOA, National Geophysical Data Center, Fig. 27-Fotografía: **Carlos Reyes**, Fig. 28-Autor: **L. E. Pérez R.**, Fig. 29-Autores: **Salvador Farreras y Carlos Gutiérrez** /Elaboró: **Gerardo Juárez**, Figs. 30, 31 y 32-Autor: **Salvador Farreras** /Elaboraron: **D. Vázquez y S. González**, Figs. 33-NOOA, National Geophysical Data Center, Figs. 35 a y b, 36 a y b, 37 a y b, 38 y 39 a y b-Fotografía: **Servando de la Cruz**, Fig. 40-Autor: **Servando de la Cruz** /Elaboró: **Gerardo Juárez**, Fig. 41-Autor: Instituto de Geofísica, UNAM /Elaboró: **José Macías, Gerardo Carrasco, Hugo Delgado, Ana Martín, Claus Siebe, Richard Hoblitt, Robert Tilling**, Fig. 42-Autor: Instituto de Geofísica, UNAM /Elaboraron: **Gerardo Juárez, Esteban Ramos**, Fig. 43-Autor: Instituto de Geofísica-SEGOB, Fig. 44-Fotografía: **Roberto Quaaas**, Figs. 45, 46, 47, 48, 49, 50, 53, 54, 55, 58 y 59-Fotografía: **Alonso Echavarría**, Fig. 51 y 57-Autor: **Alonso Echavarría** /Elaboraron: **D. Vázquez y S. González**, Fig. 52 y 60-Autor: **Alonso Echavarría** /Elaboró: **Gerardo Juárez**.

Bibliografía

1. Bolt Bruce, Freeman W., "Terremotos", San Francisco, 1978.
2. Bullen K., "An Introduction to the Theory of Seismology", Prensa de la Universidad de Cambridge. 1963. (en inglés).
3. Cenapred, Fascículo 2 "Sismos", 3ª edición, 1997.
4. Cenapred, Fascículo 12 "Tsunamis", 1ª edición, 1996.
5. Gutiérrez C., Miller S., Montoya C. y Tapia R., "Diagnóstico de peligro sísmico para la República Mexicana y evaluación de intensidades para sismos históricos". Informe RG/02/91, Cenapred, 1991.
6. James, D. Editor, "The Encyclopedia of Solid Earth Geophysics", Van Nostrand, Reinhold, 1989. (en inglés).
7. Kulhanek Ota, "Anatomy of Seismograms", Elsevier, 1990. (en inglés).
8. Pacheco J. y Sykes L., "Seismic moment catalog of large shallow earthquakes", 1900 a 1989, Bull. Seism. Soc. Am, Vol. 82, No. 3, 1992, Pp. 1306-1349. (en inglés).
9. Sánchez D. y Farreras S., "Catálogo de Tsunamis (maremotos) en la costa occidental de México", Centro Mundial de Datos para Geofísica de Tierra Sólida, Publicación SE-50, 1993.
10. Singh S., Astiz L. y Havskov J., "Seismic gaps and recurrence periods of large earthquakes along the Mexican subduction zone: A reexamination". Bull. Seism. Soc. Am, Vol. 71, No. 3, 1981, pp 827-843. (en inglés).
11. Sing S.K., y Ordaz M., "Sismicidad y Movimientos fuertes en México: Una Visión Actual", Cenapred. 1994.
12. Turcotte D. y Schubert G., "Geodynamics, Applications of Continuum Physics to Geological Problems", John Wiley e Hijos, 1992. (en inglés).
13. Araña V. y Ortíz R., "Volcanología", Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Ed. Rueda, España, 1984, 510 pp.
14. Secretaría de Gobernación, "Atlas Nacional de Riesgos", Sistema Nacional de Protección Civil, 1991, 121 pp.
15. De la Cruz-Reyna S., Ramos E., "Volcanes", Fasc. 4, Cenapred, 1998, 56pp.
16. De la Cruz-Reyna S., Meli R., Quaaas R. 1999, "Volcanic Crisis Management", Capítulo 73, Enciclopedia de Volcanes, Academic Press, (En prensa).
17. Macías J., Carrasco G., Delgado H., Martín del Pozo, Sicke C., Hoblitt R., Sheridan M., Tilling R., "Mapa de Peligros del Volcan Popocatepetl", Instituto de Geofísica, UNAM, 1995.
18. Martín del Pozo, Sheridan M., Barrera D., Lugo J., Vázquez L., "Mapa de peligros del Volcan de Colima". Instituto de Geofísica, UNAM, 1995.
19. UNDRO/UNESCO, "Volcanic emergency management", UNDRO/UNESCO. 1985, 86 pp. (en inglés).
20. A.A.V.V., "Atlas Nacional de México", Instituto de Geografía, UNAM, 1992.
21. Universidad Iberoamericana, Biblioteca Francisco Xavier Clavijero, "Los desastres en México: una perspectiva multidisciplinaria", 1998.
22. Marsal R., Hiriart F. y Sandoval R., "Hundimiento de la Ciudad de México", Observaciones y estudios Analíticos, Ingenieros Civiles Asociados, S.A. de C. V. Series B. Ingeniería Experimental, No. 3, 1951.
23. Cenapred, "Inestabilidad de laderas naturales", Fascículo 11, Secretaría. Gobernación, Sistema Nacional de Protección Civil.

RIESGOS HIDROMETEOROLÓGICOS

Coordinadores: Dr. Oscar Fuentes y
M. en I. Martín Jiménez

Coolaboradora: M. en G. Guadalupe Matías

Temas: PRECIPITACIÓN PLUVIAL Y TORMENTAS DE GRANIZO

Autor: M. en I. Héctor Eslava
Institución: CENAPRED

Temas: HELADAS Y CICLONES TROPICALES

Autor: M. en I. Teresa Vázquez
Institución: CENAPRED

Tema: ESCURRIMIENTOS

Autor: M. en I. Marco Antonio Salas
Institución: CENAPRED

Tema: INUNDACIONES

Autor: M. en I. Marco Antonio Salas
Institución: CENAPRED

Temas: SEQUÍAS Y EROSIÓN

Autor: M. en I. Fermín García
Institución: CENAPRED

Temas: VIENTO Y MAREA DE TORMENTA

Autor: Dr. Roberto Meli
Institución: Instituto de Ingeniería, UNAM

Colaboradores/Institución: Dr. Michel Rosengaus / IMTA, UNAM

Lista de Figuras

Fig. 61, 79, 80 y 82-Autor: **Martín Jiménez**, Fig. 62- Servicio Meteorológico Nacional, Fig. 63-Atlas Nacional de México, U.N.A.M.; Instituto de Geografía, Fig. 64-Servicio Meteorológico Nacional, Figs. 65 y 66-Atlas Nacional de México, Instituto de Geografía/Elaboró: **Gerardo Juárez y Teresa Vázquez**, Figs. 67 y 68-Cortesía: Dirección General de Protección Civil de Baja California, Fig. 69, 71, 77 y 83-Fotografía: **Martín Jiménez**, Fig. 70-Atlas de Ciclones Tropicales Secretaría de Programación y Presupuesto /Elaboró: **Martín Jiménez**, Fig. 72-Autores: **Oscar Fuentes y Ma. Teresa Vázquez**, Fig. 73- Autores: **Oscar Fuentes y Teresa Vázquez** /Elaboró: **Gerardo Juárez**, Fig. 75-INEGI, Fig. 76-Autor: **Marco Antonio Salas**, Fig. 81- Fotografía: **Guadalupe Matías**, Figs. 84 y 87-Fotografía: **Fermín García**, Figs. 85, 86 y 88-Autor: **Fermín García**, Figs. 89 y 90-Manuel de Obra Civil para Diseño por Viento de la Comisión Federal de Electricidad /Elaboraron: **Felipe Montaño y Oscar Zepeda**, Fig. 91- Autor: Roberto Meli /Elaboraron: **Felipe Montaño y Oscar Zepeda**, Fig. 92-Fotografía: **Michel Rosengaus**, Fig. 93-INEGI, Fig. 94- Autor: **Michel Rosengaus**.

Bibliografía

1. Secretaría de Gobernación, "Atlas Nacional de Riesgos", Dirección General de Protección Civil, México, 1991.
2. Empresas de Consultoría varias, "Diagnóstico de las Diferentes regiones Hidrológicas", resumen ejecutivo, México, 1998.

3. INEGI, "Estadística del Medio Ambiente, México 1994", INEGI, México, 1995.
4. Inoue, K., "Study report on Meteo-Hydrology", Pacific Consultants International, México, 1998. (en inglés).
5. Takahashi T., "Debris Flow", Asociación Internacional para la Investigación Hidráulica, Series Monográficas, Rotterdam, 1991. (en inglés).
6. National Weather Service, "Flash Floods and floods... the awesome power", A preparedness guide, Departamento de Comercio de E.U., Administración Nacional Oseánica y Atmosférica, s/l, (en inglés).
7. Bitrán D., "Características y efectos de los desastres ocurridos en México a partir de 1980", Contribución para el estudio del Banco Mundial, Incentivos de Mercado para Mitigación de Inversiones: estudio del caso de México, 1999. (en inglés).
8. Dirección General de Protección Civil, "Prontuario de contingencias en el siglo XX mexicano", Secretaría de Gobernación, 1994.
9. Donn W.L., "Meteorología", Editorial Reverté, España, 1978.
10. Jauregui O.E., "Distribución de la frecuencia de heladas, lluvias y tormentas eléctricas en México", Revista de Ingeniería hidráulica en México, Vol. XXIV, 1970, Núm. 3.
11. Frederick K Lutgens De., "The Atmosphere. An Introduction to Meteorology", Prentice Hall, Segunda Edición, 1982. (en inglés)
12. Fuentes M., O. A. y Vázquez C., M. T., "Probabilidad de presentación de ciclones tropicales en México", CENAPRED, Cuaderno de Investigación Núm. 42, México, julio 1997.
13. Rosengaus M., M., "Efectos destructivos de ciclones tropicales", Fundación MAPFRE, Madrid, España, 1998.
14. Contreras R.E.A., "Pronóstico de trayectoria de ciclones utilizando datos estadísticos y sistemas de percepción remota en tiempo real", tesis para obtener el grado de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, UNAM, México D.F., 1999.
15. Fascículo No. 5, "Huracanes", Secretaría de Gobernación, Sistema Nacional de Protección Civil, CENAPRED, 2ª edición, México D.F., junio 1994.
16. Candel V., R., "Atlas de Meteorología", Ediciones Jover S.A., Barcelona, España, 1997.
17. Delgadillo M., J., "Desastres Naturales. Aspectos sociales para su prevención y tratamiento en México", Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, México.
18. Campos Aranda D.F., "Avenidas y sequías; eventos hidrológicos extremos", Revista Ciencia y Desarrollo No. 127., México, marzo/abril, 1996.
19. Dracupa A. J., et. al., "On the definition of droughts", Investigaciones sobre recursos hidráulicos, Vol. 16, No. 2, Abril, 1980. (en inglés)
20. "Análisis histórico de las sequías en México", Documentación de la Comisión del Plan Nacional Hidráulico, SAHR, México.
21. Velasco V.L., "El fenómeno de la sequía", Informe preparado para el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
22. García J.F., "Cálculo del régimen transitorio en ladera con transporte de sedimento", Tesis de Maestría, División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 1995.
23. Gracia S. J. y Domínguez M. R., "Erosión", Fascículo No. 8., CENAPRED, México, 1995.
24. Gracia S.J., "Generación sintética de índices de erosividad para el cálculo de la pérdida de suelo", Informe Interno RH/03/94, CENAPRED, México, 1994.
25. Kirby M. J. y Morgan R. P.C., "Erosión de suelos", Editorial Limusa, México, 1984.
26. CNA, "Programa de Desarrollo Urbano (tema: agua), Programa de las 100 Ciudades", 1994.
27. Herrera T. C., "La Infraestructura Urbana y la Disponibilidad de Agua", Academia Mexicana de Ingeniería, Mayo, 1996.
28. CFE, "Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad, Diseño por Viento", 1994.
29. Meli, R. "Diseño Estructural". Limusa, México, 1997 pag. 202.

Direcciones de internet:

www.disasterrelief.org/Disaster/971008landslide/
www.bluebell.org/mudslide.htm/
www.weathereye.wggb.com/cadet/flood/about.htm

RIESGOS QUÍMICOS

Coordinador: Dra. Georgina Fernández

Tema: INTRODUCCIÓN

Autor: Dra. Georgina Fernández

Institución: CENAPRED, UNAM

Colaboradores/Institución: M. en I. Martha E. Alcántara /CENAPRED

Tema: UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS FUENTES DE PELIGRO

Autor: M. en I. Martha E. Alcántara

Institución: CENAPRED

Colaboradores/Institución: M. en I. Ma. Esther Arcos y M. en I. Rubén Dario Rivera/CENAPRED

Tema: ACCIDENTES RELACIONADOS CON SUBSTANCIAS QUÍMICAS

Autor: M. en I. Martha E. Alcántara

Institución: CENAPRED

Colaboradores/Institución: Dra. Georgina Fernández y Dr. Tomás González /CENAPRED/UNAM

Tema: RESIDUOS PELIGROSOS

Autor: M. en I. Martha E. Alcántara

Institución: CENAPRED

Colaboradores/Institución: M. en I. Cecilia Izcapa/CENAPRED

Tema: INCENDIOS FORESTALES

Autor: M. en I. Martha E. Alcántara

Institución: CENAPRED

Tema: CONCLUSIONES

Autor: Dra. Georgina Fernández

Institución: CENAPRED/UNAM

Lista de Figuras

Figs. 95, 96, 97, 98 y 112-Elaboraron: **Felipe Montaña y Oscar Zepeda**, Figs. 99 y 102-PEMEX, Figs. 100 y 101-Comisión Federal de Electricidad, Figs. 103, 104, 106, 108 y 109-Elaboró: **Marta E. Alcántara**, Figs. 107, 110 y 111-SEMARNAP-Natural Resources Canada.

Bibliografía

1. "Accidentes seleccionados que involucran sustancias peligrosas (1970-1998)", OECD, MHIDAS, TNO, SEI, UBA-Handbuch Stoerfaelle, SIGMA, Press Reports, UNEP, BARPI, Trabajo en curso, Fecha última de actualización: Abril 16 de 1999.

2. "Anuario Estadístico de PEMEX", PEMEX, México, 1997.

3. "Anuario Estadístico de PEMEX", PEMEX, México, 1998.

4. "Atlas de México", Instituto de Geografía, UNAM, México.

5. "Base de datos de accidentes químicos (ACQUIM)", CENAPRED, Área de Riesgos Químicos, México, varios años.

6. "Base de datos de accidentes carreteros en México donde se ven involucradas sustancias químicas (ACARMEX)", CENAPRED (Área de Riesgos Químicos)- SCT, México, 1999.

7. "Base de datos de materiales químicos (MAQUIM)", CENAPRED – Riesgos Químicos, 1998.

8. Instituto Nacional de Ecología (INE), Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas.

9. Izcapa Treviño, "Lineamientos generales para la evaluación de sitios contaminados y propuesta de acciones para su restauración", Tesis de Maestría, DEPI, UNAM, 1998.

10. Laguna Verde, Comisión Federal de Electricidad, (www.cfe.gob.mx/lagver/intro.htm).

11. "Memoria de Labores PEMEX", OEMEX, México, 1992.

12. Revista Octanaje, PEMEX, México, "Número de estaciones de servicio ubicadas en cada uno de los Estados del país (1994 – 1997)".

13. "Prevención y preparación de la respuesta en caso de accidentes químicos en México y en el mundo", Serie Monografías No.5, SEDESOL – IN, México, 1994.

14. Sistema de Información Empresarial Mexicano (SIEM), (www.siem.mx) "Registro de parques industriales localizados en los Estados de la República Mexicana (1998)", 1998.

15. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), Subsecretaría de Recursos Naturales, Dirección General Forestal, 1998.

16. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). "Sistema Canadiense de Evaluación de Peligro de Incendio Forestal", (<http://fms.nofc.cfs.nrcan.gc.ca/mexico/index.html>) 1999.

17. Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ), "Tipos de industrias localizadas en los Estados de la República Mexicana", 1997.

OTROS RIESGOS Y MICROZONIFICACIÓN DEL RIESGO

Coordinador y autor: Dr. Roberto Meli

Institución: CENAPRED (hasta 2000)

Instituto de Ingeniería, UNAM

Lista de Figuras

Figs. 114 y 115-Tomado de "Uso sustentable del agua en México", Editorial México Desconocido, pags. 149 y 147, Fig. 116-Tomado de "Multi Hazard", FEMA, pag. 276, Fig. 118-SCT /Elaboraron: *Felipe Montañó y Oscar Zepeda*, Fig. 119-Periodico Reforma, Fig. 121-INEGI, Fig. 122-Instituto de Geografía, UNAM, Fig. 123-Autor: *Román Álvarez*, Fig. 124-CONABIO, Figs. 125 y 126-Cortesía: Dirección General de Protección Civil del Estado de México, Fig. 127-C. N. A.

Bibliografía

1. Federal Emergency Management Agency, "Identification and Risk Assessment Report, A Cornerstone of the National Migration Strategy", 1^a Edición, pp 243,276, E.U.A.S (en inglés).
2. "Uso Sustentable del Agua en México, Reto de nuestro tiempo", Reproducciones Fotomecánicas S.A.de C.V., pp 146,149.
3. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Subsecretaría de Transporte, Dirección General de Autotransporte Federal, "Estadística de la seguridad en carreteras federales 1998", pp 5.
4. Dirección General de Protección Civil del Estado de México. "Atlas Estatal de Riesgos", Gobierno del Estado de México, 1999. página 76.



SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA

**Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana
Coordinación Nacional de Protección Civil
Centro Nacional de Prevención de Desastres**

Av. Delfín Madrigal núm. 665,
Col. Pedregal de Santo Domingo,
Alc. Coyoacán, Ciudad de México C.P. 04360

www.gob.mx/cenapred