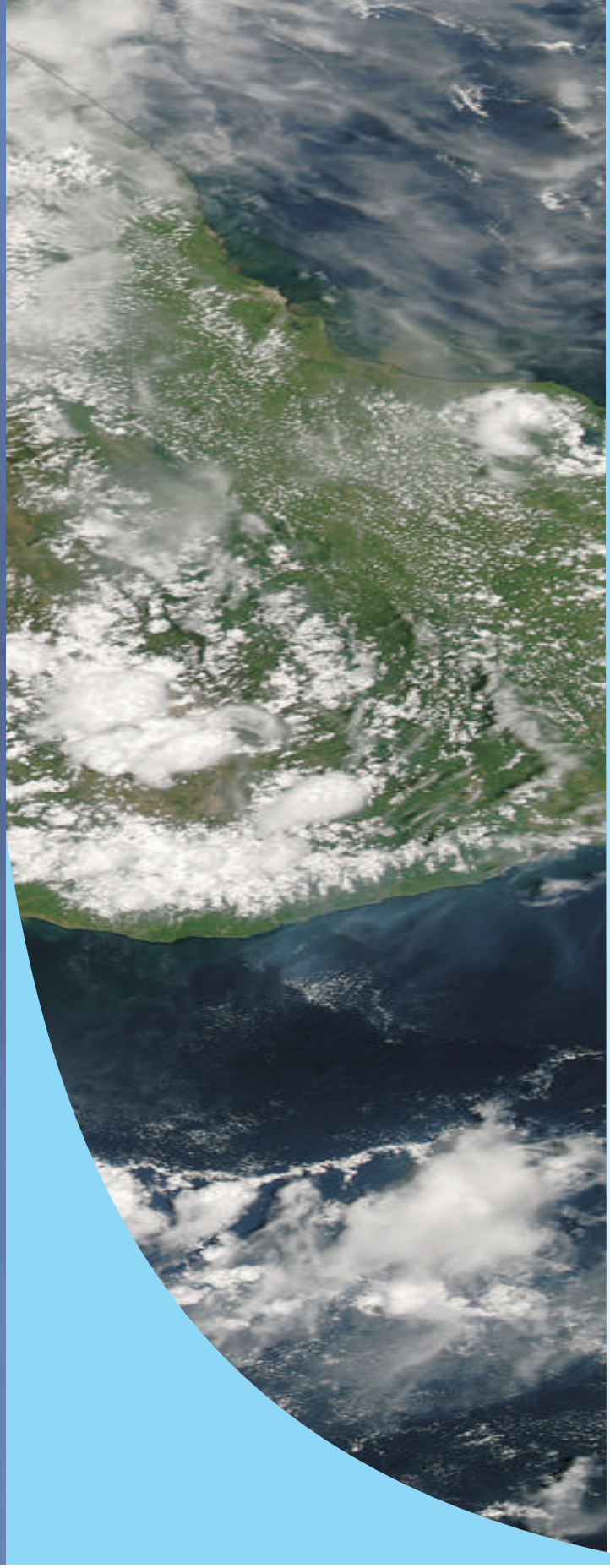
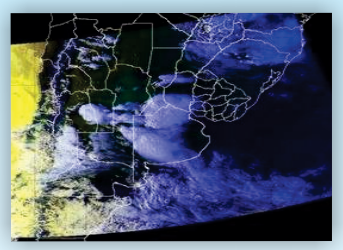
TORMENTAS SEVERAS



SERIE
Fascículos









SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN CIUDADANA

CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL

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 DEL CENTRO NACIONAL
DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (CENAPRED)

SERIE
Fascículos

1a. edición, agosto de 2010
Versión Electrónica 2021

© 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
www.gob.mx/sspc

© CENTRO NACIONAL DE
PREVENCIÓN DE DESASTRES
Av. Delfín Madrigal Núm. 665,
Col. Pedregal de Santo Domingo,
Coyoacán, C.P. 04360, México, Ciudad de México
Teléfonos: (55) 54 24 61 00
Comentarios: editor@cenapred.unam.mx
www.gob.mx/cenapred

© Autores:
Ricardo Prieto González
Investigador del Instituto Mexicano
de Tecnología del Agua

Ma. Asunción Avendaño García
Asistente de Investigación del Centro de Investigaciones y
Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS)

Lucía G. Matías Ramírez
Héctor Eslava Morales
Investigadores del Centro Nacional de
Prevención de Desastres (CENAPRED)

Edición:
Violeta Ramos Radilla

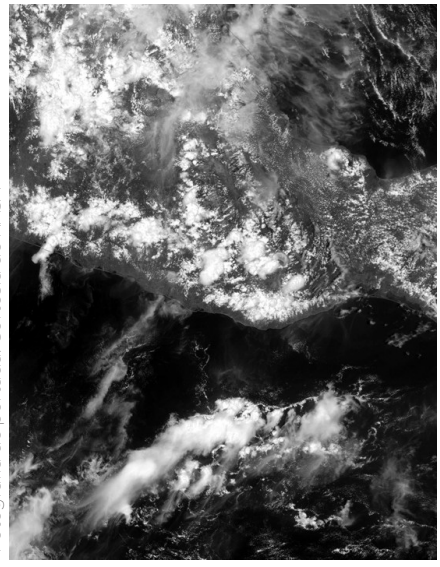
Diseño:
Demetrio Vázquez Sánchez
Cynthia Paola Estrada Cabrera

ISBN: 978-607-7558-08-8

Derechos reservados conforme a la ley.
Impreso en México. Printed in Mexico

Distribución Nacional e Internacional:
Centro Nacional de Prevención de Desastres

EL CONTENIDO DE ESTE DOCUMENTO ES
EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DE LOS AUTORES



Fotografía de portada: Cortesía de NASA

3 Introducción

4 Génesis de las tormentas severas

- Formación de tormentas por fuentes de ascenso de aire húmedo
- Formación de nubes por convección
- Formación de nubes por fricción turbulenta
- Formación de nubes por ascenso orográfico
- Formación de nubes por convergencia / ascenso en general
- Generación de tormentas severas por frentes fríos
- Formas de precipitación
- Fenómenos atmosféricos que acompañan a las tormentas severas
- Herramientas para el monitoreo de tormentas severas
- Satélites meteorológicos
- Radares meteorológicos
- Boletines, avisos y alertas meteorológicas

14 Tormentas Eléctricas

- Características de las tormentas eléctricas
- Daños generados por las tormentas eléctricas
- Distribución de las tormentas eléctricas en México
- Acciones preventivas de protección civil ante tormentas eléctricas

23 Tormentas de Nieve (nevadas)

- Daños generados por las nevadas
- Distribución de las nevadas en México
- Acciones preventivas de protección civil ante nevadas

28 Tormentas de Granizo (granizadas)

- Daños que causan las tormentas de granizo (granizadas)
- Distribución de las granizadas en México
- Acciones preventivas de protección civil ante granizadas

34 Tornados

- Clasificación de los tornados
- Daños que causan los tornados
- Distribución de los tornados en México
- Un caso especial: El tornado de Piedras Negras, Coahuila
- Recomendaciones elementales de protección civil ante tornados

47 Glosario

49 Preguntas frecuentes

50 Bibliografía

Introducción

México es afectado por varios tipos de fenómenos hidrometeorológicos que pueden provocar la pérdida de vidas humanas o daños materiales importantes. Principalmente está expuesto a lluvias e inundaciones, granizadas, nevadas, heladas, tormentas eléctricas y tornados. Todos los fenómenos anteriores son manifestaciones de las *tormentas severas* que se presentan en todo el territorio nacional.

Acontecimientos como la granizada ocurrida el 4 de mayo de 2006 en diversos municipios del estado de Oaxaca, los derivados por las tormentas eléctricas en los estados de San Luis Potosí, Oaxaca, Chihuahua, Guerrero, Guanajuato y Tlaxcala, de ese mismo año, donde se registraron 15 fallecimientos, las nevadas en el estado de Chihuahua y el tornado ocurrido en Piedras Negras, Coahuila el 24 de abril, ambos en el 2007, constituyen los ejemplos más recientes que ponen de manifiesto la gravedad de las consecuencias de esta clase de fenómenos.





En el presente documento se dan a conocer las manifestaciones de las tormentas severas, las cuales pueden ocurrir en forma aislada o en conjunto, según la cantidad de energía y humedad que tengan las nubes *cumulunimbus* que forman a las tormentas severas, así como las medidas de protección que debe tomar la población en general ante la presencia de alguno de estos fenómenos hidrometeorológicos, con el objeto de que la población esté preparada y se pueda prevenir cualquier desastre.

Para los temas de lluvias, inundaciones y heladas se recomienda consultar los fascículos correspondientes a Inundaciones y Heladas, editados por el CENAPRED.

Asimismo, se describe la génesis de las tormentas severas, así como, las herramientas que se utilizan actualmente en México para su monitoreo y alertamiento.

En los capítulos subsecuentes se describen características de las tormentas eléctricas, tormentas de nieve (nevadas), tormentas de granizo (granizadas) y de los tornados; los daños que pueden provocar en la población, así como, su distribución en el territorio nacional y las acciones preventivas que se deben tomar ante estos fenómenos.

Génesis de las Tormentas Severas

Se puede definir a una tormenta severa como aquella tormenta que es susceptible de producir daños materiales importantes, muertes o ambos. Generalmente, las tormentas severas vienen acompañadas de lluvias intensas, vientos fuertes y pueden producir granizo, rayos y truenos, inundaciones repentinas e incluso, tornados. Si se presentan sobre el océano, también producen oleaje alto y marejada intensa.

Para la formación de una tormenta severa es necesario que se desarrollen las nubes conocidas como *cumulunimbus.* Éstas son densas y de considerable dimensión vertical, en forma de coliflor. Una parte de su región superior es generalmente lisa, fibrosa o estriada y casi siempre aplanada, la cual se extiende frecuentemente en forma de yunque o de vasto penacho. En la figura 1 se muestran nubes *cumulunimbus* típicas, la cual puede desarrollar una tormenta severa.

La parte superior de las nubes *cumulunimbus* pueden llegar hasta la parte superior de la troposfera, a unos 12 km de altitud y, en ocasiones, a la baja estratosfera (arriba de los 12 km). Las nubes de este tamaño no se desarrollan al menos que tengan la suficiente energía, y esto significa que la masa de aire ambiental necesita contener importantes cantidades de vapor de agua distribuidas por toda la capa vertical. Además de estas condiciones se necesita de un mecanismo disparador para el desarrollo de las nubes y la ausencia de factores que inhiban o restrinjan su desarrollo hasta su madurez, tales como una inversión térmica en los niveles medios de la atmósfera.



1b

Generalmente las tormentas severas muestran algún tipo de organización de escala mayor a la de las nubes individuales. Entre los tipos de tormentas severas observados frecuentemente están los conocidos como la *línea de chubasco*, la tormenta de multiceldas y la tormenta de supercelda, que se describirán más adelante.

1a



1c



Fig. 1a. 1b. y 1c. Nubes Cumulunimbus

Formación de tormentas por fuentes de ascenso de aire húmedo

Hay cuatro procesos principales que proporcionan la fuente de ascenso para que el aire húmedo forme una nube:

- Convección
- Turbulencia por fricción
- Ascenso orográfico
- Convergencia / ascenso general

Formación de nubes por convección

Cuando la superficie terrestre se calienta por la radiación solar, los flujos de aire cercanos se calientan. Si la energía es suficiente para que la temperatura se incremente en la capa baja de la atmósfera, se produce un ascenso térmico.

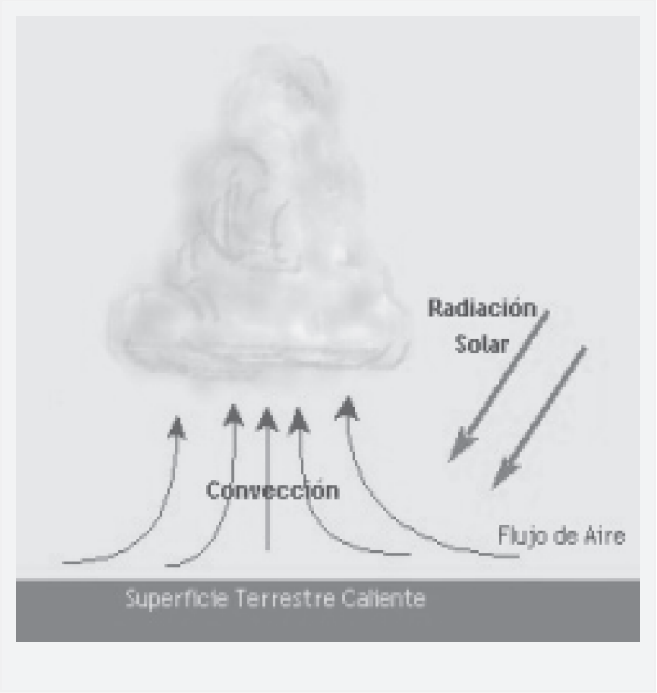
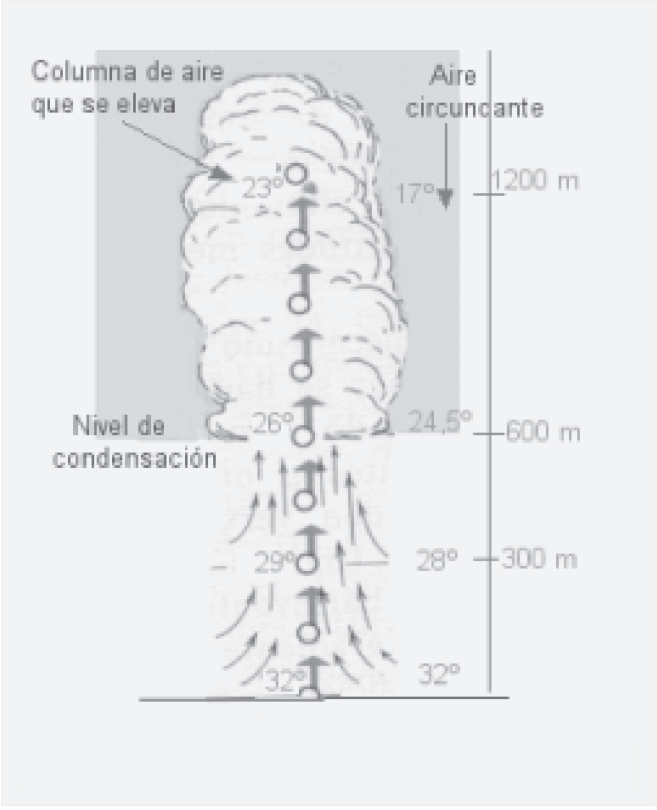


Figura 2. Formación de nubes por convección del aire calentado por la radiación solar

El ascenso térmico enfría el aire en 3 °C cada 300 metros y si el aire alcanza el punto de condensación, iniciará la formación de nubes, siendo inicialmente sustentado por una serie de remolinos de ascenso, pero si se desarrolla lo suficiente puede atraer aire húmedo de sus alrededores y entonces se alimenta por sí mismo, en un flujo constante en forma ascendente que libera el calor latente al condensarse el vapor de agua, aumentando así el tamaño de la nube. Si la nube tiene bastante energía para continuar su elevación, puede convertirse en una nube de tipo *cumulunimbus* figura 2 para posteriormente iniciar una tormenta de lluvia y de viento.



Formación de nubes por fricción turbulenta

Las corrientes de aire que fluyen sobre la tierra o el agua producen una capa turbulenta de hasta 150 metros de altura con vientos ligeros, o más de 1,000 metros con vientos fuertes, antes de la puesta del sol (después la capa se estabiliza). Estas capas de aire turbulento pueden llegar a producir nubes de tipo estratiforme que, si son suficientemente densas, pueden ocasionar lloviznas.

En la figura 3 se muestra el esquema de la formación de nubes por turbulencia dentro de la capa más superficial de la atmósfera.

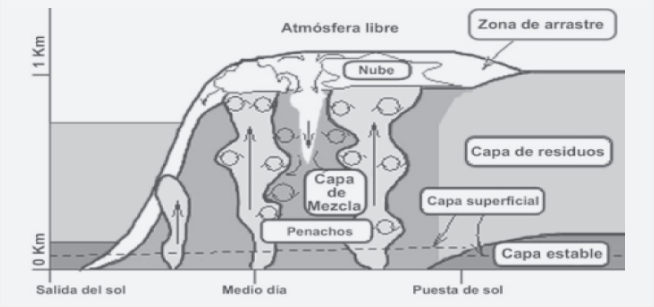


Figura 3 Formación de nubes por turbulencia

Formación de nubes por ascenso orográfico

Una corriente de aire con flujo horizontal que alcanza una barrera montañosa es forzada a ascender y, mientras se eleva, el aire tiende a enfriarse. Si el ascenso y el contenido de humedad son adecuados, ocurre la condensación del vapor de agua y la nube se forma en o sobre la barrera montañosa de dos posibles maneras: si el aire es estable, la nube es de tipo *cumulus*, si el aire es ligeramente inestable y hay mayor inestabilidad atmosférica, puede desarrollarse una nube *cumulunimbus.*

En la figura 4 se muestra el esquema de la formación de nubes por ascenso orográfico, así como la precipitación que tiene ese origen.

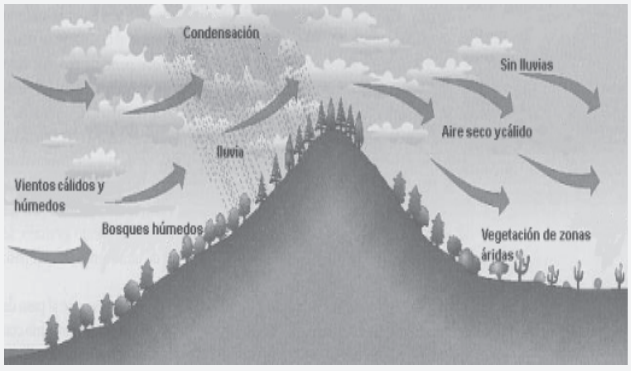


Figura 4 Precipitación de origen orográfico

Formación de nubes por convergencia / ascenso en general

Cuando dos masas de aire tienen un movimiento horizontal y convergente hacia una región en particular generan ascenso del aire (movimiento convectivo) formando nubes de gran desarrollo vertical (por ejemplo, *cumulus congestus* y, sobre todo, *cumulunimbus*).

Por ejemplo, el aire que se encuentra en un área amplia delante de un frente frío es levantado por la acción frontal debido a que éste actúa como una cuña. Generalmente, el aire asciende muy lentamente, posiblemente de 0.5 a 1.5 metros/minuto y se enfría; si es bastante húmedo se condensa produciendo extensas capas de nubes de tipo estratiforme. Sin embargo, cuando el movimiento de los frentes fríos es muy rápido puede provocar un ascenso del aire mucho más rápido produciendo nubes de tipo *cumulunimbus*

Generación de tormentas severas por frentes fríos

En meteorología, un frente es una franja de separación entre dos masas de aire de diferentes temperaturas, y se clasifican como fríos, cálidos, estacionarios y ocluidos, según sus características. La palabra frente tiene origen en el lenguaje militar (como frente de batalla) y se asemeja a una batalla porque el choque entre las dos masas produce una actividad muy dinámica de tormentas eléctricas, ráfagas de viento y fuertes aguaceros.

Algunos frentes fríos se mueven rápidamente. Son fuertes y pueden causar perturbaciones atmosféricas tales como tormentas eléctricas, chubascos, tornados, vientos fuertes y cortas tempestades de nieve durante su paso, acompañadas de condiciones secas a medida que el frente avanza. Dependiendo de la época del año (otoño, invierno o primavera) y de su localización geográfica, los frentes fríos pueden presentarse con un periodo de entre 5 a 7 días en promedio.

En la figura 5 se muestra un esquema de un corte transversal de un frente frío. La velocidad de desplazamiento del frente es tal, que el efecto del descenso brusco de temperatura se observa en pocas horas.

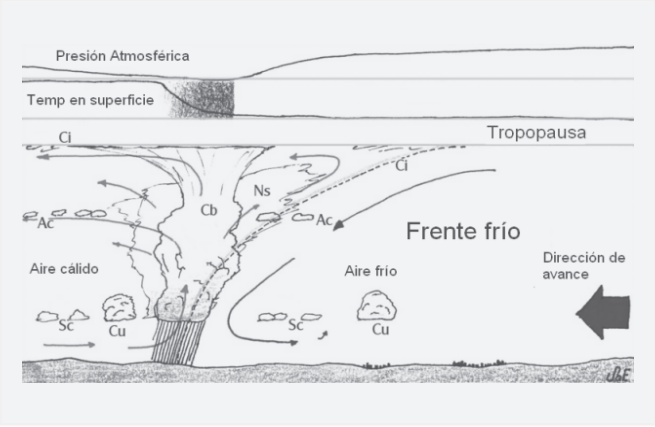


Figura 5 Esquema de un corte transversal de un frente frío donde Ac = Alto cumulus, Cb = Cumulunimbus, Ci = Cirrus, Cu = Cumulus, Ns = Nimbustratos y Sc = Estratocumulus

Formas de precipitación

El término precipitación se usa para designar cualquier estado del agua que cae desde las nubes a la tierra. Existe una clasificación sobre los tipos de precipitación, pero generalmente se puede hablar de tres tipos: lluvia, granizo y nieve.

Las nubes, al ascender, se expanden y al hacerlo se enfrían, provocando la condensación del vapor de agua. La condensación hace que la fuerza de gravedad supere a la fuerza de sustentación de las gotas y el agua caiga hacia el suelo, originándose las diferentes precipitaciones. Cada gota de lluvia puede estar formada por un millón de gotitas de agua que el aire es capaz de sostener. Dependiendo de la temperatura a la que se condense el vapor de agua puede formar gotitas o cristales de hielo.

Cuando las gotitas de agua aumentan de tamaño y adquieren un peso suficiente, se produce la precipitación y caen a tierra. Si el aire está lo suficientemente caliente las partículas de hielo se funden y llegan al suelo en forma de lluvia.

La precipitación no es igual todo el tiempo y se maneja una clasificación de acuerdo con la intensidad con la que caen las las gotas de agua o cristales de hielo (tabla 1).

Tabla 1 Clasificación de los diferentes tipos de precipitación

Tipos de Precipitación	Características
Gotas de llovizna	Gotitas de agua con peso suficiente para caer, las cuales tienen entre 0.2 y 0.5 mm en diámetro.
Gotas de lluvia	Gotas de agua con diámetro 0.5 mm.
Lluvia torrencial	Lluvia máxima en mm acumulada en 24 horas, mayor a 150 mm.
Lluvia intensa	Lluvia máxima en mm acumulada en 24 horas, de 70 a 150 mm.
Lluvia fuerte	Lluvia máxima en mm acumulada en 24 horas, de 20 a 70 mm.
Lluvia moderada	Lluvia máxima en mm acumulada en 24 horas, de 5 a 20 mm.
Lluvia ligera	Lluvia máxima en mm acumulada en 24 horas, de 0.1 a 5 mm.
Lluvia congelada y llovizna congelada	Gotas de lluvia súper-enfriadas y gotas de llovizna que se congelan cuando llegan a una superficie con temperaturas menores a 0 °C.
Aguanieve	Mezcla de lluvia y nieve, pequeñas bolitas de hielotransparente, o copos de nieve que se han fundido y vuelto a helar.
Granos de nieve	Partículas de hielo, pequeñas, opacas, aplanadas y alargadas, que tienen un peso suficiente para caer al piso, pero que no se rompen o rebotan cuando golpean el suelo; con un diámetro 1 mm.
Nieve	Cristales de hielo agrupados en patrones intrincados de formas geométricas.
Nieve muy ligera	Superficie cubierta o mojada parcialmente por la nieve.
Nieve ligera	Visibilidad > 1 km.
Nieve moderada	Visibilidad entre 500 m y 1 km.
Nieve fuerte	Visibilidad < 500 m.
Nieve húmeda	Altura de la nieve dividida por la altura de la misma cantidad de nieve derretida 10.
Nieve seca	Altura de la nieve dividida por la altura de la misma cantidad de nieve derretida 10.
Granos de hielo	Las gotas de agua o los copos de nieve derretidos que caen a través de una capa de aire frío (temperatura menor a 0 °C) y se congelan antes de llegar al suelo. Generalmente rebotan y hacen un sonido audible cuando golpean el suelo.
Granizo	Granos de hielo que tienen un diámetro 5 mm.
Granizo "blando"	Partículas de hielo opacas de un diámetro entre 2 y 5 mm; a menudo se rompen cuando llegan al suelo; se comprimen fácilmente cuando se aplastan.

Fenómenos atmosféricos que acompañan a las tormentas severas

Existen diversos fenómenos atmosféricos, además de la precipitación, que suelen acompañar a las tormentas severas, entre los que se encuentran las líneas de chubasco, las ráfagas frontales, los rayos, los truenos, el granizo y los tornados.

Las torres de nubes *cumulunimbus* se organizan comúnmente en grandes líneas cuyos componentes están muy cercanos. Estos sistemas nubosos organizados se pueden extender por cientos de kilómetros y llegan a ser considerados como una *"línea de tormentas"* figura 6. Cuando son acompañadas por ráfagas de vientos se le llama *línea de chubasco.*

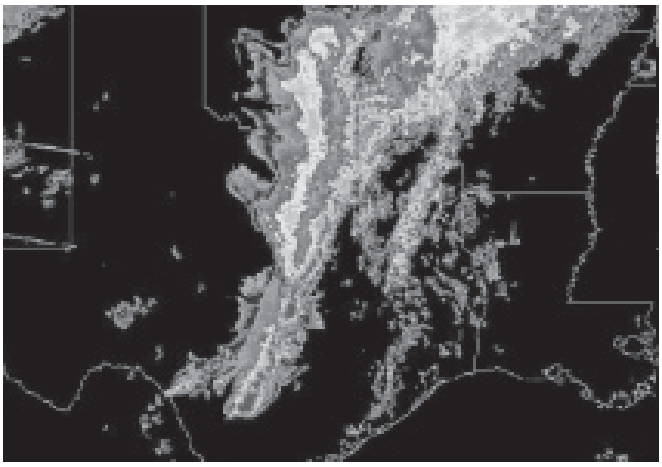


Figura 6 Imagen de radar que muestra el paso de una línea de tormentas sobre el estado de Texas el 8 de abril de 2002 con una longitud de unos 400 km

Muchas de las tormentas que producen tornados se caracterizan por corrientes ascendentes que tienen un giro pronunciado contrario al de las manecillas del reloj (movimiento ciclónico) a través de una capa que se extiende desde la base de la nube hasta unos 10 a 12 km de altura. A este fenómeno se le conoce como *ciclón de mesoescala o mesociclón*, algunos de los cuales pueden llegar a ser vistos siguiendo los movimientos de las nubes. Evidencias preliminares, basadas en un pequeño número de casos documentados, sugieren que la presencia de un mesociclón es a menudo precursora de la formación de un tornado, el cual se forma debajo de la corriente ascendente.

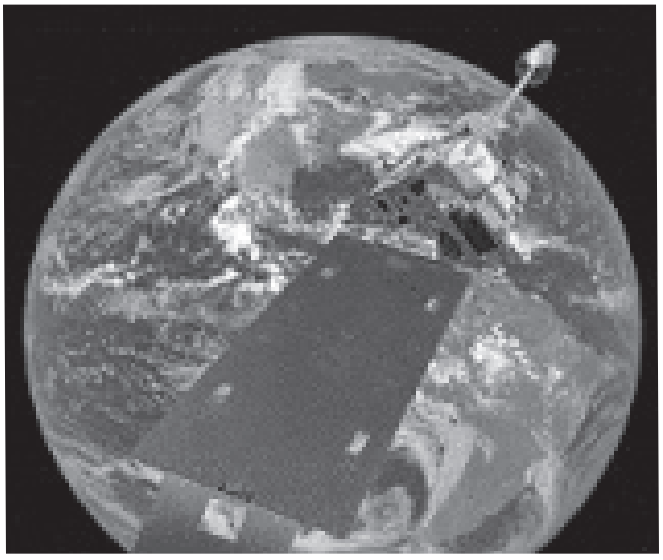
Herramientas para el monitoreo de tormentas severas

Los principales instrumentos que se utilizan para la medición de variables meteorológicas (como temperatura, presión, humedad, radiación solar, etc.) son las estaciones meteorológicas, tanto automáticas como manuales, así como los radiosondeos, boyas, los satélites y radares meteorológicos. También se llevan a cabo observaciones desde naves espaciales, barcos, aviones, etc. Con el uso de las telecomunicaciones modernas, gran cantidad de información meteorológica procedente de todo el mundo es recolectada en los grandes centros meteorológicos mundiales,donde los datos son decodificados, graficados y publicados.



Satélites meteorológicos

Un satélite artificial es conocido como un objeto hecho por el hombre que se encuentra girando alrededor de un planeta. Los satélites artificiales tienen una gran variedad de propósitos, desde la transmisión de señales de televisión, hasta la ubicación o localización de lugares u objetos. Los satélites pueden proveer a los meteorólogos de imágenes o fotografías de fenómenos atmosféricos desde una perspectiva muy particular.



7a Observación de la tierra desde el espacio

Al día de hoy existen satélites que no sólo observan las nubes, sino también otro tipo de radiación no visible proveniente de la tierra y de su atmósfera, lo cual ayuda a estimar el impacto de diversos fenómenos meteorológicos como las tormentas severas, así como otros aspectos relacionados, por ejemplo, con las condiciones del crecimiento de plantas y árboles, de los suelos y concentraciones de contaminantes atmosféricos, entre otras aplicaciones.

Con la ayuda de los satélites meteorológicos se detecta la presencia y el movimiento de fenómenos que pueden ocasionar tormentas severas, como son los frentes fríos, los ciclones, las ondas tropicales, las zonas de convergencia, etc.

En la figura 7a se ilustran los satélites GOES y en la 7b se muestra una imagen del día 30 de octubre de 2007, donde aparece el frente frío número 4 cruzando el golfo de México y la tormenta tropical Noel que se desplaza sobre Cuba.

7b Imagen de satélite

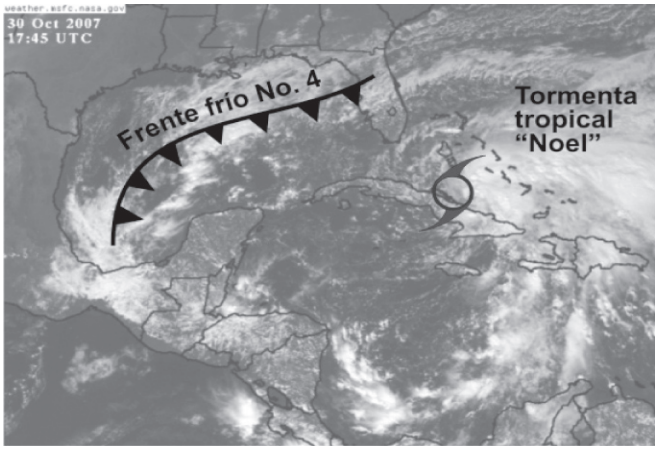


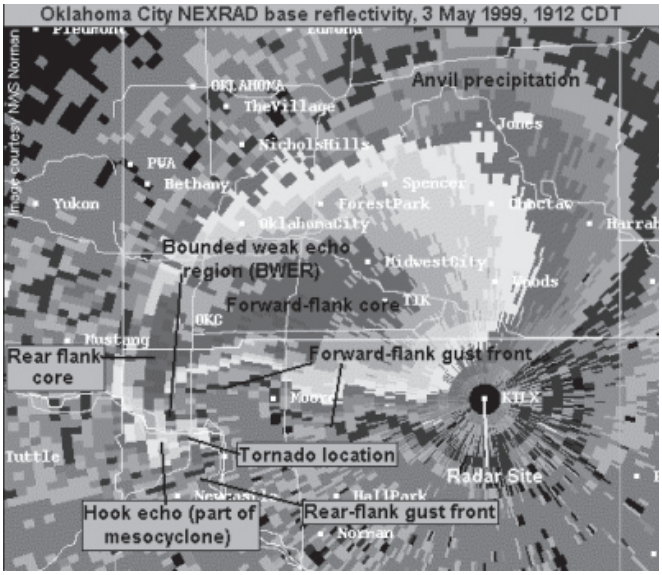
Figura 7a y 7b Productos obtenidos por los satélites meteorológicos

Radar meteorológico

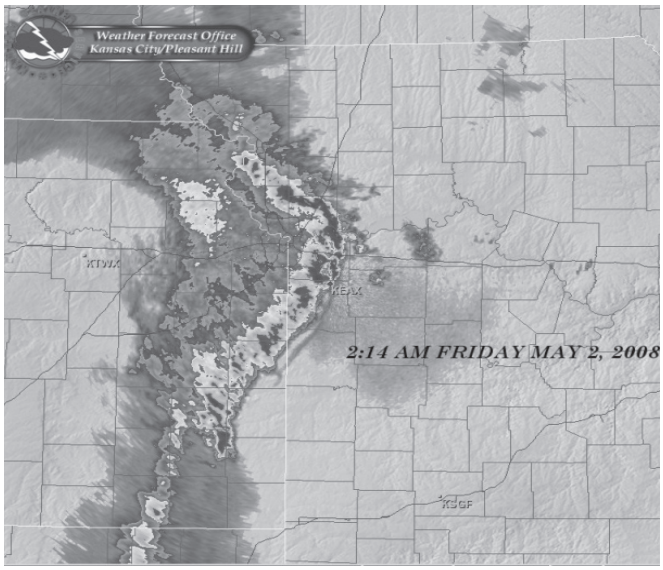
Actualmente los radares meteorológicos juegan un papel muy importante en el campo de la meteorología. Estos aparatos mandan y reciben señales electromagnéticas que pueden proveer de información muy valiosa sobre la localización e intensidad de la precipitación en forma de gotas de lluvia o cristales de hielo. La señal electromagnética que reciben estos aparatos es conocida comúnmente como la "reflectividad". Los *radares Doppler* van más allá de la detección de precipitación, ya que realizan una estimación de la rapidez y dirección a la que se mueven las gotas de lluvia y los cristales de hielo, lo cual es de gran importancia para el pronóstico a muy corto plazo (30 minutos) sobre las condiciones de tiempo atmosférico severo.

La magnitud de la *reflectividad* está relacionada con el número y el tamaño de las gotas encontradas por el pulso electromagnético, por lo que una *alta reflectividad* indica una precipitación fuerte, mientras que una *baja reflectividad* advierte una precipitación muy ligera. Las gráficas producto de los radares meteorológicos utilizan colores para mostrar la magnitud de la reflectividad así como su localización. La *reflectividad* excesivamente alta muestra la presencia de granizo o de otros objetos.

Las condiciones que pueden permitir la ocurrencia de un tornado en tierra es normalmente observada en la señal de radares meteorológicos, donde la *reflectividad* con valores altos produce una figura de *gancho*, como la que se muestra en la figura 8a y una línea de tormentas en la figura 8b.



8a Figura de gancho



8b Línea de tormenta

Fig. 8a y 8b Gráficas de reflectividad que acompañan a la señal de radar

Boletines, Avisos y Alertas Meteorológicas

En México, el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) es el organismo encargado de proporcionar información sobre el estado del tiempo a escala nacional y local. El SMN depende de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la cual forma parte de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Uno de los objetivos del SMN es vigilar continuamente la atmósfera para identificar los fenómenos meteorológicos que pueden afectar las distintas actividades económicas y, sobre todo, originar la pérdida de vidas humanas.

El Servicio Meteorológico Nacional a través de su página de internet (http://smn.conagua.gob.mx/) informa al Sistema Nacional de Protección Civil y al público en general, sobre las condiciones meteorológicas que prevalecen en el país, por medio de sus boletines e informes meteorológicos, los cuales son emitidos en diferentes periodos y horarios, como se observa en la tabla 2. También emite avisos y alertas meteorológicas de fenómenos meteorológicos extremos, tabla 3, con el objetivo de que las autoridades a nivel estatal y federal, así como la población en general, estén informadas y tomen las medidas preventivas necesarias para evitar tragedias o desastres.

Tabla 2 Boletines e informes meteorológicos del Servicio Meteorológico Nacional

Boletines e Informes	Hora de emisión	Periodo de Emisión
Boletín Meteorológico General	09:00 h. 21:00 h.	Diario
Pronóstico para Ciudades de la República Mexicana *(Pacífico, Golfo de México, Interior)*	09:00 h. 21:00 h.	Diario
Imagen con Fenómenos Significativos	09:00 h. 21:00 h.	Diario
Informe Meteorológico de Lluvias	11:00 h.	Diario
Discusión Meteorológica	15:00 h.	Diario
Pronóstico del Tiempo para el Valle de México	09:00 h. 15:00 h. 21:00 h.	Diario
Informe Agrometeorológico	15:00 h.	De lunes a viernes
Boletín del Observatorio de Tacubaya	10:00 h.	De lunes a viernes
Temperatura del Mar y Pronóstico de Oleaje	15:00 h.	De lunes a viernes



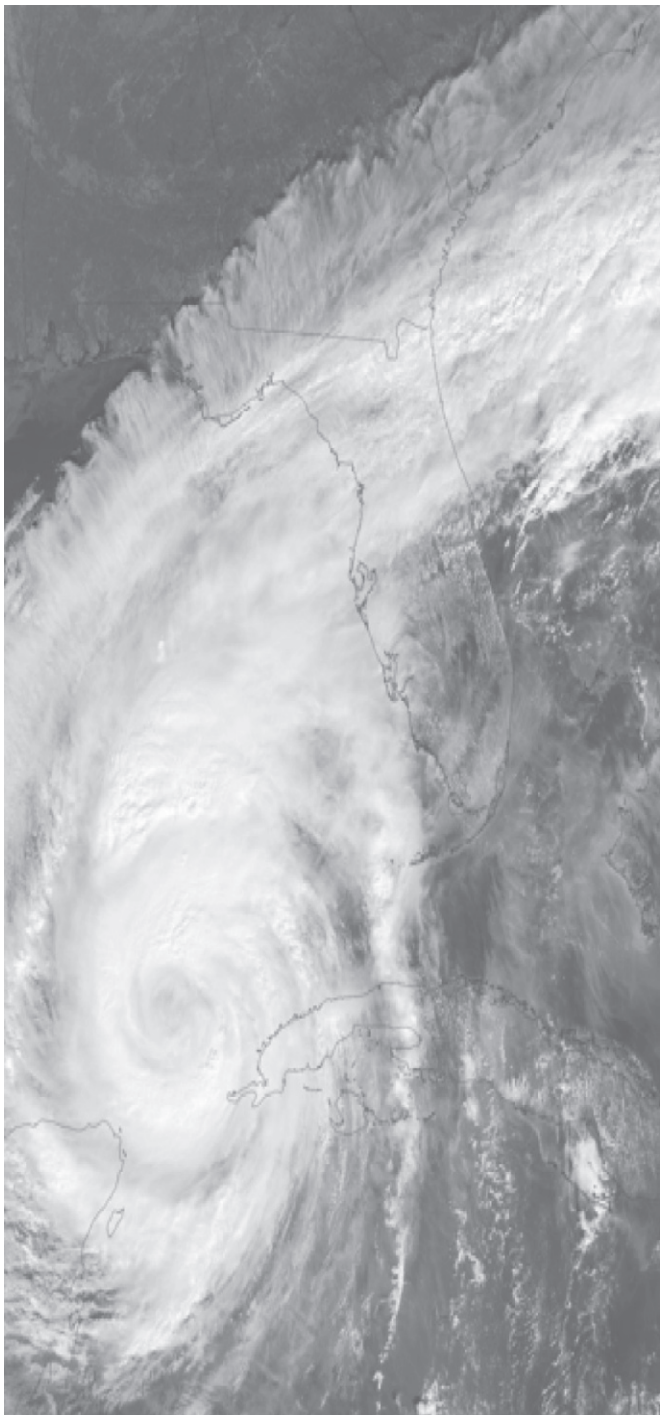
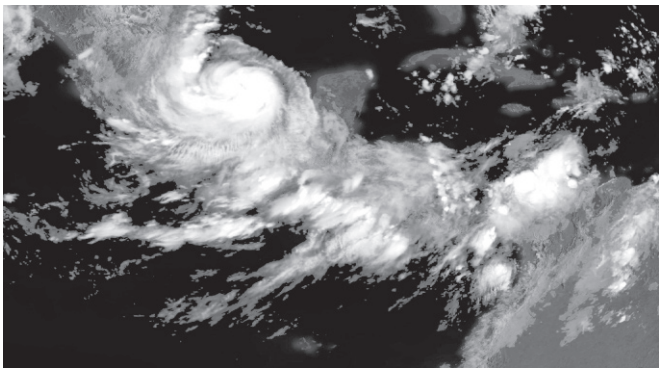


Tabla 3 Avisos y alertas meteorológicas

Avisos y Alertas	Periodo de Emisión
Aviso de tormentas intensas y granizo	Cada 6 horas (00, 06, 12, 18) 6 horas
Mapa de áreas con potencial de tormentas para las próximas 24 h.	Validez de las 12 h de hoy a las 12 h de mañana
Aviso de nortes y condición invernal	Lunes a viernes a las 10:00 h y 22:00 h octubre/ abril
Aviso de heladas	Lunes a viernes a las 15:00 h octubre /abril



Tormentas Eléctricas

Las tormentas eléctricas son descargas bruscas de electricidad atmosférica que se manifiestan por un resplandor breve (rayo) y por un ruido seco o estruendo (trueno). Las tormentas se asocian a nubes convectivas (cumulunimbus) y pueden estar acompañadas de precipitación en forma de chubascos; pero en ocasiones puede ser nieve, nieve granulada, hielo granulado o granizo (OMM, 1993). Son de carácter local y se reducen casi siempre a sólo unas decenas de kilómetros cuadrados.

Asimismo, el desarrollo económico y poblacional de las ciudades hace posible que ocurran con mayor frecuencia efectos negativos generados por tormentas eléctricas (García, *et al.*, 2007), por lo que es necesario implementar las medidas necesarias que minimicen sus efectos.

El rayo es una descarga electrostática que resulta de la acumulación de cargas positivas y negativas dentro de una nube de tormenta figura 10. Cuando las cargas adquieren la fuerza suficiente, aparecen los rayos, cuya manifestación visible es el relámpago, es decir, un destello de luz que se produce dentro de las nubes o entre éstas y el suelo. La mayor cantidad de relámpagos ocurren dentro de la nube, mientras que el 20% se presenta entre la nube y el suelo.

Características de las tormentas eléctricas

Una tormenta eléctrica se forma por una combinación de humedad, entre el aire caliente que sube con rapidez y una fuerza capaz de levantar a éste, como un frente frío, una brisa marina o una montaña. Todas las tormentas eléctricas contienen rayos, los cuales pueden ocurrir individualmente en grupos o en líneas figura 9.

El ciclo de duración de una tormenta es de sólo una o dos horas y empieza cuando una porción de aire está más caliente que el de su entorno, o bien, cuando el aire más frío penetra por debajo de ella. El estado de madurez de una tormenta está asociado con grandes cantidades de precipitación y rayos.



Figura 9 Tormenta eléctríca en el estado de Nayarit, 17 de de julio de 2006 (Fuente: Periódico La Jornada)

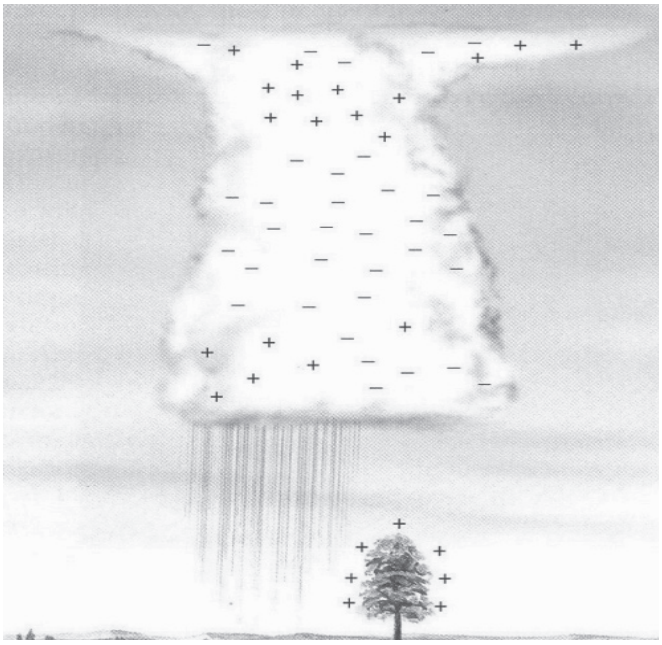


Figura 10 Distribución de cargas en una nube de tormenta

Un rayo alcanza una temperatura en el aire que se aproxima a los 30,000 grados centígrados en una fracción de segundo. El aire caliente provoca que éste se expanda rápidamente, produciendo una onda de choque que llega en forma de sonido llamado trueno, éste viaja hacia fuera y en todas direcciones desde el rayo.

Los rayos pueden ser de los siguientes tipos:

a) Nube-aire. La electricidad se desplaza desde la nube hacia una masa de aire de carga opuesta.

b) Nube-nube. El rayo puede producirse dentro de una nube con zonas cargadas de signo contrario.

c) Nube-suelo. Las cargas negativas de las nubes son atraídas por las cargas positivas del suelo.

Datos generados por las tormentas eléctricas

Los efectos de las tormentas eléctricas van desde herir o causar el deceso de una persona de forma directa o indirecta hasta dañar la infraestructura de la población, que provocaría la suspensión de la energía eléctrica, además de afectar algunos aparatos (radio, televisión, computadoras, refrigeradores, etc.). En ocasiones, las descargas eléctricas pueden provocar la muerte del ganado y son la causa más común del retraso de las aeronaves y de los accidentes aéreos, siendo el mayor peligro para la aviación (Hebbs, 2005).

Los riesgos asociados a los rayos especialmente aquéllos que pueden producir heridos y decesos, han sido estudiados por países como Estados Unidos de América, Canadá y Reino Unido, entre otros. Dichos trabajos se refieren a la exposición de las personas durante una tormenta eléctrica y sus consecuencias, las cuales pueden ser parálisis, quemaduras, intensos dolores de cabeza, pérdida de audición y de la memoria, hasta llegar a la muerte (Mill, *et al*, 2008, Shearman y Ojala, 1999).

En México se registran, desde 1985 el número de decesos generados por el alcance de rayos (Secretaría de Salud, 2007). En los últimos 22 años se reportaron 4,848 defunciones en 31 estados del país; en promedio, al año se llegan a presentar 220 pérdidas humanas por tormentas eléctricas. El único estado que no ha registrado muertes es Baja California Sur, mientras que en el Estado de México se localiza el mayor número de casos, con 1,140 figura 11.

Asimismo, en 1985 se presentó el mayor número de pérdidas humanas con 358, mientras que en 2006 fueron sólo 116, es decir, hubo una disminución de más del 50% figura 12. Este decremento se debió probablemente a que la gente conoce mejor el fenómeno y sus consecuencias, así como las medidas de protección.

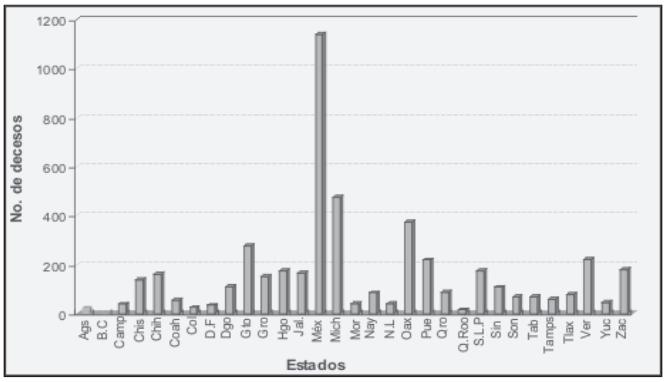


Figura 11 Número de decesos por alcance de rayos durante 1985-2006. (Fuente Secretaría de Salud, 2007)





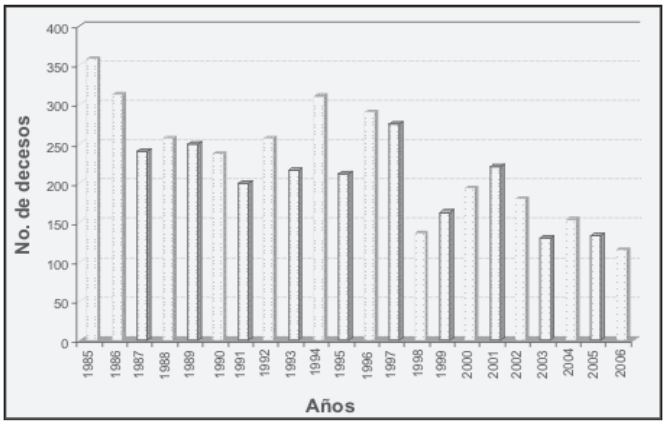


Figura 12 Número anual de decesos por alcance de rayos en México

Distribución de las tormentas eléctricas en México

Las tormentas eléctricas en México ocurren entre mayo y octubre. Se presentan con mayor frecuencia durante horas de la tarde o de la noche. Además, su ámbito es local o regional y son intermitentes como resultado de la topografía del país (UNAM, 2007). Así, el promedio anual de días con tormenta es de 30 y el máximo es de 100 sobre las sierras Madre Oriental, Madre Occidental, Madre del Sur, Madre de Chiapas, Montañas del Norte de Chiapas y Sistema Volcánico Transversal figuras 13 y 14.



Por otra parte, las nubes convectivas de gran desarrollo vertical, como las que ocurren en la cuenca de México durante la temporada de lluvias, generalmente desarrollan campos eléctricos en su interior, resultado de la interacción entre las gotitas de agua a temperaturas por debajo de 0 °C, el granizo y los cristales de hielo (Binimelis, 2008).

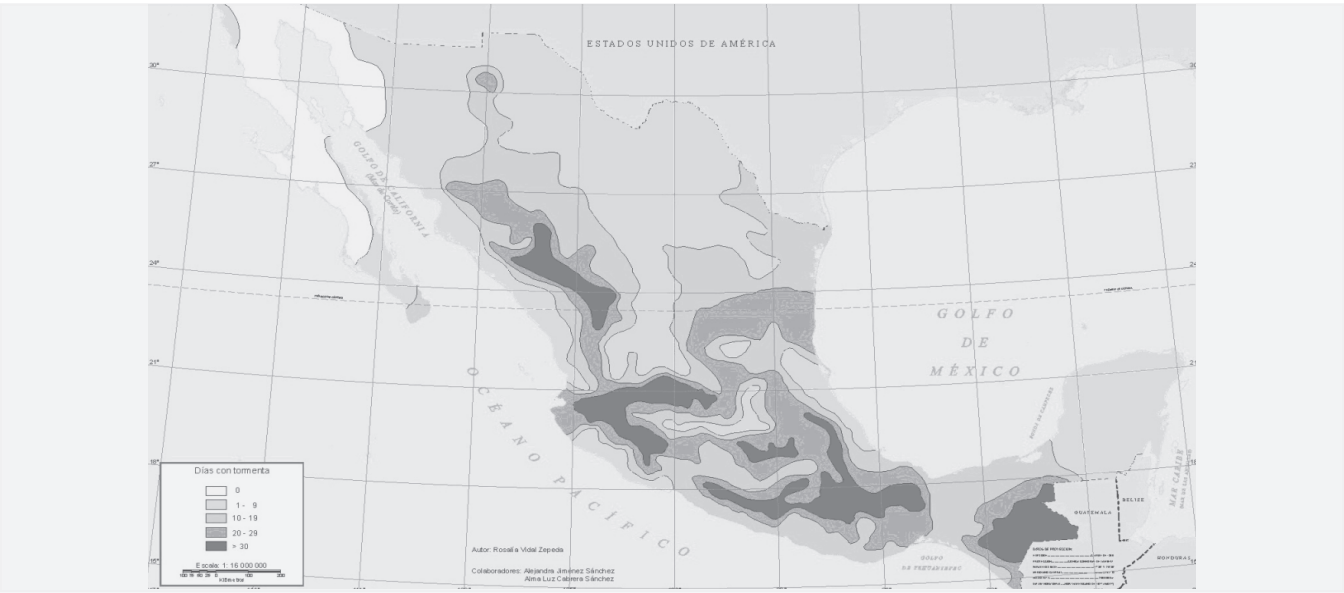


Figura 13 Promedio anual de días con tormenta eléctrica en México . (Fuente: UNAM, 2007)

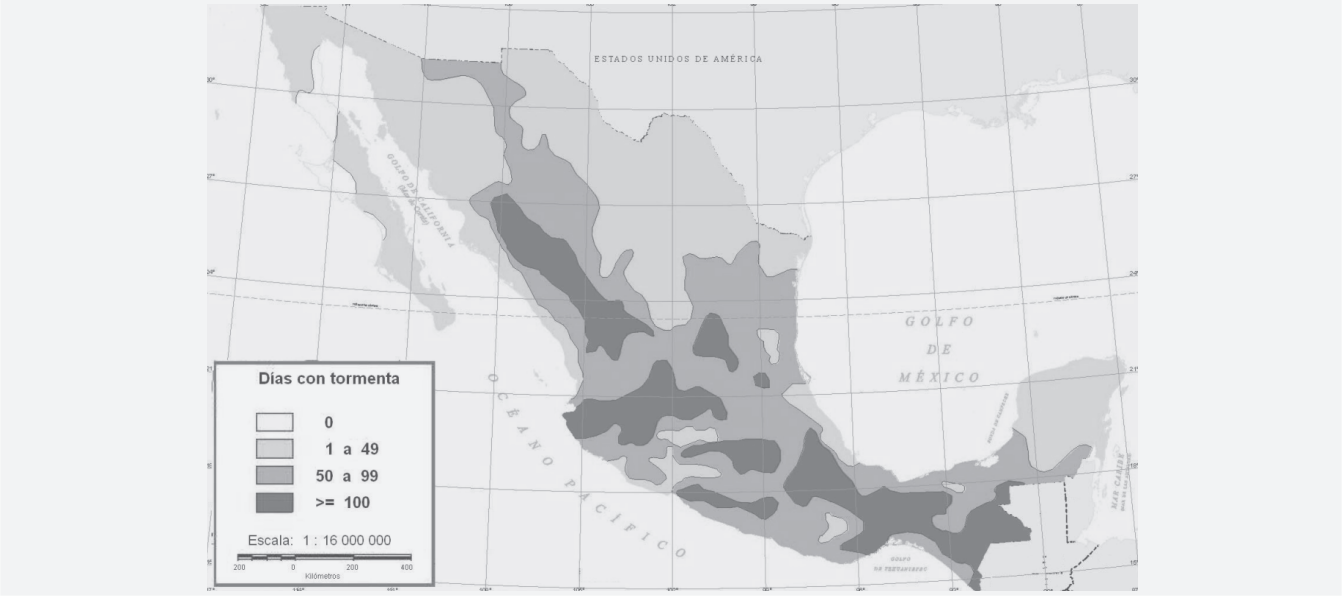


Figura 14 Máximo anual de días con tormenta eléctrica en México . (Fuente: UNAM, 2007)

En la mayoría de los casos los decesos por tormentas eléctricas se presentaron porque las personas realizaban actividades al aire libre, justo cuando la tormenta estaba en su máximo desarrollo.

Acciones de protección civil ante tormentas eléctricas

Debido a los efectos de las tormentas eléctricas, es conveniente que la población aprenda a protegerse de estos fenómenos.

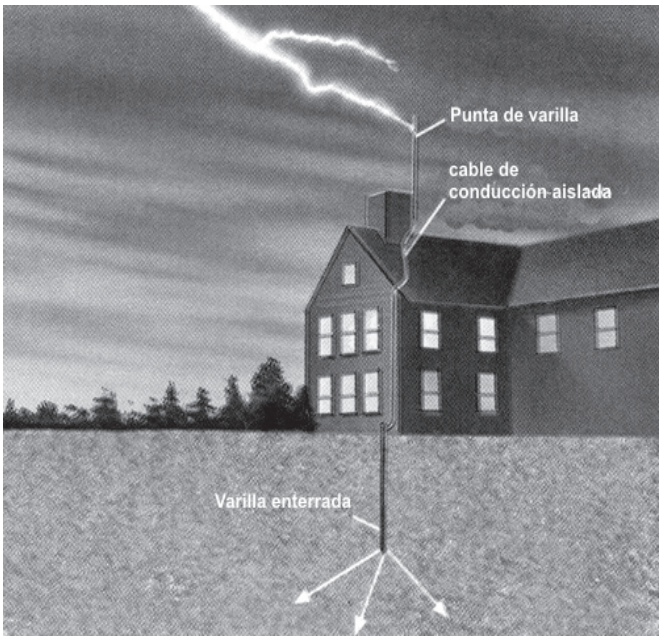
¿Qué hacer antes de la tormenta eléctrica?

- Asegurar los objetos del exterior de la vivienda que puedan desprenderse o causar daños debido a los fuertes vientos que pueden acompañar a la tormenta eléctrica.
- Cerrar las ventanas y correr las cortinas.
- Reforzar las puertas exteriores.
- Quitar las ramas o árboles muertos que puedan causar daño durante una tormenta eléctrica, ya que un rayo puede romper la rama de un árbol y golpear a una persona, e incluso, generar una explosión o un incendio.
- Mantenerse atento a los avisos de tormentas severas que emite el Servicio Meteorológico Nacional cada seis horas (smn.conagua.gob.mx).
- Instalar pararayos en torres y antenas.
- Procurar la polarización correcta de todas las tomacorrientes incluyendo una tierra física en todo el sistema eléctrico (consultar a su proveedor de la Comisión Federal de Electricidad a un técnico especializado), veáse *Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005, instalaciones eléctricas.*

Evite daños en su construcción por el alcance de un rayo

Los pararrayos son una medida de protección para evitar daños, principalmente a los aparatos electrónicos, por el alcance de rayos. Consiste en una barra metálica preferentemente de cobre, de un metro de longitud que termine en punta, la cual se extiende por encima de la construcción, siguiendo una trayectoria con cable que la une a otra barra metálica del mismo material y de la misma longitud, la cual se encuentra enterrada con el propósito de transferir la carga eléctrica a la tierra, evitando el impacto directo del rayo figura 15a y 15b.

15a



15b

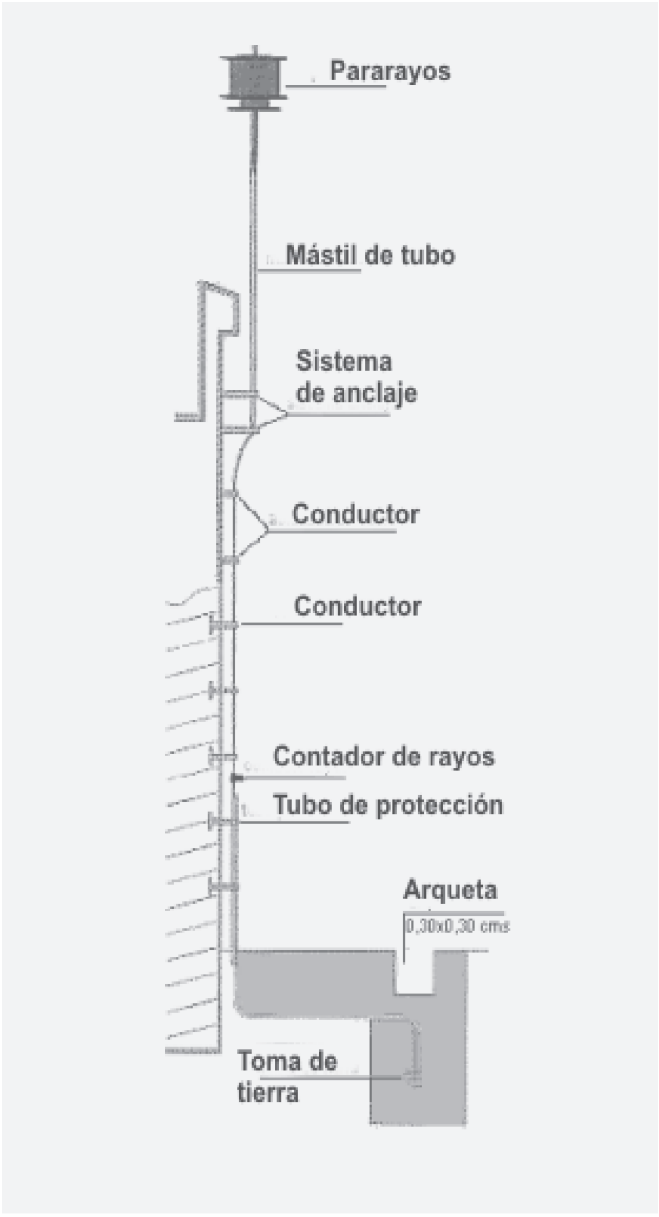


Figura 15a y 15b Componentes de los pararrayos

¿Qué hacer durante una tormenta eléctrica?

- Alejarse de los lugares altos, tales como cumbres, cimas, lomas y refugiarse en zonas bajas pero no propensas a inundarse o a recibir avenidas súbitas.

- Apartarse de terrenos abiertos, por ejemplo, praderas, cultivos, campos de golf, terrazas, azoteas y estacionamientos abiertos, ya que las personas pueden sobresalir por su tamaño y convertirse en pararrayos.

- Por ningún motivo se debe correr durante la tomenta, ya que resulta peligroso debido a que la ropa mojada provoca una turbulencia en el aire y una zona de convección que puede atraer un rayo.

- Deshacerse de todo material metálico (bastones, mochilas con armazón, botas con casquillos, paraguas, herramientas, utensilios agrícolas, etc.), ya que los metales resultan buenos conductores eléctricos.

- Jamás se deberá guarecerse debajo de un árbol o una roca, debido a que el primero por su humedad y verticalidad, aumenta la intensidad del campo eléctrico y en el segundo porque los rayos suelen caer sobre objetos sobresalientes. Tampoco se refugie en edificios pequeños o aislados como, graneros, chozas, cobertizos, tiendas de campañas, entre otros.

- Retirarse de objetos y elementos metálicos como vallas, alambradas, tuberías, líneas telefónicas e instalaciones eléctricas, rieles de ferrocarril, bicicletas, motocicletas y maquinaria pesada, puesto que la proximidad con éstos provoca una onda de choque generada por el rayo que, a su vez, calienta el aire y puede producir lesiones en los pulmones.

- Evite cualquier contacto con los cuerpos de agua, ríos, lagos, mar, albercas, así como zonas mojadas.

- En caso de haber un edificio o vehículo muy cerca, intentar llegar a él. De preferencia, no refugiarse en edificios pequeños o aislados como, graneros, chozas, cobertizos, tiendas de campañas, entre otros. Buscar una zona que se encuentre un poco más baja que el terreno circundante.

- No acostarse, ya que la tierra húmeda conduce muy bien la electricidad.

- Intentar agacharse lo más posible, pero tocando el suelo sólo con las plantas de los pies.

- Rehuir el refugio de una cueva o saliente rocoso, el rayo puede echar chispas a través de estas aberturas e, incluso, entrar por los canales naturales de drenaje para sus descargas, ya que se acumula el aire ionizado que aumenta la probabilidad de descarga.

- Apagar los instrumentos de localización y transmisión-recepción portátil (celulares, walkie-talkies y GPS) y demás aparatos electrodomésticos, ya que sus radiaciones electromagnéticas puedan atraer los rayos y/o causar graves daños provocados por la variación de voltajes.

- Desconectar los enseres electrodomésticos y otros aparatos eléctricos, como las computadoras. Las variaciones de voltaje que provocan los rayos pueden causar graves daños.

¿Cómo protegerse de las descargas eléctricas de la tormenta?

En el hogar:

- Cerrar puertas y ventanas para evitar corrientes de aire.
- No acercarse a las ventanas abiertas para observar la tormenta.
- No utilizar y alejarse de la chimenea ya que éstas permiten el ascenso de aire caliente cargado de iones, lo que aumenta la conductividad del aire, abriendo un camino para las descargas eléctricas que actúan como pararrayos.
- Desconectar los aparatos eléctricos, así como las antenas de televisión y cable, ya que el rayo puede entrar por el cableado y las tuberías e incluso, provocar daños a los mismos.
- Evitar el contacto con el agua, incluyendo bañarse durante la tormenta eléctrica.
- Mantenerse aislado, una forma es sentarse en una silla de madera, apoyando los pies en la mesa del mismo material. También se puede estar seguro, acostado sobre una cama que posea una base de madera.

En el exterior:

- Si está en grupo y ocurre una tormenta, lo aconsejable es dispersarse unos metros y adoptar las posiciones y acciones recomendadas que a continuación se describen:

  - En caso de estar con niños, y para evitar el pánico y/o posible extravío, es conveniente que se mantenga el contacto visual y verbal con ellos, no obstante cada uno deberá estar separado de los demás.
  - Si hay una sensación de cosquilleo en el cuerpo, se eriza el cabello y se observan chispas en un objeto de metal, colóquese en cuclillas apoyándose sobre la parte anterior de la planta de los pies, lleve las manos sobre las orejas y coloque la cabeza entre las rodillas. Hágase lo más pequeño posible y reduzca al mínimo su contacto con el suelo. NO se tienda en el suelo.



En el auto:

- El mejor sitio para protegerse es dentro de un vehículo que tenga apagado el motor, sin antena de radio y cerradas las ventanas. Así pues, cuando caiga un rayo en el auto, éste será sólo por el exterior, mientras que el interior quedará exento, siempre y cuando no esté en contacto con algún objeto de metal; este procedimiento se llama Jaula de Faraday.



Si alguien es alcanzado por un rayo se debe:

- Pedir urgentemente asistencia médica.
- Si no respira o el corazón ha dejado de latir, intente reanimarla con los procedimientos habituales de primeros auxilios, como es la respiración artificial.

Las tormentas eléctricas pueden generar efectos adversos en las personas, principalmente dentro de un radio de impacto de 120 m. Los principales problemas relacionados con las tormentas eléctricas son los siguientes:

- Quemaduras en la piel
- Ruptura de tímpano
- Lesiones en la retina
- Caída al suelo por onda expansiva
- Caída al suelo por agarrotamiento muscular debido a una tensión de paso ligera.
- Lesiones pulmonares y lesiones óseas
- Estrés-pos-traumático

Muerte por:

- Paro cardíaco,
- Paro respiratorio y
- Lesiones cerebrales.

Sin embargo, los rayos también pueden producir daños en el sistema nervioso, ruptura de huesos, así como la pérdida de visión y audición (FEMA, 2008).



Tormentas de Nieve (nevadas)

Las tormentas de nieve son una forma de precipitación sólida en forma de copos. Un copo de nieve es la aglomeración de cristales transparentes de hielo que se forman cuando el vapor de agua se condensa a temperaturas inferiores a la de solidificación del agua. La condensación de la nieve tiene la forma de ramificaciones intrincadas de cristales hexagonales planos en una variedad infinita de patrones.

Los copos de nieve tienen diferentes formas y tamaño, ello depende de la temperatura y humedad de la atmósfera, aunque todos presentan estructuras hexagonales figura 16 debido a la manera en cómo se agrupan las moléculas de oxígeno e hidrógeno al congelarse el agua.



Figura 16 Ejemplo de forma de los copos de nieve



Figura 17 Nevadas de San Pedro Mártir, Baja California
Cortesía Hayde Bustamante

Los fenómenos meteorológicos que provocan las nevadas son los que ocurren generalmente durante el invierno, como son las masas de aire polar y los frentes fríos, que en algunas ocasiones llegan a interactuar con corrientes en chorro, líneas de vaguadas, y entrada de humedad de los océanos hacia tierra. Estos fenómenos provocan tormentas invernales que pueden ser en forma de lluvia, aguanieve o nieve.

Daños generados por las nevadas

Los efectos negativos de las nevadas en la población son las bajas temperaturas que se asocian a ellas, que pueden provocar enfermedades en las vías respiratorias o en el peor de los casos, muerte por hipotermia lo cual ocurre, sobre todo, a indigentes o personas de bajos recursos económicos, por habitar en viviendas precarias.

En las ciudades, las nevadas pueden ocasionar graves daños como son: el desquiciamiento del tránsito, apagones y taponamiento de drenajes, acumulación de nieve en los techos de las casas y su colapso, bloqueo de caminos, congelamiento de la red de agua potable, suspensión de las actividades aéreas, suspensión de labores y clases en las escuelas. En las zonas rurales, si el fenómeno es de poca intensidad, no provoca daños importantes 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, el ganado que está a la intemperie puede morir congelado, etc.

Distribución de las nevadas en México

Debido a la situación geográfica de nuestro país son pocas las regiones que padecen de nevadas, siendo más acentuado este fenómeno en regiones altas como montañas o sierras, principalmente, durante el invierno. Un caso extraordinario ocurrió en el invierno de 1967, donde aproximadamente el 50% del territorio nacional resultó afectado por una nevada, incluso en el Valle de México.

Las nevadas principalmente ocurren en el norte del país y en las regiones altas, y rara vez se presentan en el sur. Durante la estación invernal en las sierras del estado de Chihuahua suceden en promedio más de seis nevadas al año, mientras que en algunas regiones al norte de Durango y Sonora, las nevadas tienen una frecuencia de tres veces al año figura 18.



También se han registrado nevadas que han afectado a las ciudades del centro del país, como las de Toluca, México, Puebla, Tlaxcala y San Luis Potosí. Eventualmente pueden formarse nevadas en el altiplano de México por la influencia de las corrientes frías provenientes del norte del país.

Históricamente las zonas donde su ocurrencia es más frecuente son los volcanes como el Pico de Orizaba, Popocatépetl, Iztaccíhuatl y Nevado de Toluca; también en las sierras de Chihuahua, Durango, Sonora, Coahuila, Baja California y Nuevo León y, en menor frecuencia, en la zona del Bajío (Zacatecas, Aguascalientes, San Luis Potosí, Guanajuato y Jalisco), así como en las partes altas del Valle de México, como es el Ajusco.



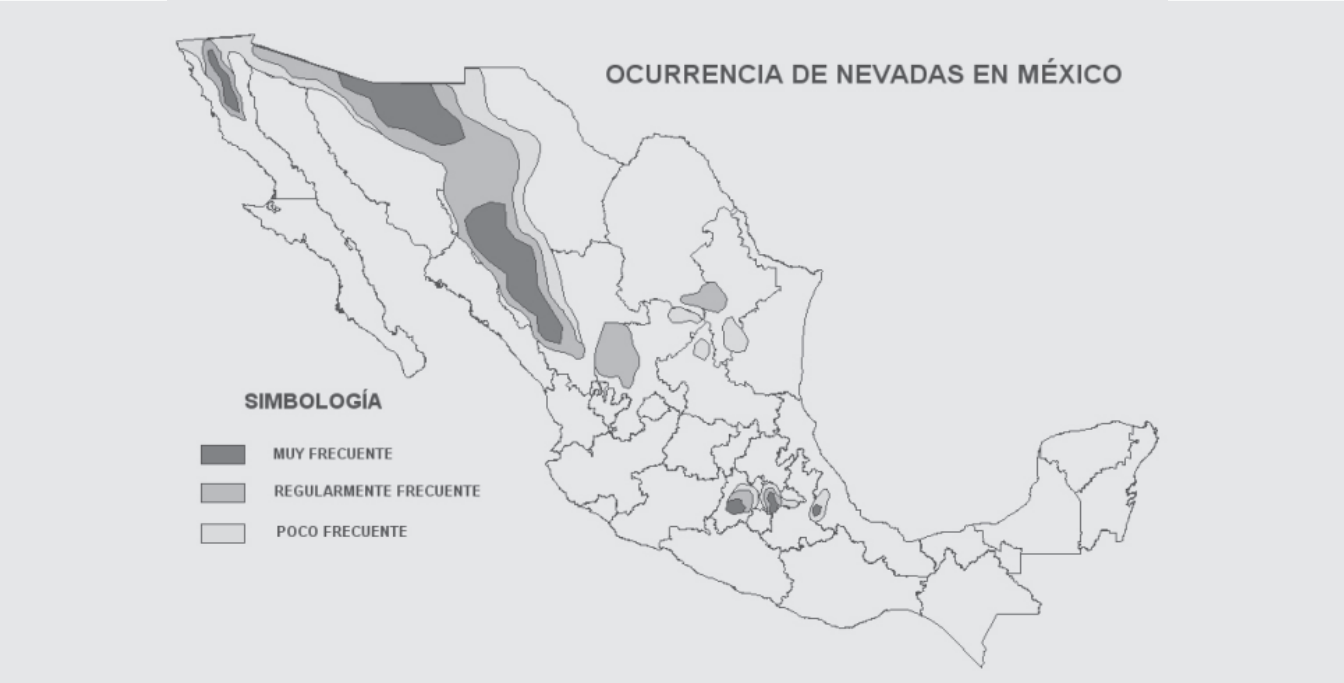


Figura 18 Mapa de ocurrencia de nevadas en México. (Fuente: Fascículo Heladas. CENAPRED)

En la tabla 4 se citan algunos informes de daños causados por nevadas en épocas recientes, los cuales se tomaron de notas periodísticas.

Si se desea tener más información sobre el fenómeno de nevadas y su tratamiento para elaborar mapas de peligro y riesgo, se sugiere consultar Jiménez, *et al* (2007).



Acciones preventivas de protección civil ante nevadas

Las tormentas de nieve (nevadas) producen un ambiente frío que puede congelar la superficie del cuerpo humano, aumentar la presión arterial, exigiendo un mayor esfuerzo al corazón. Este enfriamiento también reduce la resistencia a las infecciones, desde un simple resfriado a enfermedades como la gripe; además de que las enfermedades infecciosas se transmiten más fácilmente en el invierno, debido a que la gente se reúne en lugares cerrados. En el fascículo de Heladas, editado por el CENAPRED, se puede encontrar mayor información sobre las medidas preventivas para enfrentar la aproximación o presencia de una nevada.

Tabla 4. Nevadas que han afectado a la República Mexicana

Fuente: Nota periódistica

Fecha	Lugar de afectación	Comentarios y/o daños
Enero 1962	Nuevo León: Monterrey	La nevada acumuló casi 40 cm de nieve.
Enero 10 y 11 de 1967	El 50% del territorio mexicano fue afectado, desde la Ciudad de México hasta la región norte y en los lugares por encima de 2,000 metros sobre el nivel del mar.	200 personas quedaron atrapadas en las carreteras entre Monterrey y Saltillo. Fueron suspendidos los vuelos en Monterrey. 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 5 cm, 75 cm en Saltillo, Coah. y 60 cm en Monterrey.
Enero 7 y 8 de 1997.	Sonora (Nogales) Chihuahua (Ciudad Juárez y las localidades de la Sierra Tarahumara), Baja California Norte (Sierra de la Rumorosa).	Las escuelas y fábricas pararon actividades en Sonora. El tráfico aéreo y terrestre dejó de funcionar en Chihuahua. El número total de muertos fue de 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.
Febrero 3 de1998	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 Tlaxco se acumularon 50 cm de nieve.
Enero de 2002	Zacatecas	En los municipios de Sombrerete, Pinos y Saín Alto, la temperatura descendió hasta menos siete grados. La nieve alcanzó una altura de entre 28 y 40 cm.
Noviembre 25 de 2005	Chihuahua: Sierra Tarahumara	Se alcanzaron hasta 22 cm de nieve en el municipio de Guadalupe y Calvo. En Guachochi y Balleza, la nevada alcanzó apenas los tres centímetros, mientras que el Vergel siete y en Nogorachi, nueve centímetros.
Marzo 11 y 12 de 2006	Baja California: La Rumorosa, El Hongo, Sierra de San Pedro Mártir	Las nevadas dejaron una capa de nieve de más de 45 cm en El Hongo y en La Rumorosa y de 60 cm en la Sierra de San Pedro Mártir.
Diciembre 20 de 2006	Chihuahua	La capa de nieve alcanzó hasta ocho centímetros de nieve.
Enero 2 de 2007	Chihuahua	Se registraron nevadas en 57 de los 61 municipios de Chihuahua.
Enero de 2007	Baja California: La Rumorosa	La capa de nieve alcanzó más de cinco centímetros.
Noviembre 27 de 2007	Chihuahua: Ciudad Juárez, Ahumada, Bocoyna, Casas Grandes, Nuevo Casas Grandes, Carichic, Ocampo	Durante poco más de 10 horas se mantuvo la precipitación de nieve, que alcanzó seis centímetros de altura, cubrió toda la ciudad. Dejó un saldo de más de 35 accidentes viales, la suspensión de vuelos del aeropuerto local, el cierre de algunos tramos carreteros, interrupción del servicio de energía eléctrica y el deceso de un hombre.
Diciembre 5 de 2007	Edo. de México: volcán Xinantécatl	Debido a la llegada del Frente Frío número 10 y a las condiciones de humedad, se registró una nevada en las partes altas del volcán Xinantécatl, la nieve alcanzó más de seis centímetros de espesor.
Febrero 15 de 2008	Baja California: Tijuana, Tecate, Mexicali	Una repentina y copiosa nevada cayó en las zonas altas de Baja California, además de nieve también hubo granizo y fuertes lluvias que provocaron que la temperatura descendiera drásticamente hasta los 4 grados bajo cero en las zonas montañosas. Cayeron 12 pulgadas (30.5 cm) de nieve a causa de una tormenta proveniente de Alaska, que afectó principalmente al municipio de Tecate, desde el centro de esa ciudad hasta los poblados de El Hongo, La Rumorosa, y El Cóndor.

Adicionalmente se debe tomar en cuenta que cuando se presenta una nevada, el hielo y la nieve provocan un estado resbaladizo de los caminos que puede producir accidentes mortales, por lo que se debe conducir a baja velocidad con las luces e intermitentes encendidas y de ser posible, no transitarlos.

Si la nevada es muy intensa, no se puede transitar y usted se encuentra dentro de un automóvil o camión, se recomienda:

- Esperar ayuda de los grupos de auxilio y las autoridades competentes.
- Permanecer dentro del automóvil o camión.
- Encender el motor aproximadamente cada 10 minutos para conseguir calor.
- Abrir la ventana para mantener ventilado el interior del automóvil y así evitar el envenenamiento por monóxido de carbono.
- Llamar la atención de los cuerpos de rescate, tener la luz encendida cuando se tenga prendido el motor, amarrar una prenda roja a la antena o a la puerta del automóvil.





El peso de la nieve sobre los techos de las casas también representa un riesgo, dado que puede provocar daños a estructuras endebles y derrumbes de techos precarios, por lo que se recomienda, en el caso de no tener una vivienda resistente, quitar la nieve de los techos de las casas. Si la vivienda está construida con materiales poco resistentes: cartón, lámina, etc., es necesario que se evacue y se dirija al refugio temporal más cercano establecido por las unidades de protección civil y atender todas las recomendaciones que se indican en el fascículo de Heladas, para salir al exterior de su vivienda.

Tormentas de Granizo
(Granizadas)

El granizo es un tipo de precipitación en forma de piedras de hielo y se forma en las tormentas severas cuando las gotas de agua o los copos de nieve formados en las nubes de tipo *cumulunimbus* figura 19 son arrastrados por corrientes ascendentes de aire.

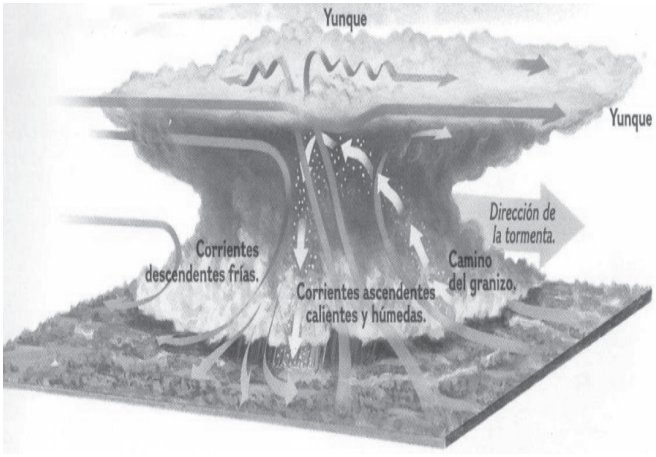


Figura 19 Formación de las tormentas de granizo.
(Fuente: National Geographic, 1998)

Las piedras de granizo se forman dentro de una nube *cumulunimbus* a alturas superiores al nivel de congelación y crecen por las colisiones sucesivas de las partículas de hielo con gotas de agua sobreenfriada, esto es, el agua que está a una temperatura menor que la de su punto de solidificación, pero que permanece en estado líquido y queda suspendida en la nube por la que viaja. Cuando las partículas de granizo se hacen demasiado pesadas para ser sostenidas por las corrientes de aire, caen hacia el suelo. El tamaño de las piedras de granizo está entre los 5 milímetros de diámetro hasta pedriscos del tamaño de una pelota de golf y las mayores pueden ser muy destructivas, como para romper ventanas y abollar la lámina de los automóviles, pero el mayor daño se produce en los cultivos o a veces, varias piedras pueden solidificarse formando grandes masas de hielo y nieve sin forma.



El depósito del granizo sobre la superficie terrestre exhibe un patrón angosto y largo a manera de un corredor. La mayoría de las tormentas de granizo ocurren durante el verano entre los paralelos 20 y 50, tanto en el hemisferio norte como en el sur.

Daños que causan las tormentas de granizo (granizadas)

En México los daños más importantes por granizadas se presentan principalmente en las zonas rurales, ya que se destruyen las siembras y plantíos, causando, en ocasiones, la pérdida de animales de cría. En las regiones urbanas afectan a las viviendas, construcciones, alcantarillas y vías de transporte y áreas verdes cuando se acumula en cantidad suficiente puede obstruir el paso del agua en coladeras o desagües, generando inundaciones o encharcamientos importantes durante algunas horas.

La magnitud de los daños que puede provocar la precipitación en forma de granizo depende de su cantidad y tamaño.

Distribución de las granizadas en México

En la República Mexicana se producen granizadas principalmente en la región del altiplano, particularmente en los valles de la porción sur de éste y en la Sierra Madre Occidental, así como en la Sierra Madre del Sur y algunas regiones de Chiapas, Guanajuato, Durango y Sonora figura 20. Las ciudades que con mayor frecuencia son afectadas son Puebla, Pachuca, Tlaxcala, Zacatecas y el Distrito Federal, donde se tiene la mayor incidencia, durante los meses de mayo, julio y agosto.

En la tabla 5 se citan algunos reportes de afectaciones recientes causados por granizadas, las cuales fueron recopiladas de notas periodísticas.

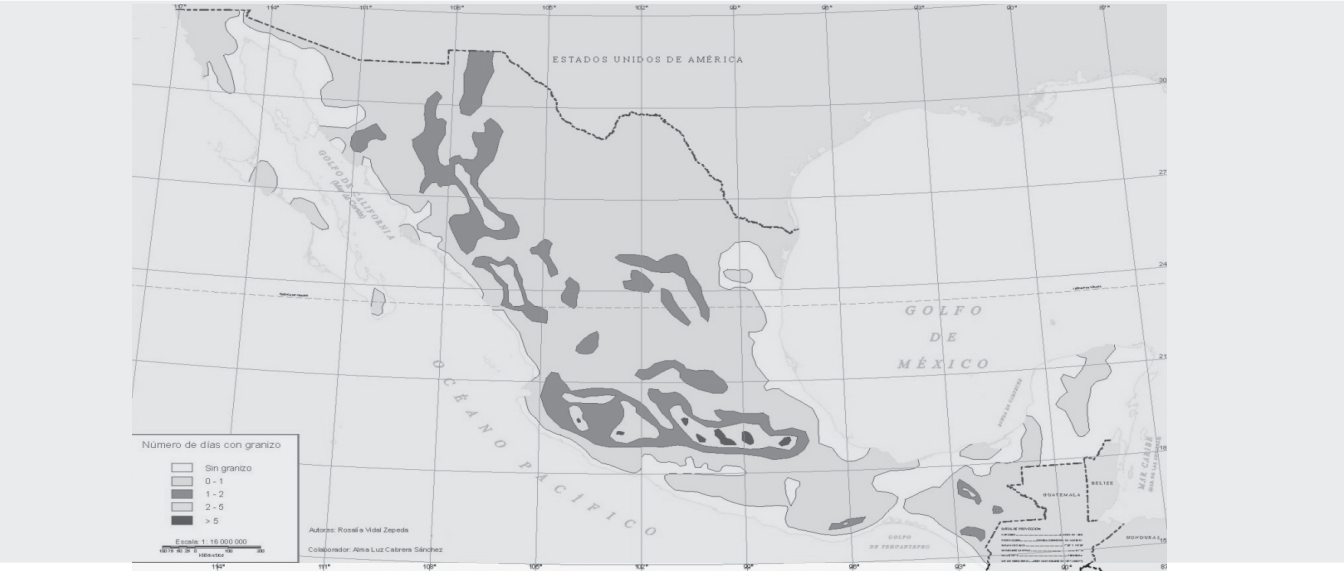


Figura 20 Número de días con granizo, al año en la República Mexicana. (Fuente: UNAM,2007)

Tabla 5 Granizadas que han afectado a la República Mexicana

Fuente: Reportes periodísticos

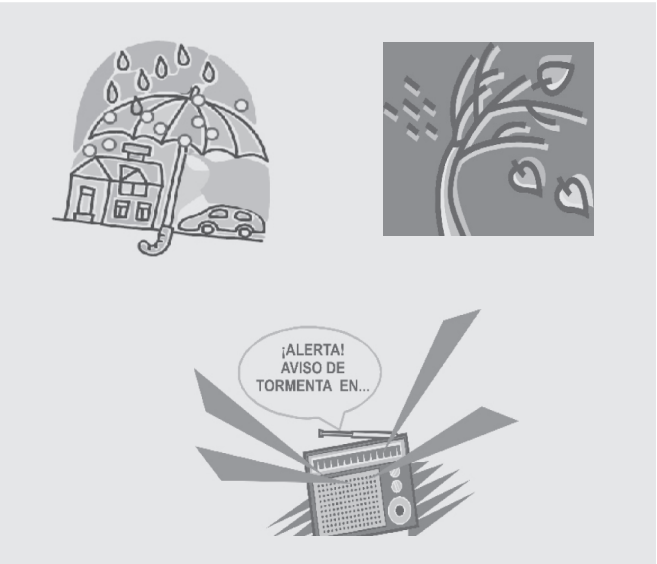
Fecha	Lugar de afectación	Comentarios y/o daños
Agosto 27 de 1976	Distrito Federal (zona poniente)	La tormenta duró 17 minutos y dejó una capa de granizo de 24 cm hubo 12 muertos e inundaciones, 26 personas lesionadas y 300 quedaron sin hogar. Varias vecindades en Tacubaya fueron dañadas y algunas se colapsaron por las malas condiciones en que se encontraban. El mercado de Las Américas en Tacubaya, sufrió el desplome de su 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.
Junio 29 de 1994	Tlaxcala: Aueyotlipan	Fueron afectadas 500 ha de cultivo de maíz, trigo y cebada a causa de la granizada. El granizo llegó a tener 20 cm de espesor y provocó inundaciones.
Mayo 3 de 1994	Hidalgo: Tula, Almoloya	Destruyó los techos de 60 hogares en Almoloya, además afectó 788 ha de cultivo en Tula, fueron afectados 500 ejidatarios. El granizo alcanzó 40 cm de espesor.
Mayo 7 de 1996	Estado de México: Calpulalpan	Causó el derrumbe del techo de dos naves industriales y la inundación de varias casas. La granizada duró 60 minutos.
Marzo 31 de 1998	Baja California: Tijuana	La granizada afectó la parte este de la ciudad en donde dejó una capa de hasta 15 cm de espesor, además causó daños materiales.
Julio 23 de 2000	Michoacán: Zamora	En las zonas urbana y suburbana de Zamora quedaron destruidas unas 60 viviendas de lámina de cartón.
18 abril 2001	Zacatecas: Zacatecas, Guadalupe, Fresnillo	Un muerto, dos personas heridas y daños en 100 casas fue el saldo de la granizada.
Mayo 7 de 2001	Coahuila: Allende, Villa Unión	La granizada dejó daños en cientos de casas y comercios. Un tramo de la carretera México-Piedras Negras fue cerrado a la circulación, al inundarse la cinta asfáltica. También se registraron daños considerables en tuberías de gas doméstico, agua potable y líneas conductoras de energía eléctrica.
Agosto 13 de 2003	Estado de México: Amecameca	Una intensa granizada que duró de 20 a 30 minutos causó daños a 97 casas, debido al peso del granizo se desplomaron algunos techos, se rompieron tejados y algunas bardas resultaron seriamente afectadas. La capa de granizo tuvo un espesor de entre 30 y 40 cm.
Abril 23 de 2004	Veracruz: Orizaba	La granizada destrozó el domo de la Plaza de Toros La Concordia.
Mayo 24 de 2005	Tlaxcala: Altzayanca	La granizada acabó con el 59% de la producción local de durazno, que oscila entre 800 y 1,000 ha.
Agosto 31 de 2005	Hidalgo: Tulancingo, Omitlan de Juárez	La granizada ocasionó pérdidas en 24 viviendas, cuatro de ellas con daños estructurales.
Mayo 10 de 2006	Coahuila: Candela	El granizo del tamaño de un limón, cayó en la localidad provocando severos daños principalmente en huertas nogaleras y cultivos de forraje.
Junio 23 de 2006	Hidalgo: Cuautepec, Tezontepec de Aldama	La intensa granizada que tuvo una duración de más de una hora, y que alcanzó 30 cm de altura en algunas partes y afectó más de 300 ha de cultivos de chile, calabaza y maíz.
Junio 5 de 2008	Tabasco: Huimanguillo	El granizo destruyó los techos de al menos 20 casas en Huimanguillo, además de tirar árboles y bardas.
Junio 16 de 2008	Jalisco: Tlaquepaque	Las precipitaciones registraron vientos con rachas de 69 kilómetros por hora y caída de granizo, varias viviendas se colapsaron, por lo que algunas familias lo perdieron todo. El granizo dejó al menos nueve lesionados y cobró la vida de un niño de apenas un año y medio de edad, esto luego que la barda de su vivienda se colapsara.

Acciones de protección civil ante granizadas

Debido a los efectos de las tormentas de granizo, es conveniente que la población aprenda a protegerse de estos fenómenos:

¿Qué hacer antes de una granizada?

- Asegurar los objetos del exterior de la vivienda que puedan desprenderse o causar daños, debido a los fuertes vientos que pueden acompañar a la tormenta de granizo.
- Cerrar las ventanas y correr las cortinas.
- Reforzar las puertas exteriores.
- Quitar las ramas o árboles muertos que puedan causar daño durante una tormenta.
- Estar atentos a los avisos de tormentas severas que emite el Servicio Meteorológico cada 6 horas (smn.conagua.gob.mx).



¿Qué hacer durante una granizada?

Como se mencionó anteriormente, la magnitud de los daños que puede provocar la precipitación en forma de granizo depende de su cantidad y tamaño. Cuando el tamaño del granizo es muy grande o la granizada es muy copiosa y viene acompañada de un gran flujo de agua, puede provocar lesiones o poner en riesgo la vida de las personas. En tal caso, se recomienda:

Si la tormenta de granizo deposita espesores mayores a los 30 cm de granizo y/o existe escurrimiento:

1) En un edificio o casa:

- Permanecer adentro y de preferencia en la planta superior del inmueble.
- Manténgase alejado de tragaluces y ventanas, especialmente aquéllas golpeadas por el granizo.
- Si su vivienda tiene techo de lámina de cartón o asbesto, protéjase debajo de una mesa o dentro de un ropero. El granizo puede perforar el techo de lámina de cartón y golpear a las personas, también puede quebrar la lámina de asbesto, cuyos pedazos pueden provocar lesiones. El granizo grande puede perforar los techos de lámina de zinc y lámina de plástico.
- Por ningún motivo salga. El granizo grande puede causar graves lesiones, e incluso la muerte.



2) En el exterior:

- Si es sorprendido por una granizada, busque refugio inmediatamente. Si no puede encontrar protección para su cuerpo entero, al menos se debe de buscar algo para proteger su cabeza.



- Alejarse de las áreas donde la granizada es muy copiosa.
- Buscar un refugio para protegerse de la granizada y de las descargas eléctricas.
- Alejarse de las alcantarillas y de las zonas bajas para evitar ser arrastrado por el agua o por el gran volumen de granizo.
- Queda prohibido refugiarse bajo los árboles, debido a que se pueden desprender algunas ramas. Además, los árboles altos y aislados son uno de los principales atrayentes de descargas eléctricas.



3) En el automóvil:

- Evitar conducir en áreas con volúmenes grandes de granizo precipitado. El automóvil podría derrapar y ser arrastrado.
- Cerrar todas las ventanas y permanecer dentro del vehículo con el motor apagado. Es muy peligroso tratar de salir cuando hay flujo de agua acompañado de un gran volumen de granizo, porque puede ser arrastrado.



- Alejarse de las ventanas del automóvil. Cubrirse los ojos y en la medida de lo posible, permanecer boca abajo en el piso o inclinarse en el asiento dando la espalda a la ventana.
- Si se queda varado en un congestionamiento vehicular, apagar el automóvil y si lo debe de mantener encendido, abrir un poco las ventanas para que circule el aire, ya que ha habido casos en que han muerto personas al quedarse dormidas dentro de su vehículo por inhalar monóxido de carbono por un largo periodo.



Si el granizo en la tormenta tiene un diámetro mayor a 2 cm (tamaño de una uva):

- Dejar de conducir. Buscar si existe un lugar seguro cercano para estacionarse debajo de algún techo (por ejemplo, dentro de un garaje o estación de servicio con toldo) tan pronto como pueda. Asegúrese de quedar completamente fuera de la carretera. No deje el abrigo momentáneo de los puentes vehiculares o pasos a desnivel.
- No abandonar el vehículo hasta que deje de granizar. Su auto puede proporcionarle una protección razonable.
- Colocar a los niños debajo de un adulto y cubrir sus ojos.





¿Qué hacer después de una granizada?

Como en caso de la nieve, el peso del granizo sobre los techos de las casas puede provocar daños a techos endebles, por lo que se recomienda quitar el granizo de los techos de las casas. En el caso que esto no sea posible se debe evacuar la vivienda y dirigirse al refugio temporal más cercano establecido por las unidades de protección civil, además de atender todas las recomendaciones que se indican en el fascículo de Heladas, editado por el CENAPRED para salir al exterior de su vivienda.

Tornados

Un tornado es la perturbación atmosférica más violenta en forma de *vórtice,* el cual aparece en la base de una nube de tipo *cumuliforme,* resultado de una gran inestabilidad, provocada por un fuerte descenso de la presión en el centro del fenómeno y fuertes vientos que circulan en forma ciclónica alrededor de éste. De acuerdo con el Servicio Meteorológico de los EUA (NWS, 1992), los tornados se forman cuando chocan masas de aire con diferentes características físicas de densidad, temperatura, humedad y velocidad, figura 21.



Figura 21 Tornado en Estados Unidos. (Fuente: Archivos, metatube.com)

Cuando se observa un tornado se puede distinguir una nube de color blanco o gris claro, mientras que el vórtice se encuentra suspendido de ésta; cuando el vórtice hace contacto con la tierra se presenta una nube de un color gris oscuro o negro debido al polvo y escombros que son succionados del suelo por la violencia del remolino.

Estos vórtices llamados también chimeneas o mangas, generalmente rotan en sentido contrario a las manecillas del reloj en el hemisferio norte y al contrario en el hemisferio sur. En algunas ocasiones se presentan como un cilindro, con dimensiones que pueden ser desde decenas de metros hasta un kilómetro; el diámetro puede variar ligeramente entre la base de la nube y la superficie del suelo.

Algunos tornados están constituidos por un solo vórtice, mientras que otros forman un sistema de varios de ellos que se mueven en órbita alrededor del centro de la circulación más grande del tornado. Estos vórtices se pueden formar y desaparecer en segundos, figura 22a y 22b.

22a)



22b)



Figura 22 a y b Tornado con múltiples vórtices en los llanos de Apan, Hidalgo, México. 1 de abril de 2002

En la tabla 6, se presentan las diferencias que existen entre un tornado, un huracán y un remolino, con el fin de dejar claro que son fenómenos distintos. Dentro de un huracán se pueden registrar tornados, pero no viceversa, con lo cual se marca la primera gran diferencia; un huracán tiene una mayor escala de desarrollo y un tornado es de carácter local (la rapidez con la que ocurre lo hace más peligroso). Es importante señalar que el remolino no se deriva de una tormenta severa.



Tabla 6 Diferencias entre tornado, huracán y remolino

	Tornado	Huracán	Remolino
Origen	Se origina sobre la superficie de la tierra o en un cuerpo de agua. Se desarrolla por una inestabilidad atmosférica.	Se forman sobre los océanos cuando la temperatura de la superficie del agua es superior a 27 °C.	Se desarrollan sobre la superficie de la tierra, cuando dos corrientes superficiales de aire chocan (derivado de las altas temperaturas lo que origina el almacenamiento de grandes cantidades de energía).
Latitud	Se forman entre 15° y 50° Norte y Sur.	Se forman por lo común entre 5° y 15° en ambos hemisferios.	Se forman sobre tierra a cualquier latitud.
Velocidad del viento (km/h)	La velocidad del viento varía entre 60 y 420 km/h, en algunos casos excede los 500 km/h.	La velocidad del viento varía de 120 y 240 km/h y en ciertas ocasiones, sobrepasa los 250 km/h.	La velocidad del viento no excede de 20 km/h
Diámetro	El promedio es de 250 metros, oscilando entre los 100 metros y 1 km.	Puede variar de 500 a 1,800 km.	Es muy variable, puede ser de 1 a 100 metros.
Ciclo de vida	Los tornados tienen una duración que va desde unos minutos a algunas horas en casos muy excepcionales	Los huracanes duran desde unos pocos días a algunas semanas.	Los remolinos se manifiestan en periodos cortos de duración de segundos a minutos.
Asociados a otros fenómenos	Se producen en conexión con líneas de inestabilidad, frentes o nubes de tormentas. Los puede originar un huracán	No están asociados a ningún frente.	No están asociados a ningún frente o nube de tormenta

Clasificación de los tornados

Los tornados según su origen se pueden clasificar en:

Tornados Superceldas

Estos tornados tienen su origen en una tormenta severa de larga duración cuyo viento se encuentra en rotación, conocida como *mesociclón o supercelda*. Se forma cuando una columna de nube *cumulunimbus* genera corrientes ascendentes dentro de ella misma, puede llegar a extenderse hasta algunos kilómetros de diámetro, lo que origina un tipo de tormenta convectiva con ciertas condiciones que pueden generar fuertes vientos, grandes granizadas y tornados violentos que puede devastar sobre una larga trayectoria (para mayor explicación ver el apartado Génesis de las Tormentas Severas).

En la figura 23 se observa que las fuertes corrientes ascendentes dentro de la supercelda atraen las corrientes de aire del entorno, de manera que la rotación se va concentrando e incrementando. A medida que la rotación incrementa su velocidad, las corrientes se convierten en una columna estrecha y giratoria.

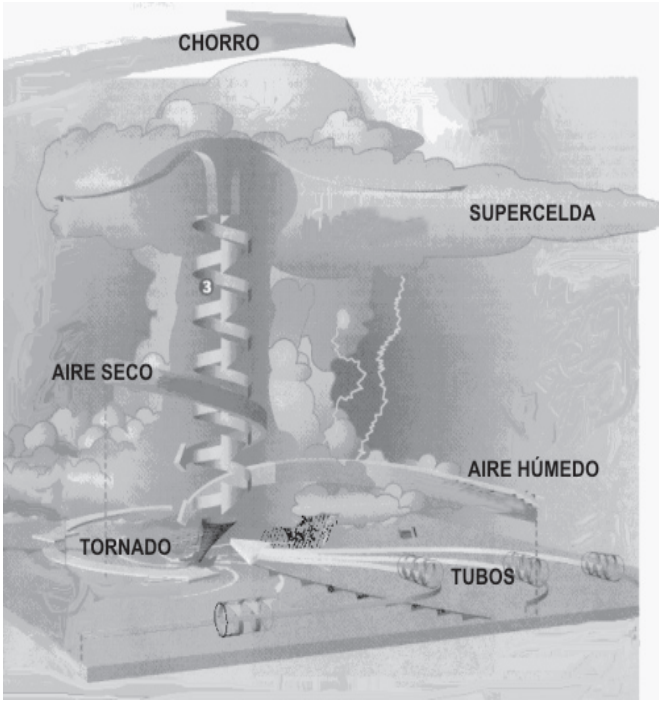


Figura 23 Formación de un tornado



Tornados no-superceldas

Los tornados no-superceldas suelen ser de menor magnitud a diferencia de los tornados superceldas. El meteorólogo Bluestein de la Universidad de Oklahoma, utilizó por primera vez el término *Landspout* para identificar un tipo distinto de tornados. Este tipo de tornados se forma cuando una nube *cumulus congestus*, en rápida formación, atrae el aire que circula lentamente y de manera giratoria en los niveles inferiores de la superficie de la tierra.

En la figura 24 se muestra un tornado no-supercelda o *Landspout* en San José Notario, municipio de Huamantla, en el estado de Tlaxcala, el 29 de mayo de 2007.



Figura 24 Landspout en San José Notario, Huamantla, Tlaxcala

Los tornados no-supercelda que ocurren en el mar o en otro cuerpo de agua reciben el nombre de tromba o *waterspout* (Smith R, 1996). Es importante aclarar que una tromba es un tornado que se forma o transita sobre un cuerpo de agua, como un río, un lago o el mar. Está íntimamente relacionada con una nube *cumulunimbus*, como subproducto de una tormenta eléctrica severa de carácter local. Suelen ser peligrosos ya que representan una amenaza para los barcos, aviones o cualquier ser vivo; algunos meteorólogos, como Llaugé (1971) sugieren que éstos se forman en un montículo líquido de casi un metro de alto debido a que la presión en el agua es mayor que la existente en el aire del vórtice, lo que obliga a que la superficie del agua se eleve figura 25.



Figura 25 Tromba o Waterspout en la zona petrolera del activo Cantarell, Campeche. 06-09-07

Daños que causan los tornados

Los tornados pueden ser locales, pero la rapidez con que se desarrollan los hacen muy peligrosos para la gente. Los daños que ocasionan son diversos, entre los que destacan: pérdidas económicas a la agricultura, a las viviendas, a la infraestructura urbana, lesiones, cortaduras e incluso, pérdidas humanas.

Los daños de los tornados son el resultado de la combinación de varios factores:

- La fuerza del viento provoca que las ventanas se abran, se rompan cristales, haya árboles arrancados de raíz y que automóviles, camiones y trenes sean lanzados por los aires.
- Los impactos violentos de los desechos que porta y que son lanzados contra vehículos, edificios y otras construcciones, etc.
- La baja presión del interior del tornado, provoca la falla de algunos elementos estructurales y no estructurales sobre las que se posa, como las ventanas.

Existen varias escalas para medir la intensidad de un tornado, pero la aceptada universalmente es la Escala de Fujita (también llamada Fujita-Pearson Tornado Intensity Scale), elaborada por Tetsuya Fujita y Allan Pearson de la Universidad de Chicago en 1971. Esta escala se basa en la destrucción ocasionada a las estructuras realizadas por el hombre y no al tamaño, diámetro o velocidad del tornado. Por lo tanto, no se puede calcular su intensidad a partir de la observación directa; se deben evaluar los daños causados por el meteoro. Hay seis grados (del 0 al 5) y se antepone una F en honor del autor.

A diferencia de los Estados Unidos de América, en México no existe sistema alguno que permita alertar la presencia de este fenómeno hidrometeorológico; sin embargo, ya comienza a haber instrumentación capaz de detectar superceldas y, tal vez, tornados, como es el caso del radar Doppler "Mozotal", recientemente instalado en el estado de Chiapas, operado por el Servicio Meteorológico Nacional, y cuya imagen puede ser consultada en la página de internet de esta institución.

Tabla 7 Escala de Fujita para tornados, basada en los daños causados (1971)

Número en la escala	Denominación de Intensidad	Velocidad del viento km/h	Tipo de daños
F0	Vendaval	60-100	Daños en chimeneas, rotura de ramas, árboles pequeños rotos, daños en señales y rótulos.
F1	Tornado moderado	100-180	Desprendimiento de algunos tejados, mueve coches y camper, arranca algunos árboles pequeños.
F2	Tornado importante	180-250	Daños considerables. Arranca tejados y grandes árboles de raíz, casas débiles destruidas, así como objetos ligeros que son lanzados a gran velocidad.
F3	Tornado severo	250-320	Daños en construcciones sólidas, trenes afectados, la mayoría de los árboles son arrancados.
F4	Tornado devastador	320-420	Estructuras sólidas seriamente dañadas, estructuras con cimientos débiles arrancadas y arrastradas, coches y objetos pesados arrastrados.
F5	Tornado increíble	420-550	Edificios grandes seriamente afectados o colapsados, coches lanzados a distancias superiores a los 100 metros, estructuras de aceros sufren dañados.

Fuente: http://www.spc.noaa.gov/faq/tornado/f-scale.html

Distribución de los tornados en México

En nuestro país se presentan las condiciones meteorológicas necesarias para la formación de los tornados supercel-das y no-superceldas (Macías, 2001). En algunos lugares se presentan estacionalmente y en otros esporádicamente.

En la actualidad, los registros que se han logrado recabar para conocer la frecuencia e intensidad de estos fenóme-nos, además de su localización geográfica, son pocos, re-mitiéndose exclusivamente a una recopilación de informa-ción existente entre testimonios históricos en la época de 958-1822, siglo XIX-XX, notas periodísticas 2000-2007 e información popular obtenida en trabajo de campo, la cual se muestra en la figura 27 (Avendaño, 2006). Esta distribución de tornados debe de tomarse con las reservas necesarias, ya que no hay una validación en cada uno de los eventos registrados.

Como se puede observar, la presencia del fenómeno se percibe entre los meses de febrero a octubre, siendo abril, junio y agosto los meses con mayor actividad. Es necesario mencionar que la falta de estudios y estadísticas sobre el tema no garantiza que el comportamiento mostrado en la gráfica sea confiable, ya que el fenómeno no guarda un pa-trón de comportamiento definido, aunque sí está asociado con la temporada de lluvias.

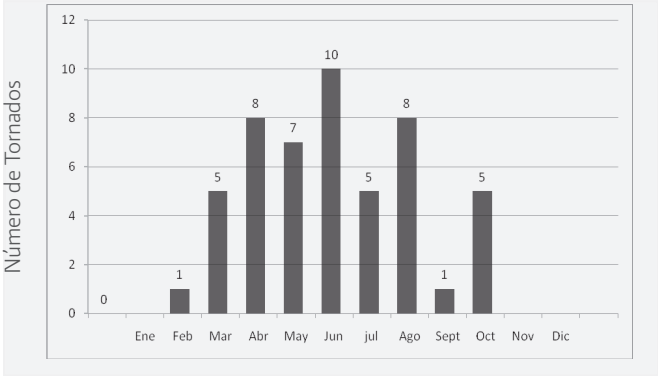


Fig. 26 Ocurrencia de tornados en México periodo de 2000-2007 (Avendaño, 2007)

Los tornados se presentan en cualquier época del año y se pueden originar a cualquier hora, aunque la National Geo-graphic Society (abril, 2004) reporta una hora determinada a las 18:00 h, sin embargo, hay cierta temporada donde ocurren con mayor frecuencia. Por otra parte, Avendaño (2007) construyó el gráfico de la presencia de los tornados en nuestro país y su ocurrencia por mes figura 26.

A la mayoría de los tornados que se presentan en México se les conoce como tornado débil o tornado no-supercelda, también denominado en inglés *Landspout*.



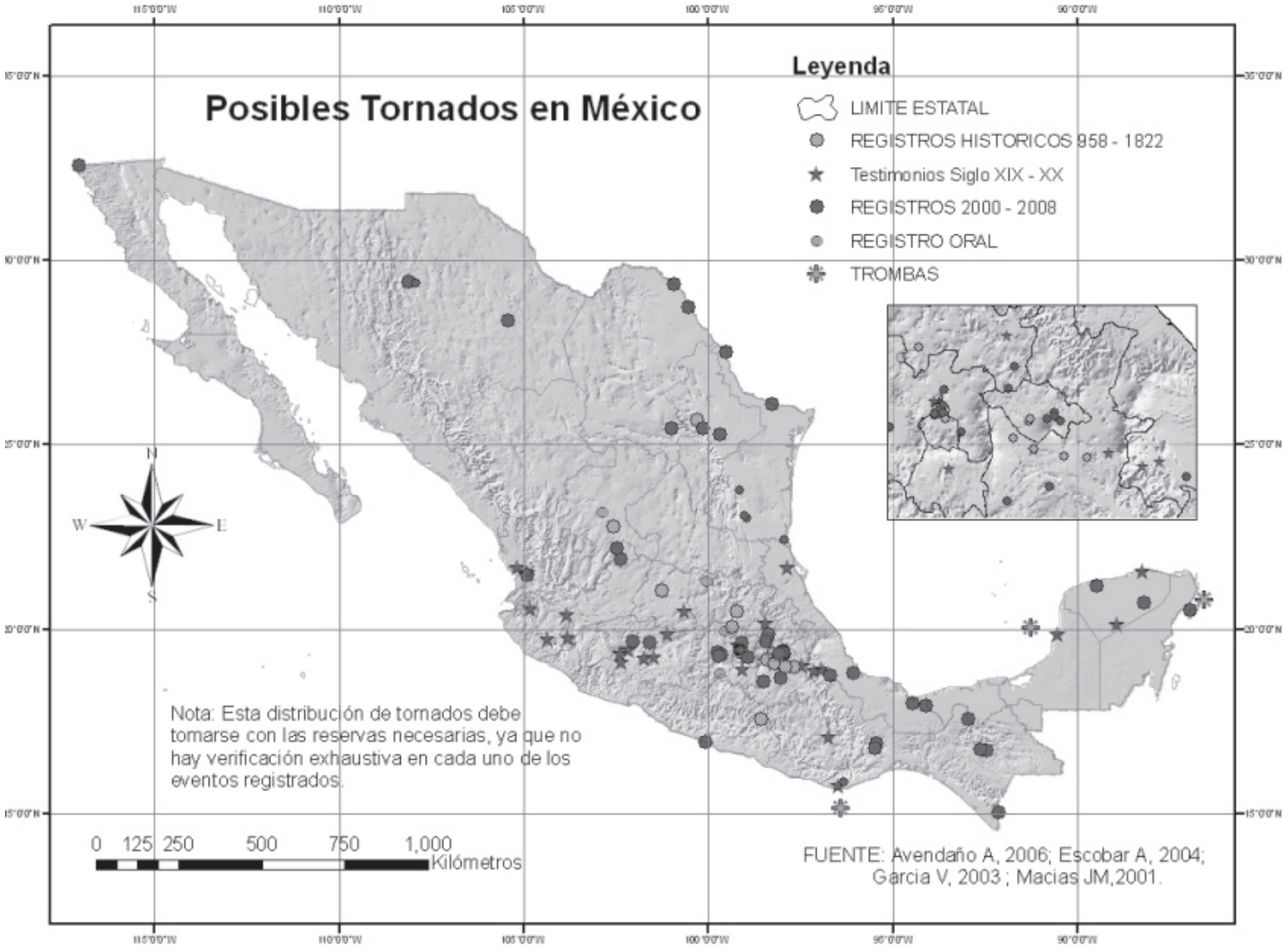


Figura 27 Ocurrencia de tornados en México con base en reportes periodísticos e investigación de campo

En el campo son bien conocidos los tornados por los campesinos. Históricamente en las regiones rurales la gente los ha enfrentado de diversas maneras, según sus creencias y tradiciones. En México se puede encontrar una innumerable cantidad de nombres que aluden al fenómeno tornádico: *culebras o víboras de agua o granizo y de aire, colas de nube o colas, dragón, serpiente, cutzanda, manga de agua o manga, tromba, etc.*

En la figura 28 se muestran algunas fotografías de tornados que se han presentado en la República Mexicana: a) Tornado en Tzitzuntzan, Michoacán. Según las personas el suceso se dio alrededor de las 16:30 p.m. del sábado 26 de agosto de 2000. b) El tornado de Huitzilzingo, Chalco, Estado de México, sábado 10 de febrero de 2007. c) Tornado en los llanos de Apan Hidalgo, México, 1 de abril de 2002. d) Waterspout o tromba en la zona petrolera del activo Cantarell, ciudad del Carmen, Campeche, 6 de septiembre de 2007. e) El tornado de San José Notario, Huamantla, Tlaxcala, 29 de mayo de 2007.



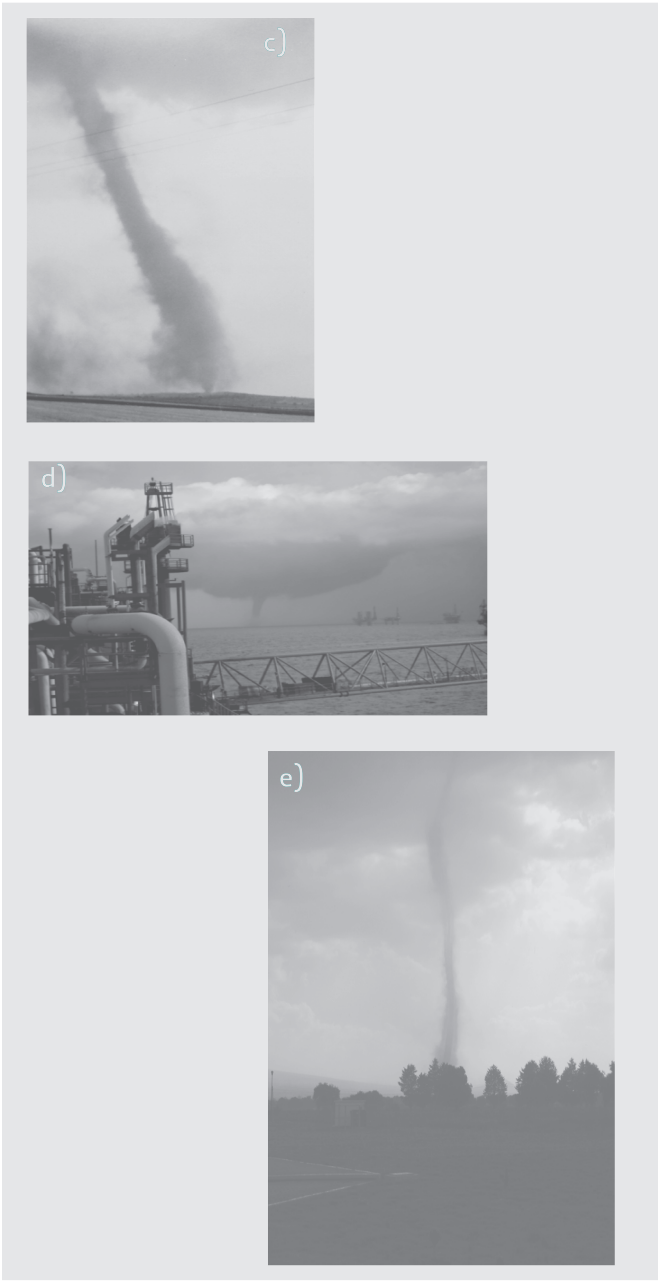


Figura 28 Testimonio fotográfico de tornados en la República Mexicana

Tabla 8 Algunos tornados en México 2000-2007
Fuente: Reportes periodísticos

Fecha	Lugar de afectación	Comentarios
Abril 10 de 2000	Nativitas Coatlán, Guigovelaga y Lachiguiri, Sierra Mixe Zapoteca, Oaxaca	Aplica el DN-III. Daña una tromba cien viviendas en tres poblaciones de Oaxaca. Arrancó docenas de árboles y destruyó los techos de unas cien viviendas en diez minutos. Debido a la fuerza del meteoro, las tres localidades carecieron del servicio de energía eléctrica.
Mayo 18 de 2001	Cacahoatán, Chiapas	Vientos y lluvias arrasaron con 20 casas, la primaria y la iglesia del ejido Santa Lucía, Cacahoatán.
Junio 16 de 2001	Teapan, Sierra de Tabasco	Un tornado acaba con plantíos de plátano y papaya en Tabasco, se perdieron 25 hectáreas de estos cultivos.
Julio 30 de 2002	Los Mogotes, Coyuca de Benítez, Guerrero	Un tornado derribó techos y árboles en Guerrero. Dejó a un turista lesionado, 11 viviendas sin techo, 30 árboles derribados, una barda de 300 metros derrumbada y ocho automóviles con daños en los parabrisas y láminas.
Abril 6 de 2003	Reynosa, Tamaulipas	Tornado inunda vecindarios en la ciudad fronteriza de México. Varias calles quedaron bloqueadas por árboles y cables eléctricos caídos. También quedaron dañados carteles publicitarios, barandales de metal, señales de tránsito y varias viviendas de madera en zonas pobres de la ciudad.
Junio 15 de 2004	San Antonio del Río, Municipio de San José Gracia Aguascalientes.	Se observó la formación de extrañas nubes en forma de embudo y dejaron consecuencias en San José de Gracia. Se formó tornado de categoría mínima, que entre la gente del campo es mejor conocido como *culebra*.
Marzo 2 de 2005	Huamantla, Tlaxcala	Tornado daña casas y derriban árboles y postes. El viento arrancó los techos de lámina y dañó la estructura de la tienda del ISSSTE.
Mayo 27 de 2005	Santiago, Nuevo León	Tromba arrastra árboles y techos de láminas en el Barrial ante sorpresa de lugareños. Los techos de sus casas volaron por los aires. Azoteas de las caballerizas de la Asociación de Charros Cañón del Huánuco, A.C., prácticamente algunas desaparecieron una gran cantidad de árboles fueron arrancados por los fuertes vientos, en el camino de los fresnos.
Octubre de 2005	Madera, Chihuahua	Tornado derriba miles de árboles en Madera, Chihuahua. Miles de árboles derribados y daños en al menos 50 hectáreas.
Abril 16 de 2006	Cacalomacán, Toluca, Estado de México	Fuertes vientos provocaron el colapso de varias bardas de las mansiones que se localizan en el sitio conocido como "La Macaria". Asimismo los vientos arrancaron algunos árboles e incluso un poste de teléfono ubicado en la calle de Miguel Hidalgo de esta zona.
Agosto 6 de 2006	Puebla, Puebla	Tornado arrasa viviendas en la zona sur de Puebla. Fueron dañadas al menos unas 30 casas
Junio 7 de 2007	Las Choapas, Veracruz	Tromba y granizo, afecta a 120 casas. Otras 40 viviendas fueron dañadas en el municipio de Las Choapas…durante su trayectoria destechó viviendas, derribó postes de telefonía y energía eléctrica y arrancó árboles de raíz.
Agosto de 2007	Apan, Hidalgo	Víbora de agua arrasó con 25 árboles en Apan. Ocasionó el desprendimiento de al menos 25 árboles pequeños y la techumbre de un corral, así como inundaciones en los campos de cultivo de la comunidad de Cocinilla.
Agosto 27 de 2007	San Cristóbal de las Casa, Chiapas	Lluvias y tornado causan daños a casas en Chiapas. En San Cristóbal de las Casas, en la región de los Altos, un tornado derribó la tarde de ayer cables de energía eléctrica y algunos árboles, y levantó techos de láminas, estructuras metálicas y tejas de varias casas.

Un caso especial: El tornado de Piedras Negras, Coahuila

El tornado con mayores daños, tanto económicos como de vidas humanas en México, es el ocurrido en la ciudad de Piedras Negras, Coahuila, el 24 de abril de 2007.

El Servicio Meteorológico Nacional, a través de una nota informativa especial, dio a conocer la descripción meteorológica del fenómeno:

"El análisis de las imágenes de satélite, del radar meteorológico de Laughlin, Texas, de EUA e información terrestre, indican que el martes 24 de abril de 2007, entre las 18:45 y 18:51 hora del centro, se presentó un violento tornado en el municipio de Piedras Negras, Coahuila, debido a la interacción del frente frío no. 53 y una zona de inestabilidad (conocida también como línea seca), lo cual generó el tornado con presencia de lluvias con actividad eléctrica, tormentas de granizo y vientos intensos. Considerando la escala de Fujita, utilizada por el Centro de Predicción de Tormentas Severas de EUA, el tornado alcanzó la categoría F2, con vientos entre los 180 y los 250 km/h, de acuerdo con los reportes de los daños."



Cabe indicar que la situación registrada en el norte de Coahuila es característica de la época del año y no derivada de efectos del cambio climático o calentamiento global. Normalmente la temporada más intensa de tornados y tormentas severas comprende los meses de abril, mayo y junio.

En la siguiente página la figura 29 muestra la imagen del radar de Laughlin, Texas, a las 23:47 UTC (18:47 hora local) del 24 de abril de 2007, en la cual se detectó al tornado sobre Piedras Negras, Coahuila; se observa perfectamente la forma de gancho, característica de la tormenta mesociclónica con ecos de reflectividad máxima entre 45 y 60 decibeles de Z (dBZ). Probablemente se haya tratado de un tornado supercelda.

El Centro Nacional de Prevención de Desastres y el Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS) corroboraron en campo los daños causados por el tornado del 24 de abril del 2007, el cual desarrolló una devastadora trayectoria con poco más de un kilómetro de diámetro a través del área de Villa de Fuentes, en el contexto urbano de Piedras Negras, Coahuila y avanzó poco más de 22 kilómetros para alcanzar la zona residencial de Rosita Valley en Eagle Pass, Texas.

De acuerdo con la información otorgada por la Unidad de Protección Civil del estado de Cohauila se reportaron 84 personas lesionadas (cortaduras en los brazos, pies, piernas y lesiones en la cabeza) 18 de éstas con lesiones severas, que fueron atendidads por las diversas instituciones del Sector Salud, asimismo se registró de manera oficial el fallecimiento de tres personas.

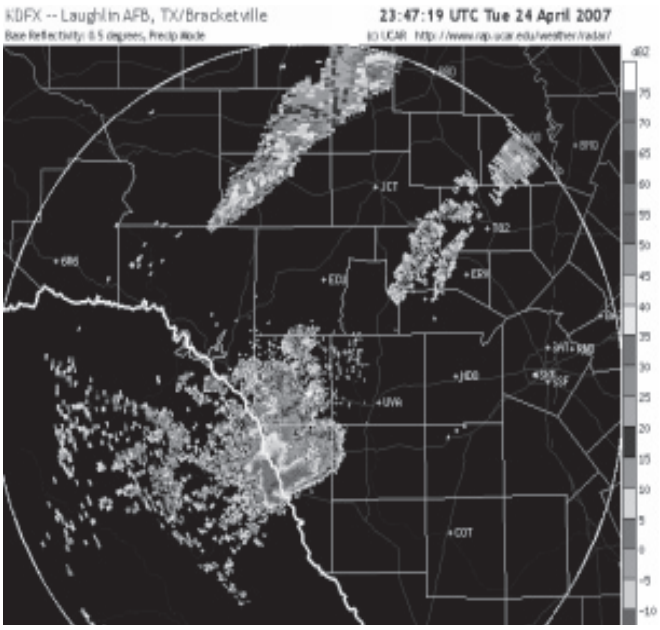


Figura 29 Imagen del radar de Laughlin,,
TX a las 23:47 UTC (18:47 hora local) del 24 de abril de 2007





Figura 30 Daños en el Fraccionamiento Villa de Fuentes, Piedras Negras, Coahuila, 24 de abril de 2007
(Fuente: Cortesía Unidad de Protección Civil del Edo. de Coahuila)

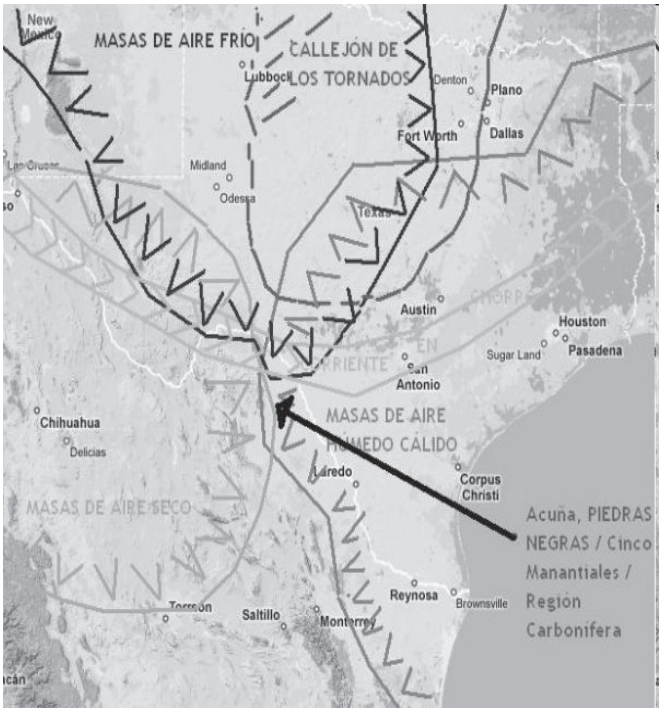


Figura 31 www.elnorestense.com/2009/04/24/a-2-anos-del-tornado/

Recomendaciones elementales de protección civil ante tornados

Dado que los tornados son fenómenos naturales que se presentan en el país, es necesario estar preparados para responder adecuadamente ante su ocurrencia. Los vientos y los objetos levantados por las ráfagas representan el mayor peligro durante un tornado, éstos pueden sorprender a la población en cualquier lugar llámese oficina, vivienda, escuela, en la calle, en el campo, etc. Si bien se carece de un lugar totalmente seguro, se pueden utilizar lugares que brinden protección a la población para evitar lesiones.

A continuación se enumeran recomendaciones para mitigar el riesgo de afectaciones por un tornado.

¿Qué hacer antes de un tornado?

- Conocer si la zona donde habita es susceptible a la ocurrencia de tornados, informarse en la Unidad de Protección Civil.
- Tener un directorio telefónico de emergencia actualizado (bomberos, protección civil, policías, etc.).
- Identificar el lugar más seguro de la vivienda con la asesoría de un especialista o ingeniero.
- Si logra observar el evento, informar a las autoridades de Protección Civil de su localidad para que de aviso a la población y se pueda realizar su seguimiento con las autoridades e instituciones competentes.

Cuando una tormenta se aproxima, el ambiente se oscurece repentinamente, hay un descenso en la temperatura y escuchas un zumbido similar al de un enjambre de abejas, debes tomar las siguientes precauciones:

¿Qué hacer durante un tornado?

- No salir de la vivienda.
- Alejarse de las ventanas, si la vivienda es de mampostería con losa de concreto, buscar un lugar seguro como el baño, que carece de ventanas o tiene sólo ventilas (no letrinas).
- Es conveniente permanecer en el piso (adoptar una posición de cuclillas), buscar protección bajo muebles sólidos, podría ser debajo de una mesa resistente o colocarse bajo el marco de alguna puerta que pueda brindar seguridad, o abajo de las escaleras (de concreto).
- Cubrirse con una toalla, almohada, cobija o colocarse los brazos en la cabeza.
- Si está en la recámara, cubrirse con un colchón.
- Colocarse en las esquinas de las casas, permaneciendo siempre alejado de las ventanas.
- Proteger a la familia abrazándose entre todos y no soltar a los niños, ya que al volarse los techos pueden ser succionados por el tornado.



- Las edificaciones como auditorios, gimnasios, albercas, aulas, tiendas de autoservicio, cafeterías, etc., pueden ser peligrosas porque la estructura del techo está apoyada únicamente por las paredes laterales. Resguárdese en un pasillo donde no haya ventanas, en el baño o debajo de un mostrador o escritorio.
- Si está al aire libre busque una zanja e introdúzcase en ella.



¿Qué hacer después de un tornado?

- En cuanto haya pasado el peligro, procure serenarse, trate de guardar la calma para no asustar a los niños.
- Verificar que la familia se encuentre en buen estado de salud, tratar de ayudar a sus vecinos y reportar el suceso.
- No salir corriendo porque se puede lastimar con los escombros.
- Desconectar los servicios de electricidad, agua y gas, ya que pueden generar descargas eléctricas y posibles electrocuciones.

Nota: Si durante los próximos días la ansiedad interfiere en el desempeño normal de las actividades de cualquier miembro de la familia, busque ayuda profesional de un psicólogo, médico general, etc.



Glosario

ACCAS - (pronunciado normalmente ACK-kis en inglés) AltoCumulus CAStellanus; nubes de niveles medios (con bases a una altura generalmente entre 2.4 y 4.5 kilómetros), de los cuales al menos una fracción de su parte más alta muestra un desarrollo cumuliforme. Estas nubes a menudo son más altas que anchas, presentando un aspecto en forma de torrecillas. Nubes ACCAS son un signo de inestabilidad en altura y puede preceder al rápido desarrollo de tormentas.

Centella. Lo mismo que rayo. Se usa vulgarmente referido al de poca intensidad.

Centellón. Aumentativo de centella, en el sentido del rayo.

Cuña. Es un sistema en la cual la presión aumenta de la periferia hacia el centro, generalmente provoca buen tiempo y descenso de la temperatura.

Convección - En general, transporte de calor y humedad por el movimiento de un fluido. En Meteorología el término se usa específicamente para describir el transporte vertical de calor y humedad, especialmente por corrientes ascendentes y descendentes en una atmósfera inestable. Los términos convección y "tormentas" a menudo se usan indistintamente, aunque las tormentas sólo son una forma de convección. La nubes *cumulus* y *cumulunimbus* y las ACCAS, son formas visibles de convección. De cualquier modo, la convección no siempre es visible en forma de nubes. La convección que ocurre sin la formación de nubes se llama convección seca, mientras que los procesos de convección visible arriba referidos son formas de convección húmeda.

Convergencia - Opuesto de divergencia. La convergencia en un campo horizontal de viento indica que está entrando más aire del que sale, a ese nivel. Para compensar el "exceso" resultante, puede aparecer movimiento vertical: forzamiento ascendente si la convergencia es a bajos niveles, o forzamiento descendente (subsidencia) si la convergencia tiene lugar en niveles altos. El forzamiento ascendente inducido por una convergencia a bajos niveles incrementa la probabilidad de desarrollo de tormentas (cuando otros factores tales como la inestabilidad son favorables).

Efecto de Coriolis. Efecto debido al movimiento rotacional de la tierra, que se manifiesta en todo cuerpo en movimiento, de tal forma que lo desvía de su trayectoria recta. En el hemisferio norte la desviación ocurre hacia la derecha de la dirección del cuerpo y mientras que en el hemisferio sur la desviación es hacia la izquierda.

Frente. Frontera o zona de transición entre dos masas de aire de diferente densidad, y por eso (usualmente) de diferente temperatura. Un frente en movimiento se denomina de acuerdo con la masa de aire de avance, por ejemplo, frente frío si avanza aire más frío.

Frente frío. Ocurre cuando un descenso de temperatura y una masa de aire frío desplaza a una masa de aire caliente, pudiendo generar a su paso un evento de norte, tiempo severo (llovizna, chubascos y en ocasiones cortas tormentas de nieve).

Línea de chubasco. Sistemas nubosos organizados que se extienden por cientos de kilómetros y que son acompañadas por ráfagas de vientos.

Manga. Embudo de condensación que se extiende desde la base de una nube *cumulunimbus*, asociado con una columna de aire rotatoria que no está en contacto con el suelo (y por tanto diferente de un tornado). Un embudo de condensación se convierte en un tornado, cuando el embudo: a) está en contacto con el suelo; b) si debajo se ve una nube de escombros o un remolino de polvo.

Mesoescala. Un fenómeno de mesoescala es aquél que tiene una duración entre 1 y 12 horas o una extensión horizontal entre 1 y 100 km o una altura entre 1 y 10 km. Ejemplo de estos fenómenos son las tormentas convectivas, tornados, brisa de mar, etc.

Mesociclón. Región de rotación aproximadamente de 2 a 10 km de diámetro y a menudo encontrado en el flanco trasero derecho de una supercelda. La circulación de un mesociclón cubre un área mucho mayor que el tornado que puede desarrollar dentro de él.

Nube.- Aglomeración de gotitas de agua en estado líquido, sobreenfriada o congelada suspendidas en el aire. La Organización Meteorológica Mundial ha definido 10 géneros de nubes, cada uno de los cuales tienen forma distinta y puede ser asociado a diferentes hidrometeoros o fotometeoros

Relámpago. Es una manifestación luminosa de una descarga eléctrica brusca que tiene lugar desde o en el interior de una nube, y raramente desde edificios altos o montañas.

Género	Símbolo	Características
Nubes Altas		
Cirros	Ci	Nubes de aspecto filamentoso, no provocan precipitación.
Cirrocumulos	Cc	Nubes de aspecto de glóbulos, no provocan precipitación.
Cirrostratos	Cs	Nubes con aspecto de velo, provocan el halo solar y lunar.
Nubes Medias		
Altocumulos	Ac	Con forma de glóbulos, que no dan precipitación.
Altoestratos	As	Forman un manto que opaca al sol, no produce lluvias, provocan la corona solar y lunar.
Nimbostratos	Ns	Capa nubosa gris de tipo estable que oculta al sol y provoca las precipitaciones de tipo continuas e intermitente.
Nubes Bajas		
Estratocumulos	Sc	Bancos de nubes cumuliformes que producen lluvias ligeras continuas y lloviznas.
Estratos	St	Manto de nubes grises que pueden provocar lloviznas al espesarse mucho.
Cúmulos	Cu	Nube aislada y densa, que se desarrolla verticalmente con protuberancias, no producen lluvias.
Nubes de Desarrollo Vertical		
Cumulonimbos	Cb	Nube densa y potente, de considerable desarrollo vertical que produce chubascos y tormentas eléctricas.

Radar Doppler. Radar meteorológico que mide la dirección y la velocidad de un objeto en movimiento, por ejemplo, una gota de lluvia, determinando si el movimiento atmosférico horizontal es en dirección hacia o fuera del radar. El efecto Doppler mide la velocidad de las partículas. Toma el nombre de J. Christian Doppler, un físico austríaco, quien en 1842 explicó porqué el pitido de un tren que se acerca tiene un sonido más agudo que cuando el tren se aleja.

Rayo. Descarga con relámpago que progresa de la nube al suelo, sigue una trayectoria sinuosa y presenta habitualmente ramificaciones orientadas hacia abajo que tiene su origen a partir de un canal señalado (relámpago ramificado). Se llama también descarga al suelo y descarga nube-suelo. Popularmente se llama centella y centellón.

Reflectividad. Al retorno parcial de las señales electromagnéticas que reciben los radares meteorológicos es conocida comúnmente como "reflectividad".

Tormenta. Producida por una nube *cumulonimbus*, es un evento de corta duración en la microescala caracterizada por truenos, relámpagos, ráfagas de viento, turbulencia, granizo, hielo, precipitación, corrientes moderadas y violentas hacia arriba y abajo y, en condiciones muy severas, tornados.

Tormenta eléctrica. Perturbación violenta de la atmósfera, ligada a los movimientos verticales del aire y acompañada de fenómenos mecánicos (viento y chubascos) y eléctricos (relámpagos y truenos).

Tormenta Multicelda. Tormenta formada por dos o más celdas, de las cuales la mayor parte o todas son a menudo visibles, en un tiempo dado, en forma de distintas cúpulas o torres en diferentes etapas de desarrollo. Casi todas las tormentas (incluyendo las superceldas) son multicelda, pero el término a menudo se usa para describir una tormenta que no corresponde con la definición de supercelda.

Preguntas frecuentes

¿Qué es una tormenta severa?

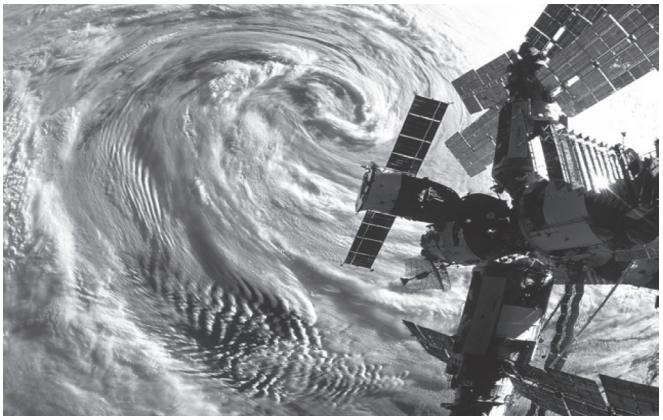
Una tormenta severa es aquella tormenta que es susceptible de producir daños materiales importantes y/o muertes. Generalmente, las tormentas severas vienen acompañadas de lluvias intensas y tienen vientos fuertes, pueden producir granizo, rayos y truenos, inundaciones repentinas e, incluso, tornados.

Diferencia entre rayo y relámpago

La chispa eléctrica que llega a la tierra se llama rayo, mientras que la chispa que va de la nube a otra, se conoce como relámpago. La aparición del rayo es breve y siempre va seguida por el trueno.

¿Cómo puedo conocer la distancia que existe entre la tormenta y una persona?

La regla más simple para conocer la distancia a la que se encuentra la tormenta, es contar los segundos que ocurren entre el momento que se observa la descarga eléctrica y el instante en que comienza a escucharse el trueno. La distancia será el resultado de multiplicar el número de segundos por 340 (velocidad, en m/s, del sonido en el aire) que estará expresada en metros. Por ejemplo, si entre la visión de un rayo o un relámpago y el trueno correspondiente transcurren 5 segundos, la tormenta está a 1,700 metros.



¿Qué es una nevada?

Una nevada es una tormenta de nieve, la cual es una forma de precipitación sólida en forma de copos. Un copo de nieve es la aglomeración de cristales transparentes de hielo que se forman cuando el vapor de agua se condensa a temperaturas inferiores a la de solidificación del agua.

¿Qué es una granizada?

Una granizada es una tormenta de granizo. El granizo es un tipo de precipitación en forma de piedras de hielo.

¿Qué es un tornado?

Un tornado es la perturbación atmosférica más violenta en forma de vórtice, el cual aparece en la base de una nube de tipo cumuliforme, resultado de una gran inestabilidad, provocada por un fuerte descenso de la presión en el centro del fenómeno y fuertes vientos que circulan en forma ciclónica alrededor de éste.

Bibliografía

Avendaño,A, "El conocimiento y reconocimiento de la existencia de los tornados en México". Tesis de Licenciatura en Geografía. UNAM. Facultad de Filosofía y Letras. Colegio de Geografía. México, 2006.

Avendaño, A. Tercer Coloquio Internacional del Noroeste Mexicano y Texas. "Multiculturalidad, Medio Ambiente, Conflictos y Convivencia, Viejos y Nuevos Problemas". La Tecnología y los tornados en México. El caso del tornado de Piedras Negras. Matamoros, Tamaulipas. 24-26 de Octubre, 2007.

Ahrens, D. "Meteorology Today. An Introduction to Weather Climate and the Environment", 6 ed, Brooks/Cole, pp.395-402, 2000.

Ascaso, A. y M. Casals. "Vocabulario de términos meteorológicos y de ciencias afines", Instituto Nacional de Meteorología, Madrid, España, pp.408, 1986.

Barry, R. and R. Chorley. "Atmósfera, tiempo y clima", 7 ed., Omega, Barcelona, España, pp.441, 1999.

Binimelis, G. " Red mundial de detección de descargas eléctricas de muy baja frecuencia". El faro. Boletín informativo de la Coordinación de la Investigación Científica, Ciudad Universitaria, 7 de febrero, año VII, No. 83, pp. 7, 2008.

CENAPRED "Base de datos de fenómenos hidrometeorológicos en México", Archivo interno, 2008.

Escobar, A. "Deastres agrícolas en México. Catálogo histórico", tomo II, Fondo de Cultura Económica, pp. 280, 2004.

Erickson, J. "Las tormentas de las antiguas creencias a la moderna meteorología". Serie MC GRAW-HILL de divulgaron. CIENCIAS. Madrid, 1991.

FEMA, "Thunderstorms", 2008.

García-Acosta, V., J.M. Pérez y A. Molina "Desastres agrícolas en México. Catálogo histórico", tomo I, Fondo de Cultura Económica, pp. 506, 2003.

García-Concepción, O., H. Ramírez, J. Alcalá, A. Meulenert y M. García, "Climatología de las tormentas eléctricas locales severas (TELS) en la zona metropolitana de Guadalajara". Investigaciones Geográficas. No. 33, pp. 7-16, 2007.

Hebbs, J. "Climate Hazards". Encyclopedia of World Climatology. Edited by John E. Oliver. Springer, London. pp.233-243, 2005.

Llaugé, F. "¿La meteorología? ¡Pero si es muy fácil!". Marcombo. Barcelona, 1971.

Jiménez, M. "Características e Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en la República Mexicana en el año 2007". No.9, CENAPRED, Dirección de Investigación, México, 2009

Martín, J., M. Grimalt y F. Mauri. "Guía de la atmósfera, previsión del tiempo a partir de la observación de las nubes". No. 6, El Medol, España, pp.145-147, 1996.

Mill, B., D. Unrau, C. Parkinson, B. Jones, J. Yessis, K. Spring and L. Pentelow. "Assessment of lightning-related fatality and injury risk in Canada". Natural Hazards, enero, pp. 1-25, 2008.

Macías, J.M y otros. "Reporte de Investigación. El tornado de Piedra Negras del 24 de abril de 2007". CIESAS. México, 2007.

National Geographic Society. "Tornados. La incógnita detrás de la destrucción". Abril, 2004.

National Weather Service. "Tornadoes: nature's most violent stroms". A preparedness guide (NOAA/PA92052). Washiton, D.C: Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, 1992.

NASA (2007): Noxious Lightning. Science Nasa. http://science.nasa.gov.

OMM (1993): Vocabulario Meteorológico. Organización Meteorológica Mundial.

Secretaría de Salud "Número de decesos por alcance de rayos en México durante 1985 al 2006". Sistema Nacional de Información de la Salud. Archivo interno, 2007.

Shearman, K. and C, Ojala "Some causes for lightning data inaccuracies: the case of Michigan". American Meteorology Society Bulletin, Vol. 80, (9), pp.1883-1891. 1999.

Smith R. Techical "Attachment. Non-Supercell Tornadoes: A review for forecasters". NWSFO Memphis. SR/SSD 96-8. 2-15-69.

UNAM "Mapa de tormentas eléctricas y precipitación máxima", hoja NA-IV-11. Nuevo Atlas Nacional de México. UNAM-Instituto de Geografía, 2007.

SERIE Fascículos

No.	Título
1	La Prevención de Desastres y la Protección Civil en México
2	Sismos
3	Inundaciones
4	Volcanes
5	Huracanes
6	Riesgos Químicos
7	Incendios
8	Erosión
9	Residuos Peligrosos
10	Incendios Forestales
11	Inestabilidad de Laderas
12	Tsunamis
13	Heladas
14	Sequías
15	Tormentas Severas

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 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Coyoacán,
Ciudad de México, C.P. 04360
www.gob.mx/cenapred