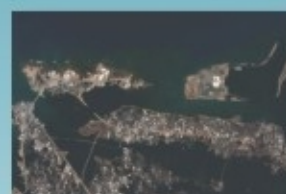


TSUNAMIS



SERIE
Fascículos



CENAPRED
CENTRO NACIONAL
DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN



SERIE Fascículos

SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN

Lic. Carlos María Abascal Carranza
Secretario de Gobernación

Lic. María del Carmen Segura Rangel
Coordinadora General de Protección Civil

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE
DESASTRES

M. en I. Roberto Quaas Weppen
Director General

Dirección de Investigación

Ing. Enrique Guevara Ortiz
Director de Instrumentación y Cómputo

Lic. Gloria Luz Ortiz Espejel
Directora de Capacitación

M. en I. Tomás A. Sánchez Pérez
Director de Difusión

Profra. Carmen Pimentel Amador
Directora de Servicios Técnicos

Dirección de Administración

2a. edición, agosto 2005

Secretaría de Gobernación
Abraham González No. 48,
Col. Juárez, Deleg. Cuauhtémoc,
C. P. 06699, México, D. F.

Centro Nacional de Prevención de Desastres
Av. Delfín Madrigal No. 665,
Col. Pedregal de Santo Domingo,
Deleg. Coyoacán, C. P. 04360, México, D. F.
Teléfonos:
(55) 54 24 61 00
(55) 56 06 98 37
Fax: (55) 56 06 16 08
e-mail: editor@cenapred.unam.mx
www.cenapred.unam.mx

Autores:

M. C. Salvador F. Ferreras
Investigador Titular del Centro de Investigación
Científica y de Educación Superior de Ensenada,
Baja California (CICESE)

Dr. Ramón Domínguez Mora
Investigador Titular del
Instituto de Ingeniería, UNAM

M. C. Carlos A. Gutiérrez Martínez
Subdirector de Riesgos Geológicos del
CENAPRED

Edición:
Violeta Ramos Radilla

Diseño:
Cynthia Paola Estrada Cabrera
Demetrio Vázquez Sánchez

ISBN: 970-628-875-9

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

Tsunamis

3	Introducción y Antecedentes
5	Origen y Características Generales de los Tsunamis
8	Propagación y Tiempo de Desplazamiento de los Tsunamis
10	Arribo, Evolución y Efectos de los Tsunamis
14	Los Tsunamis en México
19	Vulnerabilidad de las Costas de México a los Tsunamis
21	Estrategia para Prevención y Reducción del Impacto de los Tsunamis en México
26	El Tsunami de 2004 en el Océano Índico
27	La Experiencia de Banda Aceh, Indonesia
29	Participación de México en el Sistema de Alerta de Tsunamis del Pacífico y Creación de un Sistema Nacional de Alerta en México
31	Recomendaciones a la Población Expuesta al Impacto por Tsunamis
35	Glosario
38	Bibliografía y Referencias

Introducción y Antecedentes

El término **tsunami** es japonés; internacionalmente se usa para designar el fenómeno que en español se denomina maremoto. Es una secuencia de olas que se generan cuando cerca o en el fondo del océano ocurre un terremoto; a las costas pueden arribar con gran altura y provocar efectos destructivos: pérdida de vidas y daños materiales. La gran mayoría de los tsunamis se originan por sismos que ocurren en el contorno costero del Océano Pacífico, en las zonas de hundimiento de los bordes de las placas tectónicas que constituyen la corteza del fondo marino (fig. 1).

Los tsunamis de energía inicial extraordinaria pueden atravesar distancias enormes del Océano Pacífico hasta costas muy alejadas; por ejemplo, los originados en aguas

de Chile en mayo de 1960 y de Alaska en marzo de 1964, que arribaron a litorales de México y causaron daños menores. Toda la costa del Pacífico de México está expuesta al arribo de estos maremotos de origen **lejano** (*riesgo menor*).

Sin embargo, para México un **riesgo aún mayor** son los tsunamis generados por sismos en la Fosa Mesoamericana, que es la zona de hundimiento de la Placa de Cocos y de la Placa de Rivera bajo la Placa de Norteamérica, adyacente al litoral suroccidental. Por ejemplo, los ocurridos en: a) noviembre de 1925, que afectó Zihuatanejo, (Guerrero) con olas de 11 metros de

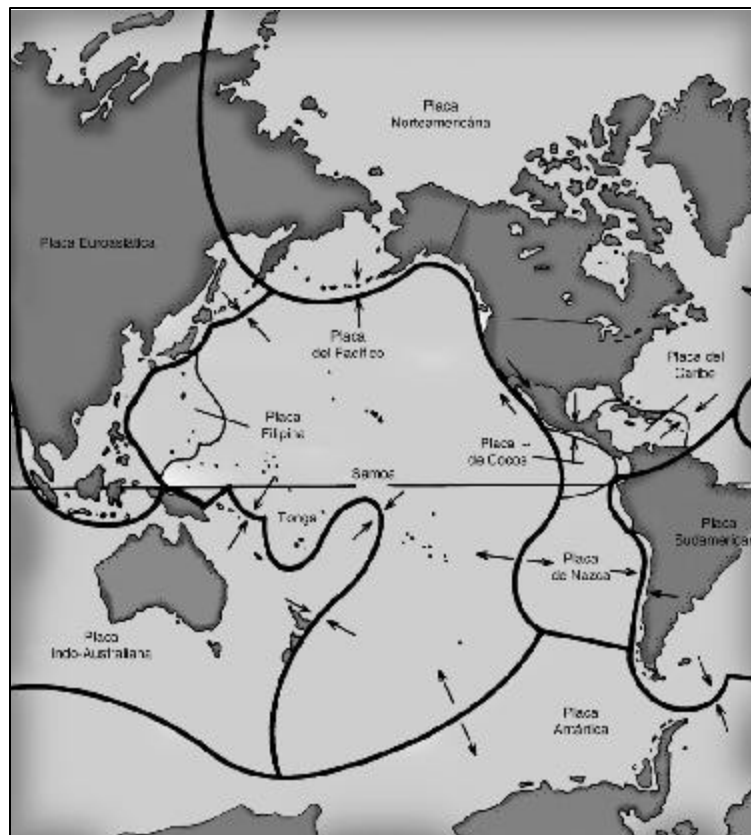


Fig. 1. Perímetro costero de zonas de hundimiento de placas en el Océano Pacífico, generador de tsunamis.

altura; b) junio de 1932; invadió Cuyutlán (Colima), con olas de 10 metros de altura, que causaron cuantiosos daños y pérdidas de vidas; c) septiembre de 1985, Lázaro Cárdenas (Michoacán) e Ixtapa-Zihuatanejo (Guerrero), con olas de 3 metros de altura, y d) octubre de 1995, en varias poblaciones costeras de Colima y Jalisco, con olas de hasta 5 metros de altura que causaron algunos daños de consideración y una víctima. La costa occidental de México en los estados de Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas está expuesta al arribo de estos tsunamis de origen **local** (*riesgo mayor*).

Debido a que los tsunamis no suelen repetirse en un mismo lugar con tanta frecuencia como los huracanes u otros tipos de fenómenos naturales, sino con recurrencia que a veces es de varios decenios, comparable a la longevidad humana, generacionalmente sus acciones de prevención suelen quedar en el olvido. Empero, los sismos en el entorno del Océano Pacífico, particularmente en la Fosa Mesoamericana, continuarán ocurriendo; en consecuencia, es de esperar que en estas costas mexicanas

tarde o temprano arribarán tsunamis. Ante esta probabilidad, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), en colaboración con el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), dentro de su serie de fascículos incluye el presente documento, con la finalidad de aportar información especializada a los responsables de la planeación y de la ejecución de acciones de protección civil y prevención de desastres en las zonas expuestas a maremotos, así como a la población potencialmente afectable.

El grado de desarrollo actual de la sismología NO permite aún predecir cuándo ocurrirá un tsunami; sin embargo, mediante acciones preventivas, de autoprotección y prudencia, Sí podemos disminuir y mitigar sus efectos. La información que contiene este fascículo puede ayudar a salvar vidas y reducir daños materiales. Por favor tómese el tiempo necesario para leerlo; lo que aprenda compártalo con familiares, amigos y compañeros de trabajo. La experiencia indica que, en su mayoría, las víctimas de los tsunamis han sido quienes hicieron caso omiso a las recomendaciones.

Información adicional y publicaciones sobre tsunamis se encuentran en los siguientes sitios de Internet:

<http://www.cenapred.unam.mx/publica.html>

http://observatorio.cicese.mx/Tsunami_Links.htm

<http://www.prh.noaa.gov/itic/index.html>

<http://www.prh.noaa.gov/ptwc>

La información que contiene este fascículo puede ayudar a salvar vidas y reducir daños materiales. Por favor tómese el tiempo necesario para leerlo; lo que aprenda compártalo con familiares, amigos y compañeros de trabajo. La experiencia indica que, en su mayoría, las víctimas de los tsunamis han sido personas que desdénaron las recomendaciones.



Origen y Características Generales de los Tsunamis

En la gran mayoría de los casos, el movimiento inicial que provoca la generación de los tsunamis es una dislocación vertical de la corteza terrestre en el fondo del océano, ocasionada por un sismo. En el transcurso del siglo veinte, éste ha sido el origen de aproximadamente el 94% de los 450 tsunamis ocurridos en el Océano Pacífico. Otros agentes causales menos frecuentes han sido: erupciones de volcanes sumergidos, impacto de meteoritos, deslizamientos submarinos y explosiones nucleares.

En su zona de generación, mientras se desplazan por aguas profundas mar afuera, las olas de los tsunamis son de **gran longitud** (cientos de kilómetros) y **exigua altura** (centímetros). No obstante que se propagan a gran velocidad (cientos de kilómetros/hora), visualmente esto los hace indetectables desde embarcaciones y aviones. Sus periodos (lapso de tiempo entre el paso de dos olas sucesivas) son de 15 a 60 minutos. NO se les ha de confundir con las olas cortas de tormentas generadas por el viento, que comúnmente llegan a las costas, NI con las ondas mucho más extensas de las mareas, que una a dos veces arriban todos los días.

Para que un sismo genere un tsunami, es necesario que: a) el hipocentro (*punto de origen del sismo, en el interior de la Tierra. Lugar donde empieza la ruptura que se extiende formando un plano de falla*) del sismo, o una parte mayoritaria de su área de ruptura, esté bajo el lecho marino,

a una profundidad menor a 60 km (sismo superficial); b) ocurra en una zona de hundimiento de borde de placas tectónicas; es decir, que la falla tenga movimiento **vertical**: que no sea solamente de desgarre, con movimiento **lateral**, y c) en cierto lapso de tiempo el sismo libere suficiente energía, y que ésta se transmita eficientemente.

El estado actual del conocimiento científico acerca de la condición c) es insuficiente: **aún no existe algún modelo teórico ni método operacional totalmente satisfactorio que permita determinar si un sismo es tsunamigénico (generador de tsunami), ni de qué tamaño (magnitud, intensidad, o altura de olas) será el tsunami generado.** Como indicador de certeza de generación de maremotos, tradicionalmente se había aceptado que la magnitud del sismo (M_s) fuera mayor que 7.5; sin embargo, para terremotos muy grandes o de gran duración (mayor que 20 segundos), este indicador no es confiable. En efecto, movimientos telúricos de M_s menor que 7.0 y de gran duración han provocado tsunamis anormalmente grandes respecto de lo esperable (se denominan



Fig. 2. Imagen del satélite Quickbird del Tsunami del 26 de Diciembre de 2004.
Fuente: NASA

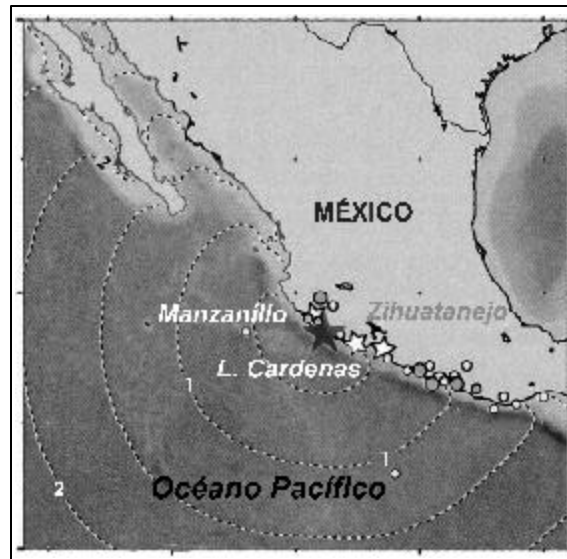


Fig. 3. Las curvas que se muestran representan el patrón de propagación del tsunami correspondiente al sismo ocurrido en Lázaro Cárdenas, Michoacán, septiembre de 1985.

sismotsunamis); un ejemplo es el ocurrido en la Fosa Mesoamericana frente a Nicaragua en septiembre de 1992, que fue destructivo. Actualmente hay consenso en que el valor del momento sísmico (M_0), que es proporcional al área de ruptura y a la dislocación vertical de la falla, determinado de los registros sismográficos de banda ancha, es el mejor parámetro para estimar la probabilidad de generación de tsunamis para M_0 mayor que 10^{22} newton-metros.



Fig. 4. Daños causados por el tsunami frente a Nicaragua el 2 de septiembre de 1992.
Fuente: www.earthfiles.com/images/new/N/NicaraguaEarthquaker1993a.jpg

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

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

Tsunamis regionales. El litoral invadido está a no más de 1,000 km o a pocas horas de viaje de la zona de generación. Ejemplo: el provocado por un sismo en las costas de Colombia el 12 de diciembre de 1979, que tardó 4 horas para llegar a Acapulco.

Tsunamis lejanos (remotos, transpacíficos o teletsunamis). El sitio de arribo está muy alejado, en el Océano Pacífico, a más de 1,000 km de distancia de la zona de generación, a aproximadamente medio día o más de viaje. Ejemplos: el ocurrido tras un sismo en Chile el 22 de mayo de 1960; tardó unas 13 horas en llegar a Ensenada (México), y el maremoto generado en Japón el 16 de mayo de 1968; demoró 14 horas en arribar a Manzanillo (México).

Nótese que, al considerar la operación de un **sistema de alerta de tsunamis**, las diferencias que establece esta clasificación son muy importantes: en el primer caso (*locales*), después del sismo, para avisar a la población de la llegada del maremoto no hay tiempo o son pocos minutos; en el segundo (*regionales*) hay pocas horas, y en el tercero (*lejanos*) se dispone de aproximadamente medio día o un poco más.



Fig. 5. Daños a viviendas causados por el Tsunami en Chile en 1960.

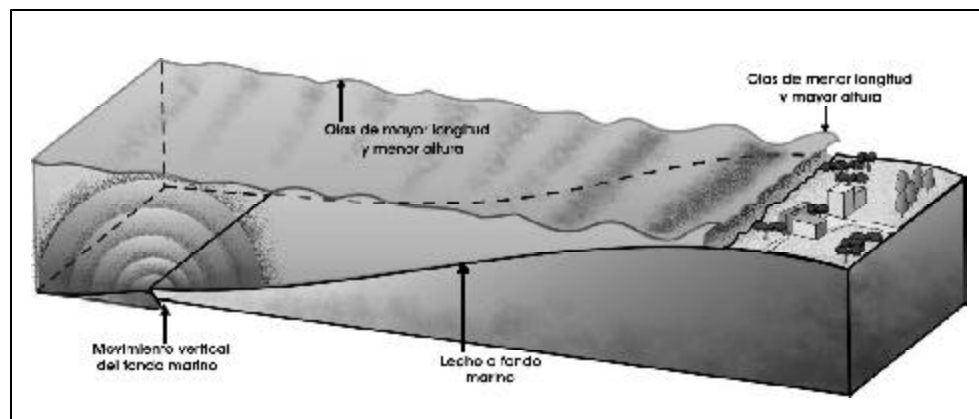


Fig. 6. Generación, propagación y arribo a la costa de un tsunami.



Fig. 7. Arribo de olas en el litoral. Fuente: www.coreykoberg.com

Al acercarse las olas de los tsunamis a la costa, a medida que disminuye la profundidad del fondo marino, también se desaceleran, y la longitud se acorta. En consecuencia, su energía se concentra, **umenta la altura**, y al arribar al litoral las olas así resultantes pueden asumir características destructivas. En la figura 6 se ilustran la generación, la propagación y el arribo de un tsunami a la costa.

Propagación y Tiempo de Desplazamiento de los Tsunamis

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

Mediante la técnica anterior, un grupo de trabajo del Sistema de Alerta de Tsunamis del Pacífico calculó los tiempos de propagación a través de este océano, para los originados en 24 lugares; elaboraron cartas de tiempo de propagación de tsunamis transpacíficos, para uso de ese sistema. En la figura 8 se muestra la carta de tiempos de propagación de un maremoto originado en la Fosa Mesoamericana frente a Acapulco. Puesto que los tiempos de desplazamiento del origen al lugar de arribo y viceversa son los mismos, esta carta sirve también para predecir los tiempos de arribo a Acapulco de tsunamis provenientes de diversas regiones del Pacífico.

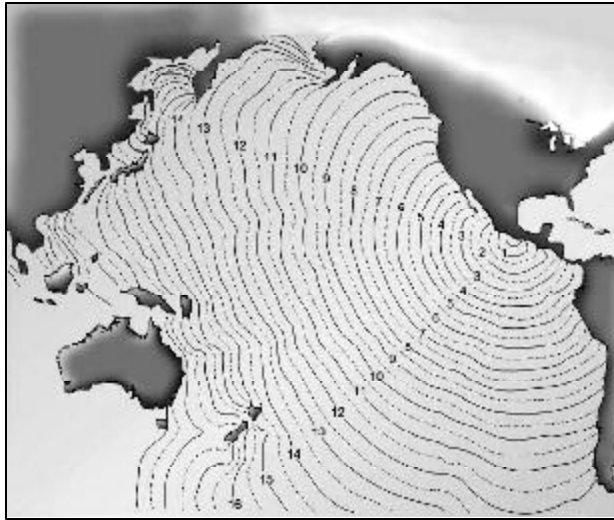


Fig. 8. Carta de tiempos de propagación para un tsunami en la Fosa Mesoamericana frente a Acapulco.

En la tabla I se anotan los tiempos reales (cronometrados) de viaje desde su origen hasta su arribo a Acapulco de varios tsunamis transpacíficos ya ocurridos; son muy similares a los indicados en la carta. Los tiempos de arribo a Ensenada, B.C., y a Salina Cruz, Oaxaca (lugares casi extremos en la costa del Pacífico de México) son de 2:30 a 4:30 horas antes o después del arribo a Acapulco, según el lugar de origen del maremoto.

Tabla 1. Tiempos de Propagación de Tsunamis Transpacíficos desde su origen hasta su arribo a Acapulco

Fecha	Origen	Tiempo de Viaje (horas: min.)
09, m ar. 1957	I. Aleutianas	10:51
22, mayo 1960	Chile	09:49
13, oct. 1963	I. Kuriles	15:22
28, m ar. 1964	Alaska	09:29
16, mayo 1968	Japón	16:31
29, nov. 1975	Hawaii	08:11
14, ene. 1976	Kermadec	14:02

En un **sistema de alerta**, para poder **avisar a tiempo a la población** de la llegada de un tsunami cuya generación ya se haya confirmado, estas cartas constituyen un recurso muy útil.

La forma de las áreas de ruptura de los sismos en fosas como la mesoamericana es aproximadamente elíptica elongada; esto propicia que la mayor parte de la energía del tsunami se propague perpendicularmente a su eje longitudinal: **hacia la costa** cercana y hacia su opuesta en el otro extremo del Océano Pacífico, y la minoría se desplace paralelamente a ese eje: a lo **largo del litoral**. La evolución de todos los maremotos generados en la Fosa Mesoamericana frente a México se ajusta a este modelo; frente a su origen, a lo largo de la línea de costa hacia el Norte y hacia el Sur desde el punto del litoral, las olas paulatinamente disminuyen su altura y sus efectos destructivos.

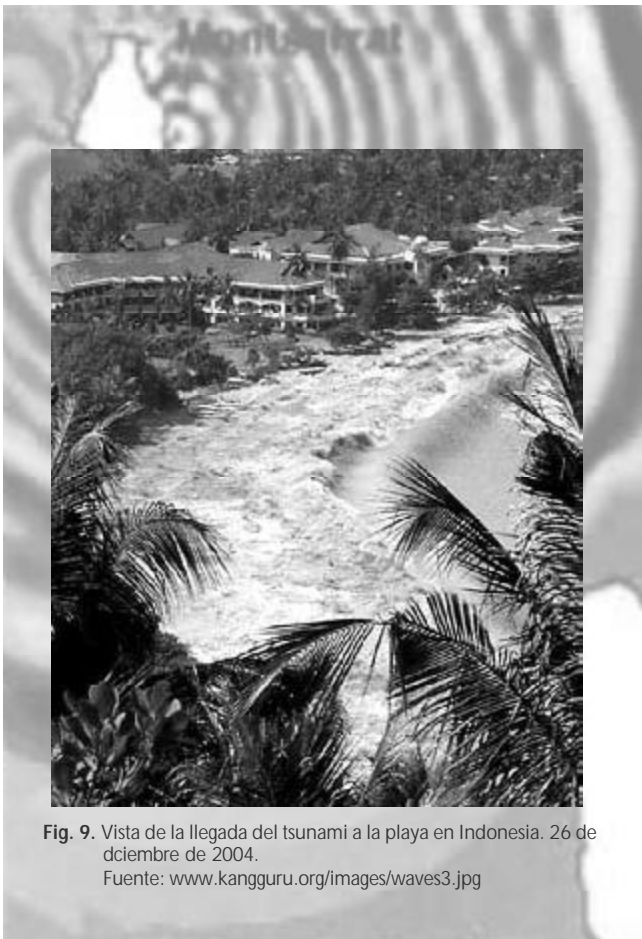


Fig. 9. Vista de la llegada del tsunami a la playa en Indonesia. 26 de diciembre de 2004.
Fuente: www.kangguru.org/images/waves3.jpg



Fig. 10. Islas Filipinas.
Fuente: www.viajeros.com/articulo248.html



Fig. 11. Islas Solomón.
Las zonas de ruptura sísmica frente a las Islas Filipinas, las Islas Solomón, Tonga y Samoa, representan el mayor riesgo potencial de generación de tsunamis transpacíficos de efectos destructivos para México.
Fuente: www.step.es/personales/jms/imagenesmundo/salomon/salomon.jpg

De los tsunamis *lejanos*, este fenómeno de *direccionalidad* permite también inferir (ver las figuras 1 y 8) que, para las costas de México, las zonas de ruptura sísmica frente a las Islas Filipinas, las Islas Solomón, Tonga y Samoa representan el mayor riesgo potencial de generación de tsunamis transpacíficos de efectos destructivos. Sin embargo, hasta ahora, estas zonas de ruptura no han mostrado ser muy activas en generación de sismos de gran magnitud propiciantes de maremotos.

Arribo, Evolución y Efectos de los Tsunamis

Como se explicó anteriormente, al acercarse las olas de los tsunamis a una costa de pendiente suave (por ejemplo una playa), a medida que disminuye la profundidad del fondo marino también decrece su velocidad, las longitudes de onda se acortan, la energía se concentra y la altura se incrementa, con potencialidad destructiva. En la figura 13 y su tabla anexa (calculadas mediante una teoría sencilla), este **incremento de altura** de las olas por disminución de la profundidad (asomeramiento) se ilustra numéricamente, para una ola de tsunami con periodo de 18 minutos que, al propagarse desde 4,000 hasta 10 metros de profundidad, su altura aumenta de 1.15 a 5.14 metros.

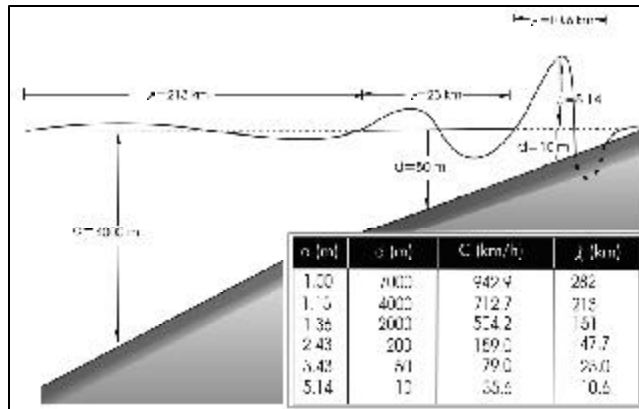


Fig. 13. Disminución de velocidad de fase (c), acortamiento de longitud de onda (λ) e incremento de la amplitud (a) de una onda de tsunami de 18 minutos de periodo, por asomeramiento o disminución de la profundidad (d).

Sin embargo, la interacción de las olas de los tsunamis con la costa es mucho más compleja que este asomeramiento. En la costa la altura de los tsunamis depende de: a) las características de las olas en mar abierto; b) la batimetría; c) la pendiente del fondo marino; d) la configuración del contorno de la costa; e) la refracción; f) la reflexión, y g) el atrapamiento de sus olas en las diversas formaciones fisiográficas costeras: bahías, golfos, penínsulas, islas, cabos, deltas fluviales, lagunas costeras, etc.). La multiplicidad de los factores anteriores hace que la evaluación del comportamiento local del arribo de un tsunami sea un problema complejo y que, aun en distancias cortas, la altura máxima de sus olas varíe considerablemente a lo largo de la costa.



Fig. 12. Fenómeno natural en China. Septiembre 2002. Fuente: octavio Rojas.blogspot.com/2005_01_01_octavio Rojas_archive.html



Fig. 14. Inicio del arribo de un tsunami. Fuente: www.delury.cec.eu.int/uruguay/images/fotos/Tsunamis%2001.jpg

La figura 15 muestra esta variabilidad de alturas de ola de 1.8 a 5.1 metros a lo largo de solamente 160 kilómetros de la costa de Jalisco-Colima para el caso del tsunami del 9 de octubre de 1995. **No debemos confiarnos por la pequeñez de las olas de un tsunami al llegar a una playa;** a muy pocos kilómetros, en otro lugar costero puede haber olas de gran altura. Actualmente el método más confiable y riguroso para evaluar y pronosticar con detalle las alturas máximas que alcanzarían las olas de un maremoto a lo largo

descubierto (*secas*). Es un aviso de que pocos minutos después llegará una ola a gran velocidad. **No se acerque a la playa a mirar este retiro del mar ni a recoger peces y mariscos; cuando vea llegar la ola será demasiado tarde para huir.** Antes del arribo del tsunami, en muy pocos casos NO se ha producido este recogimiento del agua del mar.

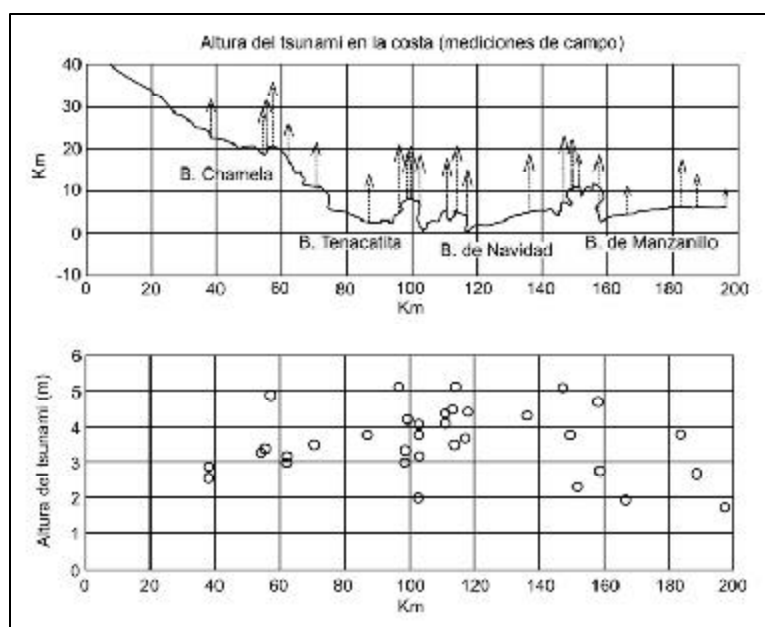


Fig. 15. Distribución de alturas máximas de ola del tsunami local del 9 de octubre de 1995, a lo largo de las costas de Jalisco y Colima (las flechas en la parte superior indican la magnitud relativa de las alturas).

de una franja costera (por ejemplo una bahía) es la simulación computacional de la generación, la propagación y su arribo. En México se está efectuando este trabajo para los puertos industriales, turísticos, y asentamientos humanos más importantes ubicados en la costa del Pacífico.

Al llegar el tsunami a la costa, su incremento de altura por asomeramiento provoca retiro o resaca del agua ante el frente de la ola (véase la parte superior derecha de la figura 13); grandes extensiones del fondo marino quedan al



Fig. 16. Devastación por el tsunami del 26 de diciembre de 2004 en Indonesia. Fuente: www.redvoltaire.net/article3559.html

Un tsunami no es **UNA** sola ola, sino una secuencia o **TREN** de olas que cada 10 a 40 minutos se suceden una tras otra durante un lapso de medio día, un día o más. Comúnmente, la ola de mayor altura y potencial destructivo **NO** es la primera ni la segunda, sino las siguientes: tercera, etc.

Si como resultado de una alerta autorizada el lugar donde usted se encontraba lo han evacuado, **NO regrese a los lugares inundables hasta que una autoridad responsable le indique que la perturbación marina y la amenaza ya han terminado.**



Fig. 17. Generalmente la ola de mayor potencial destructivo no es la primera ni la segunda, si no las siguientes.
Fuente: www.striginfo.com/pkblog/archives/2004_12.html

En bahías semicerradas (con forma semejante a una herradura) las olas del tsunami experimentan en el interior reflexiones múltiples sucesivas en las costas opuestas, amplificándose su oscilación y la altura con que invaden las costas. Este fenómeno se denomina **amplificación resonante** por formación de ondas estacionarias; se genera en olas de tsunami cuya longitud sea igual o múltiplo de las dimensiones horizontales (longitud y anchura) de la bahía. Es semejante al derrame que en un plato de sopa o en una taza de café sucede cuando el líquido se excita por oscilación.



Fig. 18. Daños causados por el Tsunami en Chile en 1960.
Fuente: www.pubs.usgs.gov/circ/c1187/images/coverphoto.jpg

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



Fig. 19. Daños causados por el Tsunami en Alaska el 27 de marzo de 1964.
Fuente: www.noaanews.noaa.gov/stories2005/images/alaska-tsunami-0327-1964.jpg

Las olas de los tsunamis pueden penetrar por ríos, esteros, arroyos y/o lagunas costeras, y viajar a gran velocidad hasta varios kilómetros tierra adentro; se les denomina **bores**. Por ejemplo; las olas que el 19 de septiembre de 1985 se propagaron aguas arriba por el Río Balsas, inundaron la zona portuaria de Lázaro Cárdenas; en tan sólo 18 minutos llegaron hasta el segundo puente de la ciudad, distante 8 kilómetros de la boca del río. Por lo tanto, **al ocurrir un tsunami hay que alejarse de ríos, esteros, arroyos y lagunas costeras.**



Fig. 20. Daños a la infraestructura por tsunami. Lázaro Cárdenas, México, 1985.

A su arribo, los daños materiales pueden ser:

- 1) *Primarios*: causados directamente por la acción *estática* del agua (inundación, presión, flotación) en las estructuras, o por su acción *dinámica* (corrientes, fuerzas de arrastre), y rompimiento de las olas o rebasado de sus aguas en muelles y rompeolas.
- 2) *Secundarios*: ocasionados por:
 - a) Impacto de objetos flotantes o arrastrados por las aguas (embarcaciones, vehículos, etc.) en estructuras fijas.
 - b) Incendios o explosiones, inducidos por el impacto de tales objetos flotantes en tanques de almacenamiento de combustible.
 - c) Líneas eléctricas caídas.
 - d) Derrumbe de edificaciones, por escurrimiento del

material térreo de soporte de sus cimientos.

- e) Contaminación por líquidos y/o gases tóxicos, al romperse los recipientes o envases.

También tienen impacto social, pues producen:

- a) Decesos y heridos
- b) Destrucción de construcciones
- c) Daños en vías de comunicación, hospitales y escuelas
- d) Interrupción de servicios públicos (electricidad, telefonía, etc.)

y en las actividades cotidianas de la población;

- e) Pérdida de viviendas, desplazamiento y reubicación de asentamientos humanos.

El tsunami más destructivo del que se tiene conocimiento histórico, fue el originado por un sismo de magnitud 9.0 frente a las costas de Indonesia el 26 de diciembre de 2004. El tsunami se propagó inicialmente en el Océano Índico causando 300,000 víctimas y daños materiales por más de 6,000 millones de dólares en Indonesia, Sri Lanka, India, Tailandia hasta la costa africana de Somalia. Posteriormente se propagó a los Océanos Atlántico y Pacífico, constituyendo el primer tsunami de carácter global conocido. En México se detectó su arribo con alturas máximas de ola de 80 centímetros en Manzanillo, y 20 centímetros en Cabo San Lucas y Ensenada. Muchas víctimas se habrían evitado si hubiese estado en operación un sistema de alerta temprana de tsunamis en el Océano Índico, y si la población hubiera contado con educación e información sobre el fenómeno.

Los Tsunamis en México

La estadística de maremotos ocurridos en la costa occidental de México se dificulta porque: a) excepto algunos lugares como Acapulco, antes del siglo XIX permaneció casi deshabitada, y b) la operación de la red de mareógrafos, en que tradicionalmente se registran los tsunamis, comenzó hace apenas 53 años (1952), y contiene vacíos notorios de datos. El *Catálogo de Tsunamis en la Costa Occidental de México*, documenta 49 tsunamis arribados desde 1732 hasta 1985: 16 de origen lejano y 33 de origen local, que se detallan cronológicamente (salvo 4 lejanos observados sólo visualmente) en la tabla 2 y en la tabla 3 (páginas 16 y 17).



Fig. 21. Primera Estación Mexicana con Telemetría a Satélite. Cabo San Lucas, BCS, 1990. Fuente: CICESE



Fig. 22. Bahía Vargas Lozano, Isla Socorro, 1991. Se indica el lugar en donde se instaló la caseta del mareógrafo y el lugar en donde se instalaron los sensores de la estación.

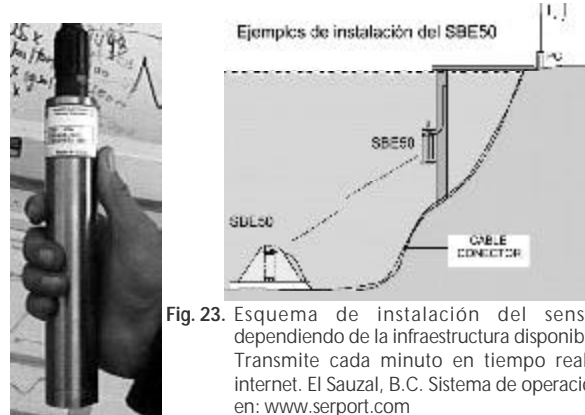


Fig. 23. Esquema de instalación del sensor dependiendo de la infraestructura disponible. Transmite cada minuto en tiempo real a internet. El Sauzal, B.C. Sistema de operación en: www.serport.com

De 1986 a 1991, en México no hubo registros; tal vez porque ninguno llegó, o por operación deficiente de los mareógrafos. A partir de 1992, el CICESE y la Secretaría de Marina de México, en colaboración con la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera de los Estados Unidos de América (por sus siglas en inglés NOAA) y el Sistema de Alerta de Tsunamis del Pacífico (de la UNESCO) instalaron y mantienen 3 mareógrafos, equipados para transmisión inmediata de señales a satélite, en Manzanillo, isla Socorro y Cabo San Lucas; desde 1992 han registrado 6 maremotos, detallados en la tabla 4 (página 18).

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

Un reciente tsunami local, acaecido el 9 de octubre de 1995, originado por un sismo de $M_s = 7.6$ con epicentro 4 kilómetros al suroeste de Manzanillo, afectó la costa de Jalisco y Colima con olas de hasta 5.1 metros de altura, e inundó las localidades de Barra de Navidad y Boca de Iguanas, Jalisco. En La Manzanilla, Boca de Iguanas y Melaque, Jalisco, causó daños considerables, y un deceso. Nueve días después, un grupo internacional México-EUA efectuó una prospección del lugar, y recabó los datos aportados en la tabla 4.

Ninguno de los tsunamis de origen lejano registrados u observados, tanto recientes como de tiempos remotos, ha tenido más de 2.5 metros de altura máxima de olas en las costas de México; esto sugiere que el **riesgo implicado es menor**.



Fig. 24. Zihuatanejo, Guerrero.
Fuente: www.maxgarber.com/album/Zihuatanejo/Zihuatanejo_view_from_hotel.jpg



Fig. 25. Cuyutlán, Colima.
Fuente: www.cuyutlandirectory.com/cuyu.jpg



Fig. 26. Daños registrados por el tsunami local del 9 de octubre de 1995.

Excepto el tsunami de octubre de 1995, que alcanzó alturas de olas de hasta 5.1 metros, los otros 11 locales más recientes (posteriores a 1950) tuvieron alturas menores a 3.0 metros. Esta información, de sólo un corto lapso de tiempo, puede conducir erróneamente a la conclusión de que los maremotos locales no constituyen amenaza importante; la información histórica de tsunamis locales observados visualmente en los últimos tres siglos, incluido el reciente de octubre de 1995, indica lo contrario.

Casi la mitad (16) de los tsunamis de origen local anteriores a 1952 causaron destrucción considerable; el de noviembre de 1925, en Zihuatanejo, Guerrero, alcanzó alturas máximas de ola de 11 metros; el de junio 22 de 1932, alcanzó 10 metros en Cuyutlán, Colima. Ambos causaron cuantiosos daños y pérdidas de vidas; de los ocurridos en México son los más destructivos que se conocen. Por lo tanto, para las costas del Pacífico de México, específicamente en los Estados de Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, **los tsunamis locales son un riesgo mayor**.

Tabla 2. Tsunamis de origen lejano posteriores a 1950, registrados en México

Fecha	Epicentro del Sismo	Zona del Sismo	Magnitud del Sismo	Lugar en que se registró del Tsunami	Altura Máx. de Olas (m)
4, Nov. 1952	52.8° N 159.5° E	Kamchatka	8.3	La Paz, B.C.S. Salina Cruz, Oax.	0.5 1.2
9, Mar. 1957	51.3°N 175.8° W	I. Aleutianas	8.3	Ensenada, B.C. La Paz, B.C.S. Guaymas, Son. Mazatlán, Sin. Salina Cruz, Oax. Manzanillo, Col. Acapulco, Gro.	1.0 0.2 < 0.1 0.2 0.4 0.6 0.6
22, May. 1960	39.5°S 74.5°W	Chile	8.5	Ensenada, B.C. La Paz, B.C.S. Guaymas, Son. Topolobampo, Sin. Mazatlán, Sin. Acapulco, Gro. Salina Cruz	2.5 1.5 0.6 0.2 1.1 1.9 1.6
20, Nov. 1960	6.8°S 80.7°W	Perú	6.8	Acapulco, Gro.	0.1
13, Oct. 1963	44.8°N 149.5°E	I. Kuriles	8.1	Acapulco, Gro. Salina Cruz, Oax. Mazatlán, Sin. La Paz, B.C.	0.5 0.5 0.1 <0.1
28, Mar. 1964	61.1.°N 147.6°W	Alaska	8.4	Ensenada, B.C. La Paz, B.C.S. Guaymas, Son. Mazatlán, Sin. Manzanillo, Col. Acapulco, Gro. Salina Cruz, Oax.	2.4 0.5 0.1 0.5 1.2 1.1 0.8
4, Feb. 1965	51.3°N 179.5°E	I. Aleutianas	8.2	Mazatlán, Sin. Manzanillo, Col. Acapulco, Gro. Salina Cruz, Oax.	0.1 0.3 0.4 0.5
17, Oct. 1966	10.7° S 78.6°W	Perú	7.5	Salina Cruz, Oax.	0.2
16, May. 1968	41.5°N 142.7°E	Japón	8.0	Ensenada, B.C. Mazatlán, Sin. Manzanillo, Col. Acapulco, gro.	0.3 0.1 0.4 0.4
29, Nov. 1975	19.4°N 155.1°W	Hawaii	7.2	Ensenada, B.C. Isla Guadalupe San Lucas, B.C.S. Loreto, B.C.S. Manzanillo, Col. P.Vallarta, Jal. Acapulco, Gro. Salina Cruz, Oax.	0.5 0.4 0.3 0.1 0.3 0.2 0.3 0.3
14, Ene.1976	29.0°S 178.0°W	Kermadec	7.3	San Lucas, B.C.S. P.Vallarta, Jal. Manzanillo, Col. Acapulco, Gro. Salina Cruz, Oax	0.1 0.1 0.2 0.2 0.3
12, Dic. 1979	1.6°N 79.4° W	Colombia	7.9	Acapulco, Gro.	0.3

Tabla 3. Tsunamis de origen local observados o registrados en México

Fecha	Epicentro del Sismo (°N, °O)	Zona del Sismo	Magnitud del Sismo	Lugar Registrado del Tsunami	Altura Máx. de Olas (m)
25, Feb. 1732	No Definido	Guerrero		Acapulco.	4.0
01, Sep. 1754	No Definido	Guerrero		Acapulco	5.0
28, Mar. 1787	No Definido	Guerrero	> 8.0	Acapulco	3.0 – 8.0
03, Abr. 1787	No Definido	Oaxaca		Juquila Pochutla	4.0 4.0
04, May. 1820	17.2° 99.6°	Guerrero	7.6	Acapulco	4.0
10, Mar. 1833	No Definido	Guerrero		Acapulco	N/D
11, Mar. 1834	No Definido	Guerrero	7.9	Acapulco	N/D
07, Abr. 1845	16.6° 99.2°	Guerrero		Acapulco	N/D
29, Nov. 1852	No Definido	B. California		Río Colorado	3.0
04, Dic. 1852	No Definido	Guerrero		Acapulco	N/D
11, May. 1870	15.8° 96.7°	Oaxaca	7.9	Puerto Ángel	N/D
23, Feb. 1875	No Definido	Colima		Manzanillo	N/D
14, Abr. 1907	16.7° 99.2°	Guerrero	7.6	Acapulco	2.0
30, Jul. 1909	16.8° 99.9°	Guerrero	7.2	Acapulco	N/D
16, Nov. 1925	18.0° 107°	Guerrero	7.0	Zihuatanejo	7.0-11.0
22, Mar. 1928	15.670° 96.100°	Oaxaca	7.5	Puerto Ángel	N/D
16, Jun. 1928	16.330° 96.700°	Oaxaca	7.6	Puerto Ángel	N/D
03, Jun. 1932	19.570° 104.420°	Jalisco	8.2	Manzanillo San Pedrito Cuytlán San Blas	2.0 3.0 N/D N/D
18, Jun. 1932	19.5° 103.5°	Jalisco	7.8	Manzanillo	1.0
22, Jun. 1932	18.740° 104.680°	Jalisco	6.9	Cuytlán Manzanillo	9.0 – 10.0 N/D
29, Jun. 1932		Jalisco		Cuytlán	N/D
03, Dic. 1948	22.0° 106.5°	Nayarit	6.9	Islas Mariás	2.0-5.0
14, Dic. 1950	17.220° 98.120°	Guerrero	7.2	Acapulco	0.3
28, Jul. 1957	17.110° 99.100°	Guerrero	7.8	Acapulco Salina Cruz	2.6 0.3
11, May. 1962	17.250° 99.580°	Guerrero	7.2	Acapulco	0.8
19, May. 1962	17.120° 99.570°	Guerrero	7.1	Acapulco	0.3
23, Ago. 1965	16.178° 95.877°	Oaxaca	7.3	Acapulco	0.4
30, Ene. 1973		Colima	7.6	Acapulco Manzanillo Salina Cruz La Paz Mazatlán	0.4 1.1 0.2 0.2 0.1
29, Nov. 1978	16.013° 96.586°	Oaxaca	7.6	P. Escondido	1.5
14, Mar. 1979	17.750° 101.263°	Guerrero	7.4	Acapulco Manzanillo	1.3 0.4
19, Sept. 1985	18.419° 102.468°	Michoacán	8.1	Lázaro Cárdenas Ixtapa Zihuatanejo Playa Azul Acapulco Manzanillo	2.5 3.0 2.5 1.1 1.0
21, Sept. 1985	17.828° 101.681°	Michoacán	7.6	Acapulco Zihuatanejo	1.2 2.5

Tabla 4. Tsunamis recientes observados o registrados en México

Fecha	Epicentro del Sismo	Zona del Sismo	Magnitud del Sismo	Lugar Registrado del Tsunami	Altura Máx. de Olas (m)
01, Sept. 1992	11.8°N 87.4°W	Nicaragua (regional)	7.2	Isla Socorro Cabo San Lucas	0.29 0.28
30, Jul. 1995	24.2°S 70.7°W	Chile (lejano)	7.8	Isla Socorro Cabo San Lucas	0.23 0.10
09, Oct. 1995	18.9°N 104.1°W	México (local)	7.6	Manzanillo Cabo San Lucas Isla Socorro Barra de Navidad Melaque Cuastecomate La Manzanilla Boca de Iguanas El Tecuán Punta Careyes Chamela San Mateo Pérula Punta Chalacatepec	2.0 0.50 0.20 5.10 4.50 4.40 0.40 5.10 3.80 3.50 3.20 4.90 3.40 2.90
21, Feb. 1996	9.6°S 80.2°W	Perú (lejano)	7.8	Isla Socorro	0.25
22, Ene. 2003	18.8°N 103.9°W	México (local)	7.8	Manzanillo Lázaro Cárdenas Zihuatanejo	1.22 0.24 0.60
26, Dic. 2004	3.3°N 95.8°E	Indonesia (lejano)	9.0	Manzanillo El Sauzal Cabo San Lucas	0.80 0.20 0.20


Fig. 27. Daños en la Manzanilla, Jalisco en Octubre de 1995.

Vulnerabilidad de las Costas de México a los Tsunamis

Como se explicó anteriormente, para que un sismo genere un tsunami es necesario que ocurra en una zona de hundimiento de borde de placas tectónicas; es decir: que la falla tenga **movimiento vertical** y no sea solamente de desgarre, con movimiento lateral. En la costa del Pacífico de México, esta condición permite diferenciar 2 zonas (véase figura 28):

- I) Al norte de la Placa de Rivera, donde la Placa del Pacífico se desliza hacia el norte con respecto a la Placa de Norteamérica, a lo largo de la falla de desgarre del Golfo de California. Esto propicia que las costas de **Baja California, Sonora y Sinaloa** no sean fuentes de origen

de tsunamis locales, sino únicamente receptoras de los lejanos, con alturas máximas de ola esperables de 3 metros.

- II) En el Sur, la Placa de Rivera gira y la de Cocos se hunde bajo la Placa de Norteamérica a lo largo de la Fosa Mesoamericana; constituye una frontera de colisión con hundimiento, generadora de **tsunamis locales**, algunos de los cuales han demostrado **destruictividad en las costas de Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas**, con alturas de 10 metros. Esta zona también es receptora de tsunamis lejanos y regionales, con alturas esperables menores.



Fig. 28. Escenario sismo-tectónico de la costa del Pacífico de México y su potencial para generación y recepción de tsunamis.



Fig. 29. Playas de Manzanillo, Colima
Fuente: www.manzanillo.com.mx



Fig. 30. Turismo en las playas mexicanas.
Fuente: www.esmas.com



Fig. 31. Puerto de Manzanillo, Colima
Fuente: www.sinergiaempresarial.com.mx



Fig. 32. Puerto de Salina Cruz, Oaxaca
Fuente: www.sinergiaempresarial.com.mx

En el Programa Nacional de Desarrollo Urbano 1990-1994 se establece como estrategia de reordenamiento territorial, fortalecer el corredor de desarrollo económico y enlace interregional correspondiente a la segunda zona mencionada. Del país es la expuesta a mayor riesgo de tsunamis destructivos; por ser asiento de comunidades costeras densamente pobladas, importantes instalaciones portuarias, industriales y de almacenamiento de combustibles, también es la más vulnerable. Comprende los puertos de Manzanillo, Lázaro Cárdenas y Salina Cruz, y un corredor turístico de aproximadamente 1,000 kilómetros de longitud, que incluye Puerto Vallarta, Manzanillo, Cuyutlán, Ixtapa-Zihuatanejo, Acapulco, Puerto Escondido, Puerto Ángel y Bahías de Huatulco (véase fig. 33).



Fig. 33. Puertos Industriales y Turísticos en la zona costera de desarrollo prioritario según el Programa Nacional de Desarrollo Urbano, con alturas máximas de ola y fechas pretéritas de ocurrencia de tsunamis locales.

Estrategia para Prevención y Reducción del Impacto de los Tsunamis en México

Para disminuir pérdida de vidas, daños materiales, interrupción de servicios e impacto socioeconómico que maremotos futuros puedan provocar, **antes de su posible ocurrencia** es necesario que las autoridades **federales, estatales y municipales** correspondientes emprendan lo siguiente:

- Evaluación del **riesgo** y de la **vulnerabilidad** de las comunidades costeras susceptibles a su ataque.
- Implementación de restricciones y **reglamentación de uso del suelo** en zonas de alto riesgo, en sus planes de desarrollo urbano y de vivienda, e incorporación a sus leyes de asentamientos humanos y reglamentos de ordenamiento territorial, **vigilando su acatamiento**.
- Instauración y operación de un sistema o **Servicio de Detección, Monitoreo y Alerta Temprana de Tsunamis** a nivel regional, nacional y local, interconectado con el **Sistema de Alerta de Tsunamis del Pacífico**. La logística de las redes de telecomunicación de estos Servicios NO se ha de basar en comunicaciones telefónicas alámbricas NI en equipos de transmisión-recepción cuya energización no sea autónoma. Al ocurrir sismos de gran magnitud, en las comunidades costeras cercanas al epicentro el suministro de energía eléctrica y los servicios telefónicos se interrumpen precisamente en los momentos más cruciales para la

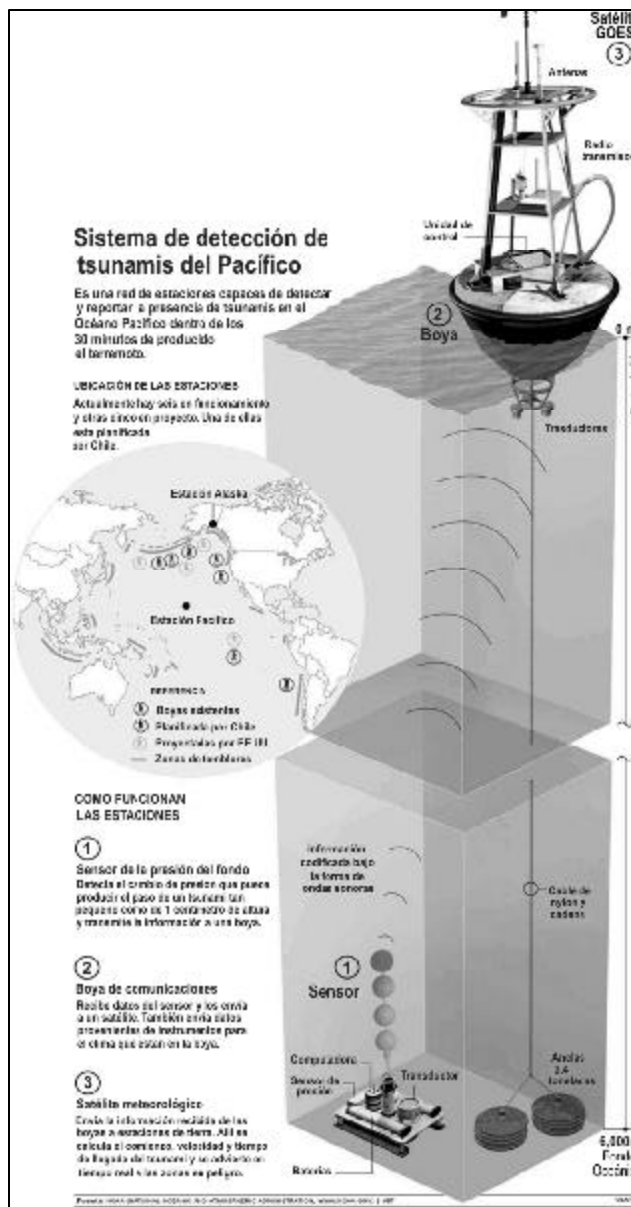


Fig. 34. Sistemas de Detección de Tsunamis del Pacífico. Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). www.noaa.gov

emisión de mensajes de alerta de posibles tsunamis. **La red de comunicaciones debe ser inalámbrica (vía radio o satélite), con equipo electrógeno mediante combustible, baterías o paneles solares.**

- Establecimiento de enlace permanente (24 horas/día, 365(6) días/año), del centro de operaciones del servicio de alerta mencionado, con instituciones nacionales (universidades, centros de investigación) que operan las **redes de instrumentación y monitoreo sísmico y de nivel del mar que permiten detectar y confirmar la generación de un tsunami al ocurrir un terremoto, y su propagación por el Océano.** Las autoridades deben apoyar la operación y mantenimiento de estas redes de instrumentación, de cuya información oportuna depende el funcionamiento del sistema de alerta.
- Elaboración de **planes de contingencia** (incluidos rutas de evacuación y refugios temporales) que se utilizarán al ocurrir un tsunami, con énfasis en evacuación de **escuelas y hospitales y de los núcleos habitacionales** en que gran parte de la población duerme de noche.
- Establecimiento de un programa de **difusión, comunicación social y educación pública** acerca del origen y recurrencia de los tsunamis, métodos de prevención y recomendaciones para actuar durante su ocurrencia.
- Diseño, elaboración y distribución de material educativo impreso y audiovisual: trípticos, folletos, videos, manuales, etc.
- Organización de conferencias y cursos cortos tanto en el ámbito del sistema educativo formal como en el de capacitación de las autoridades y del personal encargados de aplicar los planes de contingencia. La inclusión de información en los medios de divulgación (radio, televisión, periódicos) y en páginas de directorios telefónicos locales es también muy efectiva. El desarrollo de una **cultura de autoprotección** en la población es fundamental para la efectividad de la estrategia de protección civil.
- Simulacros de evacuación en zonas potencialmente inundables por tsunamis, para evaluar los resultados de los planes de contingencia y mejorar la preparación de las comunidades.

*El método para la evaluación del **riesgo** y de la **vulnerabilidad** consta de las etapas siguientes:*

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

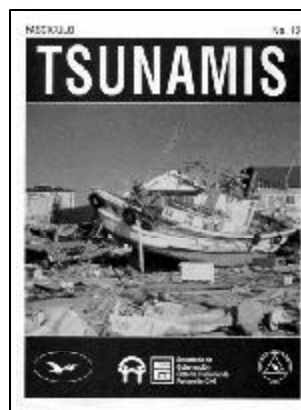


Fig. 35. Publicaciones sobre tsunamis del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE); en colaboración con el CENAPRED.

Como se explicó en la sección anterior, en las figuras 28 y 33 se detallan los resultados del análisis histórico y sismotectónico requeridos en la etapa I), que permite identificar un área de **riesgo menor por** arribo de tsunamis **lejanos**, al Noroeste de la Placa Rivera, y otra de **riesgo mayor** como consecuencia de los locales, al Sureste de esta placa. Para el área del Norte basta con un sistema de alerta en tiempo diferido; para la del sur es indispensable uno en tiempo real (de aviso inmediato). Esta última es la más vulnerable.

Debido a la complejidad de interacción de los maremotos con la costa, y a la gran variabilidad de sus alturas de ola aun en distancias cortas, para determinar rigurosa y confiablemente éstas y la longitud de inundación requeridas en la etapa II, es necesario efectuar simulaciones computacionales de generación, propagación y arribo **para cada localidad**. El CICESE, de común acuerdo con el CENAPRED, actualmente está efectuando simulaciones rigurosas de inundación por tsunamis, para varios puertos industriales, zonas turísticas y comunidades costeras del Pacífico de México.

Como resultado de este trabajo, ya se elaboraron los mapas de inundación de Ensenada, Zihuatanejo y Salina Cruz, que se publicaron en el Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana (Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México) editado por CENAPRED. Recientemente se elaboró también el mapa de inundación de Lázaro Cárdenas, Michoacán, que fue publicado en un libro editado por CICESE, El Colegio de México y El Colegio de Michoacán.

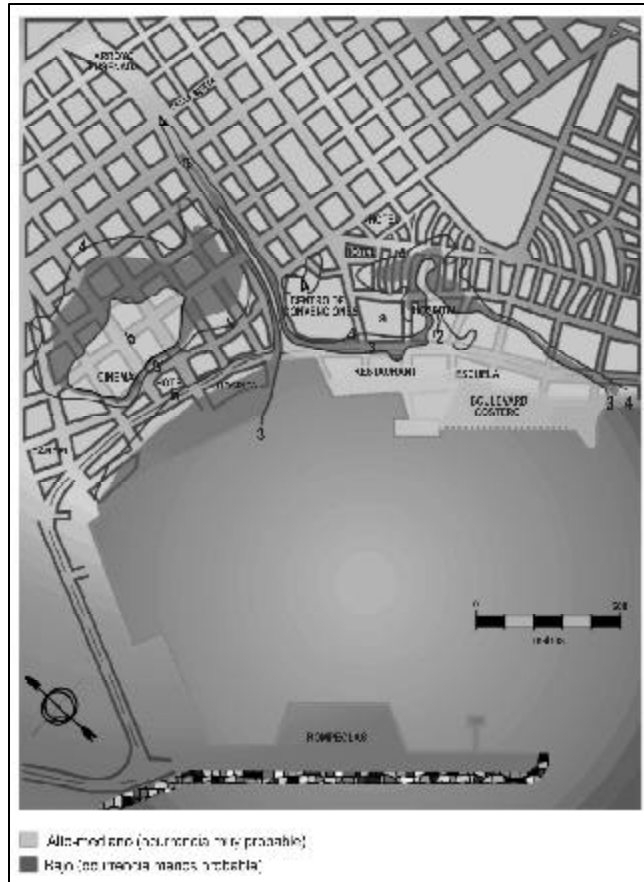


Fig. 36. Mapa de posible inundación por tsunami en Ensenada, Baja California.

Fuente: Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México. CENAPRED. México, D.F. 2001.

Estos mapas de inundación se distribuyen entre las autoridades estatales y municipales de protección civil de las comunidades afectables. A su vez, estas autoridades deben identificar los **asentamientos humanos con alta densidad de población y las edificaciones** (escuelas, hospitales, teatros, grupos habitacionales, centros comerciales, hoteles, restaurantes, oficinas públicas, plantas electrógenas, depósitos de combustible, centrales de comunicación y transporte, etc.) existentes en la zona de riesgo de inundación. Esta información y la contenida en los mapas de inundación se debe incorporar al Atlas local de riesgo de cada comunidad, analizarla y en éste incluir:

- a) **Rutas de evacuación.** Son vías que permiten evacuar las zonas inundables hacia las zonas seguras. Sus características más importantes son que deben ganar altura en la distancia más corta posible y tener anchura suficiente para no quedar bloqueadas por caída de construcciones ni por tráfico excesivo.
- b) **Refugios temporales.** Se clasifican en dos tipos: **Los ubicados en la zona de inundación** que corresponden a edificios de 3 ó más pisos (por ejemplo hoteles), de estructura suficientemente sólida para no ser dañados por sismos, donde se refugiarán personas (por ejemplo, madres con muchos niños, adultos mayores, enfermos, personas con capacidades especiales, etc.) que no hayan podido abandonar a tiempo esta zona de inundación.

Los ubicados fuera de la zona de inundación, son instalaciones donde se albergará a los desalojados

hasta que cese el arribo de la secuencia de olas del tsunami y el mar retorne a la calma, (de medio a un día ó más).

A fin de poder incorporar con suficiente detalle la información del mapa de inundación y de los asentamientos humanos, edificaciones, rutas de evacuación y refugios temporales, para el Atlas local de riesgo se sugiere usar cartas topográficas a escala 1:5,000 (o en su defecto 1:10, 000) de cada localidad.

Puesto que la altura máxima de olas de los tsunamis locales más destructivos que han ocurrido en México ha sido del orden de 10 metros, mientras no se

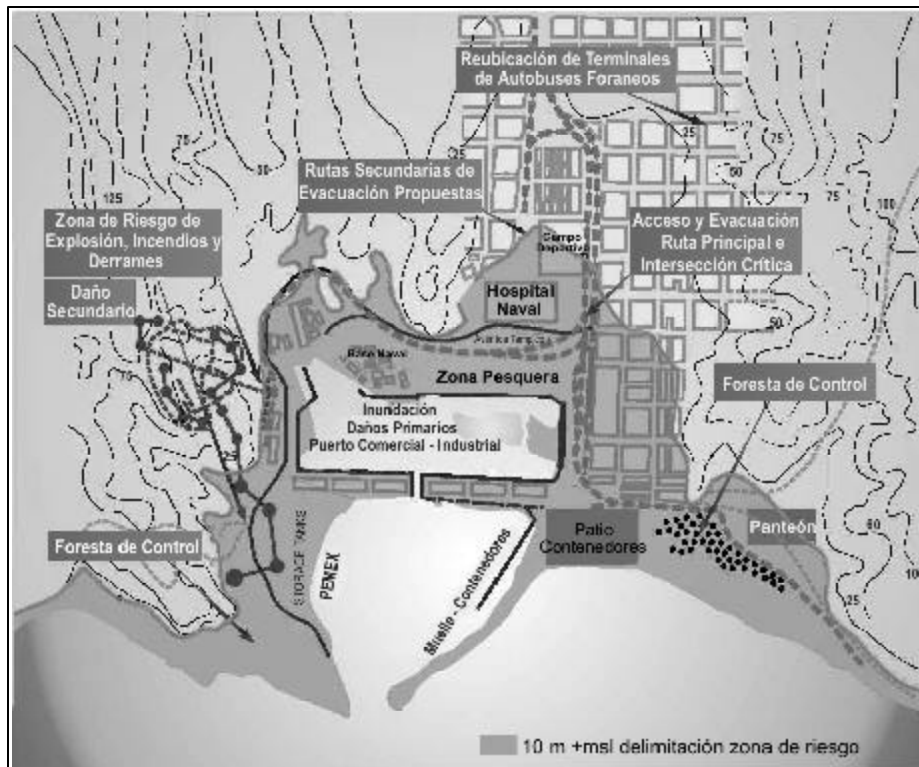


Fig. 37. Salina Cruz, Oax. Análisis de vulnerabilidad según usos del suelo, y recomendaciones para reducción del impacto por tsunamis, en la franja costera delimitada por la cota de 10 metros sobre nivel medio del mar. Fuente: Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México. CENAPRED. México, D.F. 2001.

hayan elaborado los mapas de inundación de todas las comunidades costeras, **preliminar y aproximadamente** es posible delimitar la franja costera entre la cota de 10 metros sobre el nivel medio del mar como la extensión del peor escenario esperable de desastre por este fenómeno. En la figura 37 se ilustra la probabilidad de este caso en Salina Cruz, Oaxaca, incluido un análisis de vulnerabilidad según los usos actuales del suelo y algunas recomendaciones para reducción del impacto por maremotos futuros. Así, a la espera de información más detallada y confiable que aportarán los mapas de inundación elaborados mediante computadora, se puede coadyuvar a la elaboración de planes de contingencia preliminares.

La política de ordenamiento territorial para uso y ocupación de la franja costera expuesta a tsunamis se debe basar en:

- a) la necesidad de ubicación de las actividades en la costa.
- b) su potencial para pérdida de vidas y obras materiales al ocurrir un tsunami, y
- c) la densidad de población.



Fig. 38. Estaciones portuarias y astilleros.
Fuente: www.semar.gob.mx/img/noticias/167_5.jpg

Para la ocupación de esta franja costera, a las diversas actividades se les han de asignar prioridades según las que, para cumplir sus funciones:



Fig. 39. Embarcaciones turísticas.
Fuente: www.tierradefuego.org.ar

1. **Imprescindiblemente deben** estar a la orilla del mar o usufructuando la costa. Ejemplos: instalaciones portuarias y astilleros, marinas para embarcaciones turísticas, playas habilitadas para recreación, instalaciones de cultivo de especies marinas, etc.
2. Aunque no sea necesario, **puede ser deseable** que se ubiquen en la zona costera: hoteles y restaurantes para turistas, empacadoras de pescado y mariscos, plantas de tratamiento de aguas residuales y de fosas sépticas, estacionamientos para automóviles, parques de recreación, tierras de cultivo agrícola, etc.
3. **Es innecesario** que estén a la orilla de la costa, que sean **muy vulnerables**, o que por su alta concentración de población hagan **difícil su evacuación**, especialmente durante la noche: escuelas, hospitales, teatros, cines, mercados, correos, centros comerciales, cárceles, grupos habitacionales, oficinas públicas, plantas de generación o de distribución eléctrica, centrales de comunicación, estaciones de autobuses y ferrocarriles, aeropuertos, museos, archivos de documentación pública (catastro, judiciales), estaciones de policía y de bomberos, industrias no relacionadas con el mar, etc.



Fig. 40. Costera mexicana, Acapulco, Guerrero.
www.southtravels.com/america/mexico/fiestaacapulco/gifs/hotelview.jpg

El Tsunami de 2004 en el Océano Índico

El terremoto del 26 de diciembre del 2004, con magnitud Mw 9.0, y epicentro frente a la costa occidental de Sumatra, Indonesia, se encuentra catalogado como el 3ro. entre los 5 más grandes a escala mundial desde el año 1900, superado entre otros por el de Chile de 1960 y el de Alaska de 1964 con magnitudes Mw de 9.5 y 9.2, respectivamente. Estos sismos también produjeron tsunamis que impactaron amplias regiones costeras del Océano Pacífico. El tsunami de 1960 afectó las costas de Hawaii y Japón, mientras que el de 1964 causó daños en el Golfo de Alaska, Hawaii y las costas occidentales de Canadá y Estados Unidos.

La región donde el temblor de Indonesia tuvo su mayor efecto, en términos de intensidades sísmicas, fue en el extremo norte de la isla de Sumatra. No obstante la gran magnitud del temblor, el número de inmuebles dañados fue bajo. Algunos edificios de mampostería y estructuras de concreto presentaron colapsos parciales o totales, o bien daño leve en muros o elementos estructurales. En consecuencia el número de víctimas por el sismo, aunque no fue posible determinarlo, fue relativamente bajo en comparación con las producidas por el tsunami.

El tsunami del Océano Índico del 2004, es el que mayor número de víctimas ha producido (cerca de 300,000), según se tiene conocimiento. Además de los daños por temblor en el norte de Sumatra, sus costas fueron afectadas severamente por el tsunami; éste también produjo numerosas víctimas en Sri Lanka, la India y Tailandia y también,

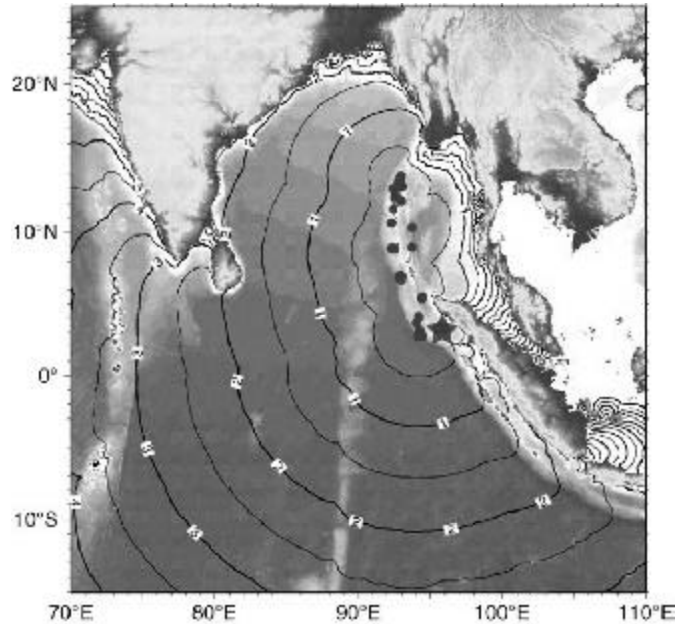


Fig. 41. Propagación del tsunami del 26 de diciembre del 2004. Se muestra el epicentro del sismo (estrella) y las principales réplicas (círculos) y el tiempo de viaje en horas.

aunque en menor proporción, en Somalia, Myanmar, Islas Maldivas, Malasia, Tanzania, Islas Seychelles, Bangladesh y Kenya. Asimismo, causó daños en Madagascar, Islas Mauricio y algunos sitios en la costa occidental de Australia.

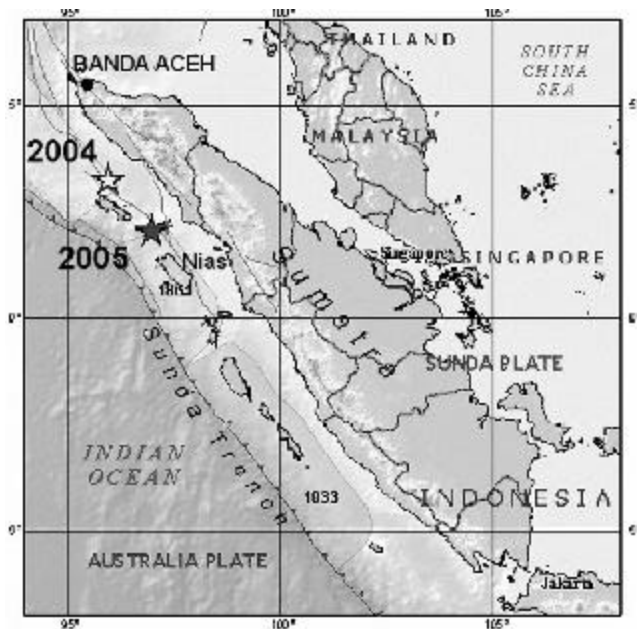


Fig. 42. Epicentros de los sismos del 26 de diciembre de 2004 (Mw 9.0) y 28 de marzo de 2005 (Mw 8.7).

El 28 de marzo del 2005, ocurrió otro sismo frente a la costa occidental de Sumatra, con magnitud Mw 8.7 y con epicentro 120 km al sureste del evento del 26 de diciembre. No obstante que este temblor se originó en la misma región sismogénica y con profundidad similar, el tsunami que produjo tuvo olas con altura máxima alrededor de 3 m y cuyo impacto fue significativo solamente en las islas más cercanas al epicentro. Esto pone de manifiesto que, no obstante la gran magnitud de un evento y que se haya originado en una zona donde se han producido tsunamis con gran poder de devastación, no necesariamente se tendrán resultados parecidos.



Fig. 43. Vista satelital del inicio del arribo del tsunami de Indonesia el 26 de diciembre de 2004.
Fuente: www.digitalglobe.com/images/tsunami/srilanka_kalutara_beach2_dec26_2004_dg.jpg



Fig. 44. En una franja de un kilómetro a lo largo de la costa en Banda Aceh la destrucción fue total.
Fuente: CENAPRED.

La Experiencia de Banda Aceh, Indonesia

Como ya se mencionó en este fascículo, al aproximarse a la costa la perturbación oceánica, **generalmente** se produce el retiro del mar poco tiempo antes de la llegada del tsunami.

De acuerdo con testimonios de sobrevivientes en la costa occidental de Banda Aceh, ciudad situada en el extremo norte de la isla de Sumatra, el mar se retiró entre 1 y 2 km de la línea de costa 20 minutos después de haber sido sentido el temblor. En esa condición de retiro se mantuvo durante aproximadamente 5 minutos. Desafortunadamente muchas personas, sorprendidas por ver expuesto el fondo marino y carentes de información en cuanto al peligro que esto anuncia, optaron por recoger los peces y conchas dejados por el mar.

En esa región la altura máxima de las olas fue de 9 m, según fue posible verificar en árboles y puentes cercanos a la costa.

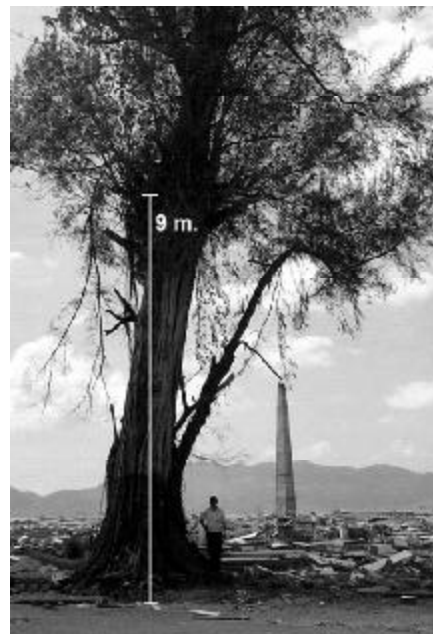


Fig. 45. El árbol mostró numerosos impactos y ramas rotas dando muestra de la altura del agua alcanzada en la línea de costa.
Fuente: CENAPRED



Fig. 46. Daños y depósitos de escombros entre 1 y 2.5 km a partir de la costa.
Fuente: CENAPRED



Fig. 47. Barco portador de una planta de generación de electricidad, con longitud de 75 m y línea de flotación de 3 m, hallado a 3 km de la costa en el área urbana de Banda Aceh.
Fuente: CENAPRED

En la fase de avance inicial, la cortina de agua con la altura referida impactó el área urbana. Sin embargo, a medida que avanzaba tierra adentro, no era solamente agua lo que causaba daños y víctimas sino una mezcla de ésta con toda clase de materiales producto de la destrucción de casas de mampostería y madera, lámina, vehículos, así como material férreo producto de la erosión costera, etc., dando prácticamente nulas posibilidades de supervivencia a quien hubiese sido capturado por el flujo.

En zonas alejadas de la costa, hasta unos 3.5 km, el agua alcanzó a inundar calles y plantas bajas de edificios con un tirante de 20 a 30 cm. Si bien esto último no implicó daño a la construcción misma, sí significó que instalaciones de importancia fundamental durante una emergencia, como hospitales y clínicas, quedaran fuera de operación por condiciones insalubres, esencialmente.

La gran distancia de penetración del tsunami en Banda Aceh se explica, entre otros factores, por una topografía predominantemente plana.



Fig. 48. Infraestructura de Banda Aceh afectada por el tsunami.
Fuente: www.bbc.co.uk/portuguese/especial/

Participación de México en el Sistema de Alerta de Tsunamis del Pacífico y Creación de un Sistema Nacional de Alerta en México

En 1965 la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO estableció el Sistema de Alerta de Tsunamis del Pacífico (PTWS, siglas en inglés), con sede en Honolulu, Hawaii. Opera las 24 horas del día durante los 365(6) días del año; sus funciones son monitorear la actividad sísmica y las fluctuaciones excesivas y rápidas del nivel del mar registradas mediante una red extensa de instrumentos detectores, evaluar la existencia o la potencialidad de generación de un tsunami, y disseminar esta información por medio de mensajes de **observación** y de **alerta** a los países miembros.

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



Fig. 49. Con apoyo del personal militar de Isla Socorro se trasladó la caseta de instrumentos a la cima oeste de la bahía Vargas Lozano. Isla Socorro. Fuente: CICESE



Fig. 50. Primer mareógrafo digital acústico mexicano. Manzanillo Colima, 1992. Fuente: CICESE

México es miembro fundador de este sistema. En forma provisional, y mientras se organiza el Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis, el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) actúa como agencia diseminadora de los mensajes del PTWS solamente para el estado de Baja California. Recibe, evalúa, y difunde mensajes e información desde y hacia el centro de operaciones en Hawaii y, si es necesario, a las autoridades locales, estatales y federales de protección civil.

En colaboración con la Secretaría de Marina, el CICESE ha instalado, mantiene y opera 3 estaciones detectoras de nivel anómalo del mar en Cabo San Lucas, Isla Socorro y Manzanillo, conectadas por satélite en tiempo real al centro de operaciones del sistema. Para tener cobertura más amplia del litoral del Pacífico de México, se tiene programado instalar más estaciones en otros puertos del Pacífico mexicano.

Acorde con los preceptos y lineamientos del Programa Nacional de Protección Civil 1995-2000 del gobierno federal, el Comité Científico Asesor del SINAPROC sobre Fenómenos Perturbadores de Origen Geológico elaboró y aprobó en marzo de 1998 la Recomendación RG/04/98 sobre "Detección, Monitoreo, Alerta y Prevención de Tsunamis en México". Esta recomendación incluye aspectos operativos para organizar un Sistema de Alerta de Tsunamis en México interconectado con el Sistema de Alerta de Tsunamis del Pacífico; y aspectos de investigación (elaboración de mapas de inundación), educación, difusión (edición de material impreso, audiovisual, textos de estudio) y de regulación (políticas de usos del suelo

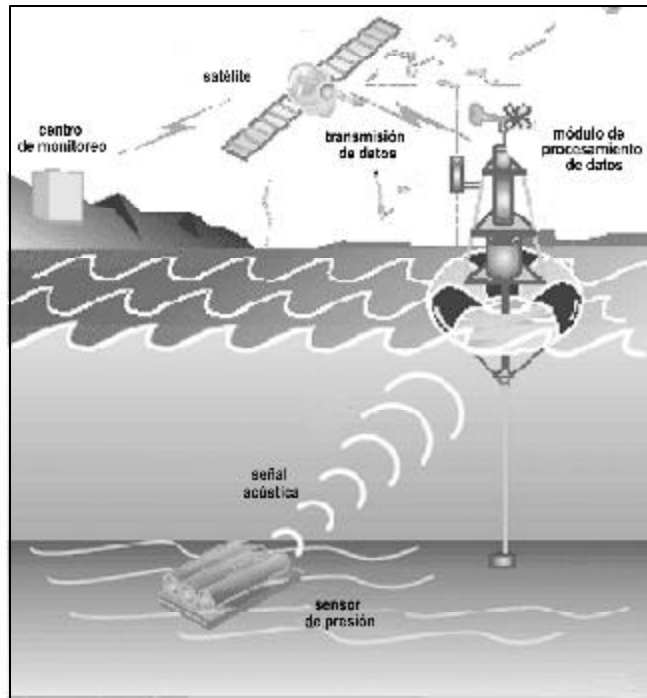


Fig. 52. Ejemplificación del envío de señal desde el mar, vía satélite al Centro de Operaciones del sistema.
Fuente: www.prh.noaa.gov/ititc/library/pubs/great_waves/images/



Fig. 51. Reunión del Grupo Interinstitucional para Tsunamis en México, CENAPRED

en zonas costeras). Desde 1998 se ha avanzado en la implementación de los aspectos de investigación, educación y difusión, con la elaboración de los mapas de inundación antes mencionados, la publicación de la primera edición de este Fascículo y de un folleto infantil de divulgación, entre otros. El 24 de febrero de 2005, la Coordinación General de Protección Civil y el CENAPRED de la Secretaría de Gobernación, constituyeron un Grupo Interinstitucional para Tsunamis en México, con el objetivo de elaborar un Esquema de Coordinación Nacional y establecer un Plan Operativo Preliminar Emergente que permita implementar a la brevedad las actividades operativas mencionadas en la Recomendación RG/04/98.

Recomendaciones a la Población Expuesta al Impacto por Tsunamis

Estas recomendaciones son aplicables si usted y su familia viven o trabajan cerca de la costa del Pacífico de México (a aproximadamente menos de un kilómetro o a diez cuerdas).

Recuerde que NO todos los terremotos causan tsunamis; solamente algunos.

La experiencia indica que la mayoría de las víctimas han sido quienes carecen de una preparación adecuada o desestiman las recomendaciones.

Prevención

Mucho antes de que ocurra algún Tsunami

Acuda a la Unidad de Protección Civil o a las autoridades locales para saber:

- Si las zonas en que usted y su familia viven, trabajan o estudian están sujetas a este riesgo.
 - Las rutas de evacuación a lugares altos.
 - Qué lugares funcionarán como refugios temporales: de emergencia y permanentes.
 - Por qué medios recibirá los mensajes de emergencia.
 - Cómo podrá integrarse a las brigadas de auxilio, si quiere ayudar.
 - En caso de tener niños o familiares enfermos, de edad avanzada o con capacidades diferentes, prevea cómo habrá de transportarlos ya que podrán requerir cuidados especiales.
 - Procure un lugar para proteger a sus animales y equipo de trabajo.
 - Guarde fertilizantes e insecticidas en lugares a prueba de agua e inundaciones, para evitar contaminación.
 - Con familiares y compañeros de trabajo elabore un plano, con indicación de rutas de evacuación, lugares de refugio y de reunión posterior.
- Si las autoridades le solicitan su colaboración, participe responsablemente en simulacros de evacuación.
 - Siempre tenga a la mano un botiquín para primeros auxilios, y un radio portátil con pilas.
 - Aprenda a interrumpir el suministro de gas y de electricidad de su vivienda.



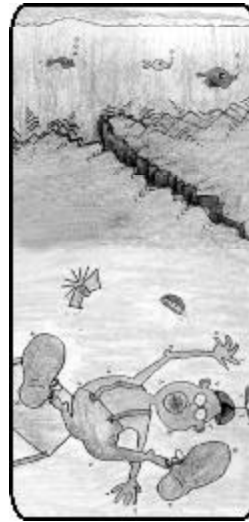
Durante el Tsunami

Si vive en una zona costera del Pacífico y SIENTE UN SISMO suficientemente FUERTE como para agrietar paredes, o que impida mantenerse de pie, es muy probable que en los siguientes segundos o pocos minutos llegue un tsunami. Primero protéjase de los efectos del terremoto: colóquese bajo una mesa o en el dintel de una puerta, lejos de cualquier objeto que pueda caerle. No espere aviso de las autoridades acerca de generación de un posible tsunami, porque es posible que no haya tiempo suficiente. Considere el sismo como una alerta natural; aléjese de playas y zonas bajas de la costa, y de inmediato diríjase a un lugar alto.

SI NO SIENTE NINGÚN SISMO O ÉSTE ES DÉBIL, pero escucha noticias de que en un lugar -cercano o lejano- del Océano Pacífico ocurrió un terremoto, manténgase alerta, con su radio o televisor encendido para recibir información e instrucciones de fuentes oficiales.

Atienda y obedezca las indicaciones de las autoridades, conserve la calma y evite pánico innecesario.

Si las autoridades le alertan de que se aproxima un tsunami, busque refugio en alturas superiores a 15 metros. Las autoridades y los servicios nacionales e internacionales de alerta de tsunamis no emiten alarmas falsas.



Solamente si hay tiempo suficiente (tsunami lejanos)

- Alce, fije y amarre todos los objetos sueltos que pueda arrastrar el tsunami.
- Para tener reserva de agua no contaminada, selle la tapa del pozo o del aljibe.
- Cierre los suministros de gas y energía eléctrica.
- Cierre bien las puertas y ventanas de su vivienda.
- Aléjese de la zona de posible inundación y diríjase al lugar de refugio asignado, llevando consigo un botiquín de mano, algunos documentos personales importantes y un radio portátil.

Si el tiempo es insuficiente (tsunamis locales)

- Olvídense de objetos, muebles, etc.: Llévase solamente un botiquín de mano y algunos documentos personales importantes. HUYA PARA SALVAR SU VIDA, la de sus familiares y la de sus animales. Vaya a un lugar de refugio que esté al menos un kilómetro tierra adentro de la costa o a 15 metros sobre el nivel del mar, o por lo menos al tercer piso de un edificio sólido que no haya sido dañado por el sismo.
- Si las autoridades le recomiendan evacuar la casa donde vive o su lugar de trabajo, ¡HÁGALO!. Evacúe ordenadamente y en calma, sin pánico.
- Si las autoridades le indican que NO debe evacuar, porque está fuera de la zona de peligro, ¡NO EVACÚE!
- La mayoría de los maremotos se inician con un retiro del mar, que deja grandes extensiones al descubierto (en seco). Es un aviso. No se acerque a la playa a mirar, recoger peces o mariscos, ni a esperar al tsunami. **Inmediatamente aléjese**. Éste llegará en pocos minutos, a gran velocidad, y será demasiado tarde para huir. Nunca vaya a la playa a observarlo; podría ser lo último que vea.
- Los tsunamis pueden penetrar por ríos, arroyos, esteros y lagunas costeras varios kilómetros tierra adentro. Aléjese de esos cuerpos de agua.
- A lo largo de la costa, las alturas de las olas de un maremoto varían considerablemente, aun en distancias cortas. No debemos fiarnos del tamaño pequeño de sus olas al llegar a una playa; es posible que a muy pocos kilómetros de ahí sean muy altas.
- Evite caminar por sectores inundados. Aunque el nivel del agua sea bajo, rápidamente puede aumentar, desarrollar velocidades peligrosas, y a su paso arrastrar automóviles, embarcaciones, árboles, animales, rocas, escombros, etc. No se acerque a conductores eléctricos averiados; recuerde que el agua es conductora de la electricidad.
- Un tsunami no es UNA sola ola, sino una secuencia o **TREN** de olas que arriban espaciadas entre sí una tras otra cada 10 a 40 minutos. En un lapso de 12 a 24 horas puede haber 10 ó más olas destructivas. Si su vivienda o lugar de trabajo se encuentra en la zona afectada, NO debe regresar a ella hasta que las autoridades le indiquen que el peligro ya ha terminado.
- En mar abierto, lejos de la costa, las alturas de las olas de un maremoto son muy pequeñas. Solamente al llegar a la costa son destructivas. Si usted se encuentra en una embarcación y siente un sismo fuerte o recibe aviso de ocurrencia de un maremoto, no se acerque a puerto; si está en uno, salga a mar abierto.



Después del Tsunami

- Conserve la calma; tranquilice a sus familiares.
- Permanezca fuera de las áreas de desastre. Su presencia podría entorpecer las acciones de auxilio y rescate.
- Pero si las autoridades se lo solicitan, preste completa ayuda a las organizaciones de socorro, protección civil, y autoridades militares y navales.
- Inmediatamente reporte los heridos a los servicios de urgencia.
- No tome agua ni coma alimentos que hayan estado en contacto con el agua del mar.
- Mantenga desconectados el gas y la electricidad hasta asegurarse que no haya fugas ni peligro de cortocircuitos.
- Antes de conectar sus aparatos eléctricos, cerciórese de que estén secos.
- Informe de los daños al drenaje y a los sistemas de agua potable.
- Acate las instrucciones emitidas por las autoridades a través de la radio, televisión u otro medio de difusión.
- No divulgue ni haga caso a rumores.



Glosario

Altura del punto de penetración máxima de un tsunami / Run-up.

- a.) Diferencia entre la elevación de penetración máxima de un tsunami (línea de inundación) y el nivel del mar en el momento del ataque del tsunami.
- b.) Elevación alcanzada por el mar medido en relación con algunos niveles fijos tales como el nivel medio del mar, bajamar media, nivel del mar en el momento del ataque del tsunami, entre otros y medido, si es posible, en un punto correspondiente al máximo local de la inundación horizontal.
- c.) En términos prácticos, el run-up se mide solamente donde existe una evidencia clara en la orilla del límite de la inundación.

Altura media de un tsunami. Altura promedio de un tsunami medido del valle al seno después de eliminar la variación de la marea.

Área de inundación. Área inundada por el tsunami.

Caída. Cambio descendente o depresión del nivel del mar asociado con un tsunami, una marea, o algún efecto climático de largo periodo.

COI. Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO. (<http://unesco.org/ocweb/default.htm>)

Dispersión del Tsunami. La redistribución de la energía del tsunami en función de su periodo, cuando viaja atravesando un cuerpo de agua.

Estación Mareográfica. Dispositivo para medir la altura (ascenso y descenso) de la marea. Especialmente un instrumento que automáticamente hace un registro gráfico continuo de la altura de la marea en el tiempo.

Fuente del Tsunami. Punto o área de origen del tsunami, normalmente el sitio donde ha ocurrido un terremoto, erupción volcánica o deslizamiento que causó un desplazamiento rápido de agua para iniciar las ondas del tsunami.

GIC/ITSU. Grupo de Coordinación Internacional para el Sistema de Alarma de Tsunami en el Pacífico. ICG/ITSU es una organización internacional que promueve la cooperación y coordinación de las actividades de mitigación de tsunami. Se estableció en 1965 como un cuerpo subsidiario de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO, y está compuesto de representantes nacionales de Estados Miembros en la Región del Pacífico. Actualmente tiene 25 Estados Miembros: Australia, Canadá, Chile, China, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Estados Unidos de América, Federación de Rusia, Fiji, Filipinas, Francia, Guatemala, Islas Cook, Indonesia, Japón, México, Nicaragua, Nueva Zelanda, Perú, República de Corea, República Popular Democrática de Corea, Samoa Occidental, Singapur y Tailandia.

ITIC. Siglas en inglés del Centro Internacional de Información sobre Tsunami. Establecido en 1968 por la COI, ITIC trabaja estrechamente con el Centro de Alarma de Tsunami del Pacífico (PTWC). Ubicado en Honolulu, Hawai, ITIC es responsable, entre otras funciones, de supervisar las actividades internacionales de la alerta contra tsunamis en el Pacífico. (<http://www.prh.noaa.gov/itic/>)

ITSU. Grupo de Coordinación Internacional para el Sistema de Alarma contra Tsunami en el Pacífico.

IUGG. Siglas en inglés de la Union Geodésica y Geofísica Internacional.

Longitud de ondas de Tsunami.

Distancia horizontal entre puntos similares en dos ondas sucesivas medidas perpendicularmente al seno. La longitud de la onda y el periodo del tsunami dan una información sobre la fuente del tsunami. Para tsunamis generados por terremotos, el rango de longitud de onda típico es de 20 a 300 km. Para tsunamis generados por deslizamientos, el rango de la longitud de la onda es de centenares de metros a decenas de kilómetros.

Marea. Ascenso y descenso rítmico y alternado de la superficie (o del nivel del agua) del océano y de cuerpos de agua conectados con el océano como los estuarios y golfos. Ocurre dos veces al día sobre la mayor parte de la Tierra. Es el resultado de la atracción gravitatoria de la luna (y en menor grado del sol) actuando desigualmente en las diferentes partes de la Tierra en rotación.

Mareograma.

- a) Registro hecho por un mareógrafo.
- b) Cualquier representación gráfica del ascenso y descenso del nivel del mar, con el tiempo como abscisa y la altura como ordenada; normalmente se usa para medir las mareas, también puede mostrar tsunamis.

Modelo Hidráulico. Modelo reducido de una cuenca o un puerto para simular los efectos de la acción de la ola o de la inundación causada por un huracán o un tsunami.

Paleotsunami. Evento que ocurrió antes de que se contara con un registro

histórico. Los trabajos de investigación se basan principalmente en la recolección y análisis de depósitos de tsunami encontrados en áreas costeras y en otras evidencias de levantamiento o subsidencia de costas asociadas con terremotos cercanos, con esta clase de estudios se puede obtener una cantidad significativa de información sobre antiguos tsunamis, que nos ayudan en la evaluación de la amenaza de este fenómeno.

Periodo del Tsunami. Tiempo en que una ola del tsunami completa un ciclo. Los periodos de tsunami típicamente varían entre cinco minutos y dos horas.

Plan maestro. Plan principal que perfila los métodos y procedimientos que necesitan ser seguidos para lograr las metas a largo plazo de un programa. La primera edición del Plan Maestro GIC/ITSU se emitió en 1989. La segunda edición se emitió en el 2000. Estos se pueden consultar en: <http://www.prh.noaa.gov/itic/>

PTWC. Por sus siglas en inglés, Centro de Alerta contra Tsunami en el Pacífico. El PTWC es la oficina principal del Sistema Operacional de Alerta contra Tsunami en el Pacífico y trabaja estrechamente con otros centros nacionales y regionales supervisando estaciones sísmicas mareográficas alrededor del Océano Pacífico, para evaluar terremotos potencialmente tsunamigénicos. El PTWC es operado por el Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos. Más información puede consultarse en: <http://www.nws.noaa.gov/pr/ptwc>

PTWS. Siglas en inglés del Sistema de Alerta contra Tsunami en el Pacífico. El PTWS es el sistema operacional de alerta contra tsunami en el Pacífico.

Rompeolas. Una estructura en la costa similar a una pared que se usa para proteger un puerto o playa de la fuerza de las olas.

Sismo tsunamigénico. Un terremoto que produce un tsunami. Los sismos tsunamigénicos se caracterizan por un foco poco profundo, dislocaciones de la falla mayores que varios metros y el plano de la falla es más pequeño que para los terremotos normales. Estos también son terremotos lentos, el desplazamiento a lo largo de sus fallas ocurre más despacio que como ocurriría en terremotos normales.

Teletsunami. Tsunami generado por una fuente a distancias de más de 1,000 km.

Mucho menos frecuentes, pero con un potencial de amenaza más alto son los tsunamis distantes que afectan la cuenca del Pacífico. Éstos ocurren cuando la perturbación que genera el tsunami es suficientemente grande. Normalmente inicia como tsunami local con ondas que viajan por toda la cuenca del océano con energía suficiente para causar víctimas y destrucción adicional a su lugar de origen, sobre las costas a más de mil kilómetros.

Tiempo Estimado de Llegada. Se refiere a la estimación en tiempo con base en la modelación de la velocidad y la refracción de la onda de tsunami que se propaga desde la fuente. La llegada se estima con una buena precisión (menor a dos minutos) si la batimetría y la fuente son conocidas.

Tsunami Atmosférico. Ondas similares a los tsunamis generadas por el rápido movimiento de un frente de presión atmosférica sobre un mar poco profundo, aproximadamente a la misma velocidad de las ondas, permitiendo un acoplamiento entre ellas.

Tsunami Local. Tsunami con efectos destructivos que se confinan en las costas dentro de un rango de cien kilómetros de la fuente que los generó, normalmente causado por un terremoto, a veces por un deslizamiento.

Tsunami Regional. Tsunami capaz de causar destrucción en una región geográfica particular, generalmente dentro de los 1,000 km de su origen. Ocasionalmente los tsunamis regionales tienen también efectos muy limitados y localizados en zonas fuera de la región.

Tsunamigénico. Generador de un tsunami. Por ejemplo, un terremoto generador de tsunami o deslizamiento.

Bibliografía y Referencias

- Centro Nacional de Prevención de Desastres, 1994. Los tsunamis en México. Secretaría de Gobernación, México, D.F., 24 p.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2001. Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México: Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana, México, D.F., 225 p.
- Farreras, S.F. and A.J. Sánchez, 1987. Generation, wave form and local impact of the September 19, 1985 Mexican tsunami, *Science of Tsunami Hazards*, 5(1): 3-13.
- Farreras, S.F., and A.J. Sánchez, 1991. The tsunami threat on the Mexican West coast: an historical analysis and recommendations for hazard mitigation, *Natural Hazards*, 4(2 and 3): 301-316.
- Farreras S.F., 1997. Tsunamis en México; en: Monografía # 3: Contribuciones a la Oceanografía Física en México, M.F. Lavín (editor), Unión Geofísica Mexicana, México, D.F., Cap. 4 : 75-98.
- Farreras S.F., Pararas-Carayannis G. y otros, 2002. Alerta de Tsunami (Maremoto): Qué Hacer (librito infantil). El Colegio de Michoacán, El Colegio de México, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, y Centro Nacional de Prevención de Desastres (Secretaría de Gobernación), Lázaro Cárdenas, Michoacán, México, 32 p.
- Farreras S., Ortiz M., y G. Alcalá, 2003. Riesgo de Maremotos en Ciudad Lázaro Cárdenas, Michoacán: Medidas de Prevención. Serie: Linderos de la Costa, Vol. 3, El Colegio de México, CICESE, y El Colegio de Michoacán, México, D.F., 100 pp., ISBN: 970-679-111-6
- García A.V. y Suárez R.G., 1996. Los sismos en la historia de México, Vol. 1: 450 años de documentos. Fondo de Cultura Económica - CIESAS - UNAM, México, D.F.
- Ortiz M., González J., Reyes R. y C. Nava, 1996. Efectos costeros del tsunami del 9 de Octubre de 1995 en la costa de Colima y Jalisco. Informe Técnico, CICESE, 20 p.
- Salazar C.J., 1989. El maremoto de Cuyutlán, 1932. Sociedad Colimense de Estudios Históricos, Colima, México.
- Sánchez A.J., and S. F. Farreras, 1993. Catálogo de tsunamis (maremotos) en la costa occidental de México, World Data Center A for Solid Earth Geophysics, Publication SE-50, National Geophysical Data Center, NOAA, Boulder, Colorado, USA, 79 p.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, 1990. Programa Nacional de Desarrollo Urbano 1990-1994, Diario Oficial de la Federación, 14 de agosto de 1990, pag. 58-110.
- Secretaría de Gobernación, 1996. Programa Nacional de Protección Civil 1995-2000. Decreto. Diario Oficial de la Federación, Organismo del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, México, D.F., DXIV (13), 17 de Julio de 1996, pag. 2- 35.
- Sistema Nacional de Protección Civil, Comité Científico Asesor sobre Fenómenos Perturbadores de Origen Geológico, 1998. Recomendación RG/04/98: "Detección, Monitoreo, Alerta y Prevención de Tsunamis en México", México D.F., 10 p.

Internet

Información adicional y publicaciones sobre tsunamis se encuentran en los siguientes sitios de Internet:

<http://www.cenapred.unam.mx/publica.html>

http://observatorio.cicese.mx/Tsunami_Links.htm

<http://www.prh.noaa.gov/itic/index.html>

<http://www.prh.noaa.gov/ptwc>

<http://earthquake.usgs.gov/eqinthenews/2004/usslav/>

"Fascículo Tsunamis"

Se terminó de imprimir en agosto de 2005, en los *talleres de navegantes de la comunicación gráfica*, S.A. de C.V., calle pascual ortíz rubio no.40, tel 5532 5575, México, D.F. La edición en papel bond de 90 grs. en interiores y portada en cartulina sulfatada de 14 puntos, consta de 10,000 ejemplares más sobrantes para reposición.



**Coordinación General de Protección Civil
Centro Nacional de Prevención de Desastres
Dirección General de Protección Civil**

Av. Delfín Madrigal No.665,
Col. Pedregal de Sto. Domingo,
Del. Coyoacán,
México D.F., C.P. 04360

www.cenapred.unam.mx