

TSUNAMI

ENTENDIENDO EL
PODER DEL MAR

por

Teresa Vera San Martín

2025

TSUNAMI Entendiendo el poder del mar
© 2025 Teresa Vera San Martín.
Primera edición digital: septiembre/2025
ISBN: 978-9942-51-992-4 (ebook/PDF)
Guayaquil-Ecuador
DOI: 10.5281/zenodo.18236900

Se permite la reproducción, distribución y uso de esta obra con fines educativos, científicos y de divulgación, siempre que se cite apropiadamente al autor.

Para citar este libro:

Vera San Martín, Teresa. (2025). Tsunamis. Entendiendo el poder del mar. Edición del autor. Guayaquil, Ecuador. Disponible bajo licencia CC BY 4.0: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Prólogo

Año 2004, lugar playa vacacional en Tailandia, protagonista Tilly una niña de 10 años. Es diciembre 26 una hermosa mañana y Tilly disfruta en la playa pero en un momento reconoce ciertas señales en el mar, las había aprendido en su clase de Geografía. Tilly usó ese conocimiento y salvó a más de 100 personas del tsunami más dantesco de este milenio, el del “Boxing Day” en el océano Índico.

Año 2010, isla Juan Fernández, Chile, Martina de 12 años se prepara para dormir, es de noche y siente un temblor. Con familiares corren tierras arriba, pero Martina sabe que necesita alertar a todos sus seres queridos y vecinos, sin dudarlo regresa y busca el gong, tocó y tocó desesperadamente alertando a la comunidad. Mucha gente se levantó y evacuó.

Gracias al conocimiento, convicción, valentía y solidaridad de nuestra protagonistas sus vecinos y los vacacionistas lograron evacuar a tiempo antes de que poderosos tsunamis azotaran las costas. Estas historias, más que relatos de supervivencia, son testimonio del poder de la observación y la preparación ante la furia de la naturaleza. Así comienza nuestro viaje para entender cómo conocimiento y preparación pueden salvar vidas frente a estos imponentes fenómenos naturales.

Guayaquil, mayo 2025

Tabla de Contenidos

1. Introducción: El Poder Oculto del Océano.....	6
2. ¿Qué es un Tsunami? Desmitificando el Fenómeno.....	10
3. El Origen de los Tsunamis – La física detrás de la generación.....	16
4. El Viaje del Tsunami: Cómo se Comportan las Ondas Gigantes.....	25
5. Señales naturales (ambientales) de alerta ¡Reconócelas!.....	34
6. Impactos Devastadores: Efectos en Costas y Comunidades.....	37
7. La Alerta Temprana y los SAT: La Carrera contra el Tiempo.....	44
8. Preparación Personal y Familiar: Su Plan de Supervivencia.....	58
9. El poder de la comunidad.....	62
10. Medidas estructurales y no estructurales para protegerse de los tsunamis.....	67
11. La Educación y preparación son esenciales.....	75
12. Casos de Estudio: Lecciones de Tsunamis Históricos.....	81
13. Tsunami <i>earthquakes</i> la amenaza silenciosa.....	89
14. Los tsunami en el escenario de Cambio Climático.....	92
15. El Futuro: Tecnología y Prevención.....	96

**"El mar alberga belleza y
terror, disfrutamos
tanto de la belleza que
nos olvidamos de ese
terror"**

Sobreviviente de tsunami

1. Introducción: El Poder Oculto del Océano



El 26 de diciembre de 2004, mientras alrededor del mundo celebraban aún las fiestas navideñas, el océano Índico se convirtió en el escenario de una de las catástrofes más devastadoras de la historia moderna. Un tsunami generado por un terremoto de magnitud 9.1 se extendió por miles de kilómetros, impactando las costas de Indonesia, Tailandia, Sri Lanka, India y otros 9 países, causando más de 230000 muertes. Esta tragedia marcó un antes y un después en nuestra comprensión de los tsunamis y la importancia de estar preparados.

Es un hecho que los tsunamis son una de las fuerzas más destructivas de la naturaleza, capaces de arrasar ciudades costeras en minutos. Sin embargo, muchas personas aún no comprenden completamente ¿qué los provoca? ¿cómo actúan? ¿podemos predecirlos? ¿cuáles son las señales de su próxima ocurrencia? Y lo más importante: ¿cómo podemos prepararnos y protegernos de ellos?

Este ebook está diseñado para llevarte en un viaje de comprensión que va desde aspectos de la ciencia de los tsunamis hasta acciones prácticas que pueden salvar tu vida y la de tu familia en caso de enfrentarte a esa experiencia. No necesitas ser un experto en oceanografía, geología o riesgos; solo necesitas la curiosidad de aprender y la determinación de estar preparado para cuando un tsunami llame de nuevo.

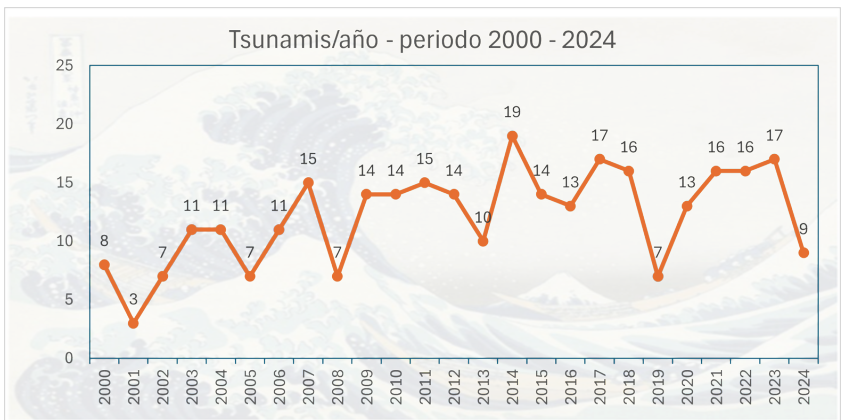
**La educación y la preparación
salvan vidas. Aprende y enseña
qué es un tsunami y qué hacer
ante él.**

¿Por qué es importante este conocimiento?

Los tsunamis no son eventos tan raros como muchos creen. Según datos de la Administración Atmosférica y Oceánica (NOAA) de Estados Unidos desde el siglo XX han ocurrido aproximadamente 6.5 tsunamis por año en el mundo. Aunque no todos son devastadores, aquellos que sí lo son pueden cambiar para siempre la vida de comunidades enteras.

La diferencia entre la vida y la muerte durante un tsunami a menudo se reduce a minutos de preparación y segundos de decisión correcta. Este conocimiento no es solo información; **es poder**. El poder de protegerte y a quienes amas y de contribuir a comunidades más resilientes. Es el poder humano frente al poder implacable del mar.

Las estadísticas de frecuencia de tsunamis de la NOAA para los últimos 25 años se presentan en la figura siguiente.



Nota: Base de datos de tsunami NOAA, 2024

**Un tsunami no es una
ola gigante, es una
pared de océano
entero desplazándose
hacia ti,
repetidamente**

2. ¿Qué es un Tsunami?

Desmitificando el Fenómeno

Más que una Ola Gigante

Contrario a lo que muchas películas de Hollywood nos han mostrado, un tsunami no es simplemente una ola gigante tipo *surf* que se estrella contra la costa. La palabra "tsunami" proviene del japonés y significa "ola del puerto" (tsu = puerto, nami = ola), pero esta traducción literal no captura la verdadera naturaleza de este fenómeno.

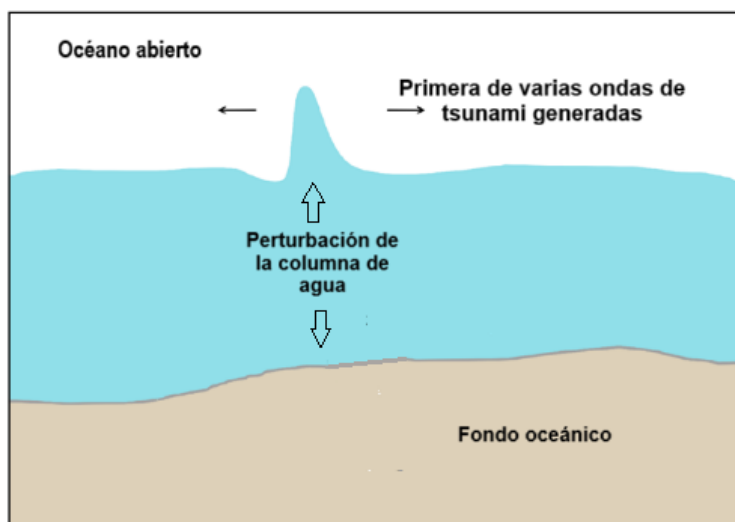
津波

La denominación se debe a que antiguamente, los pescadores notaban que cuando regresaban a sus puertos, encontraban destrucción... aunque en alta mar no hubieran sentido nada. Estas olas, aunque pueden ser apenas perceptibles en alta mar, se tornan extremadamente peligrosas al llegar a zonas costeras, donde su energía se concentra y su altura puede incrementarse drásticamente.

En síntesis la energía y ocurrencia de estas ondas puede pasar inadvertida en el océano profundo, pero al acercarse a la costa, se transforma en una amenaza mortal.

Un tsunami generado por un sismo de magnitud 9.0 se estima que podría transportar una energía equivalente a cerca de 25 bombas de Hiroshima detonadas al mismo tiempo.

Un **tsunami** es, en realidad, una serie de ondas oceánicas de período largo generadas por perturbaciones súbitas y de gran escala que desplazan masivamente agua en el océano. Estas ondas pueden viajar a velocidades increíbles a través de océanos enteros, manteniendo su energía a lo largo de miles de kilómetros. Al recalar en las costas esa energía es descargada en forma de masas de agua de gran altura, velocidad y energía.



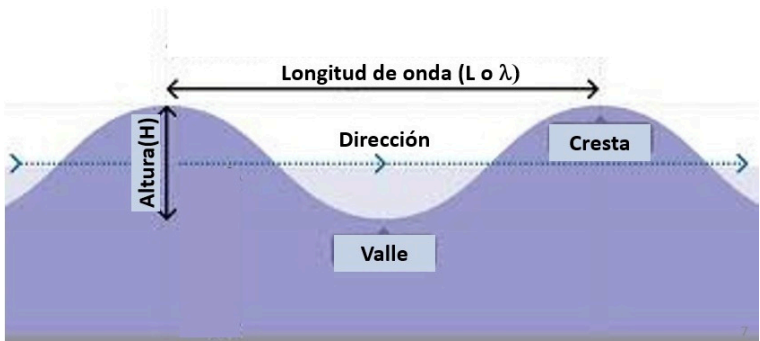
Características Únicas de los Tsunamis

Velocidad Extraordinaria: En aguas profundas, los tsunamis pueden viajar a velocidades de hasta 800 kilómetros por hora, comparable a la velocidad de un avión comercial. Esta velocidad se debe a que las ondas del tsunami involucran todo el volumen de agua desde la superficie hasta el fondo oceánico, con la cantidad de energía que esto implica.

Longitud de Onda Excepcional: Mientras que las olas normales del océano tienen longitudes de onda de unos pocos metros, los tsunamis pueden tener longitudes de onda de cientos de kilómetros. Esto significa que la distancia entre una cresta y la siguiente puede ser por ejemplo mayor que la distancia entre dos ciudades importantes.

La longitud de onda es la distancia horizontal entre dos picos o crestas consecutivas.

ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE LAS OLAS



Duración: Un evento de tsunami puede durar horas, con varias olas sucesivas.

Periodo Extendido: El tiempo entre la llegada de una ola de tsunami y la siguiente puede ser de 10 minutos a más de una hora. Esto es crucial para entender que después de la primera ola, el peligro no ha pasado.

Importante: No todas las olas grandes son tsunamis, y no todos los tsunamis se manifiestan como olas gigantes. Algunos se presentan como un rápido aumento del nivel del mar, lo que puede ser igualmente peligroso.

Comprender estas características es esencial para reconocer la amenaza de forma temprana y actuar con rapidez. En el siguiente capítulo, exploraremos cómo se originan los tsunamis en función de los distintos procesos geológicos y naturales.

La Diferencia con las Olas de viento

Para entender mejor los tsunamis, es importante contrastarlos con las olas oceánicas de viento:

TSUNAMI	OLAS DE VIENTO
Generados por movimientos sísmicos o perturbaciones masivas de la columna de agua	Generadas por el viento
Involucran toda la columna de agua	Afectan solo la superficie del agua
Longitud de onda en aguas profundas: 10 – 500 km	Long. de onda en aguas profundas : cientos de metros
Período: 1.6 minutos – 2.8 horas	Período: 5-20 segundos
Velocidad: 600 – 800 km/h en aguas profundas	Velocidad: 25– 50 km/h
Altura en aguas profundas: pocos centímetros, menor al metro.	Altura en aguas profundas: cm a pocos metros

Conceptos Erróneos Comunes

Los mitos más extendidos sobre tsunamis son los siguientes, aquí se los confronta con la realidad:

MITO	REALIDAD
Un tsunami es una sola ola enorme	Suele ser una serie de varias olas (5 a 10 olas), la más destructiva o la más grande no siempre es la primera
Puedes escapar del tsunami desde la playa corriendo	La velocidad en tierra de un tsunami se compara a la de una motocicleta (~36 km/hora) Una persona promedio en carrera rápida alcanza entre 13 y 16 km/hora
Solo ocurren en el oc. Pacífico	Pueden ocurrir en cualquier océano, inclusive en mares y lagos grandes
Un tsunami es igual a una marejada ciclónica	No son lo mismo. Las marejadas se generan por huracanes, los tsunamis no
Siempre son olas gigantescas de decenas de metros de altura	Pueden crecer a diferentes alturas, pero la velocidad y el momentum de la masa de agua hacen que más de 30 cm de altura impida estar de pie a una persona
Los tsunamis son olas enormes con rompientes tipo surf	Los tsunamis pueden presentarse como masas de agua turbulenta tipo "bore"
Antes de la llegada de un tsunami siempre hay una retirada del mar	No. Hay casos en que no hubo esta señal. Depende de varios factores.
Todos los tsunamis son generados por sismos	Un porcentaje de alrededor del 15% son generados por otras fuentes
Si me llega alerta pero no siento un sismo en la costa, no hay problema	Existen los "tsunami earthquake", un tipo de tsunami cuyas dimensiones son desproporcionadas en relación al sismo que los origina, el cual puede pasar inadvertido para el público en las costas cercanas. Otras fuentes que los originan también pueden pasar inadvertidas o puede tratarse de tsunamis regionales o lejanos.

**Los tsunamis se originan
principalmente por
sismos submarinos
asociados al movimiento
de placas tectónicas. Bajo
el océano, las placas se
deslizan con la lentitud
del crecimiento de una
uña... hasta que se
fracturan y liberan
súbitamente una energía
capaz de levantar un
tsunami**

3. El Origen de los Tsunamis

Los tsunamis son eventos secundarios ya que son generados por un evento primario generador. Dado que son el resultado o efecto de una causa, revisemos cuáles son esas causas.

3.1 Los Mecanismos Generadores

Los tsunamis pueden originarse por varios mecanismos, pero todos tienen algo en común: involucran el desplazamiento repentino de grandes volúmenes de agua. Veamos cada uno de estos mecanismos en detalle.

3.1.1 Terremotos Submarinos: La Causa Principal

Aproximadamente el 85% de todos los tsunamis son generados por terremotos submarinos. Pero no cualquier terremoto genera un tsunami; deben cumplirse las condiciones siguientes:

- Magnitud de momento (M_w) del sismo superior a 6.5 (según algunas fuentes > 6.3)
- Epicentro bajo el océano o cerca de la costa
- Ruptura que cause desplazamiento vertical del fondo marino
- Profundidad focal relativamente superficial (menos de 60 km)

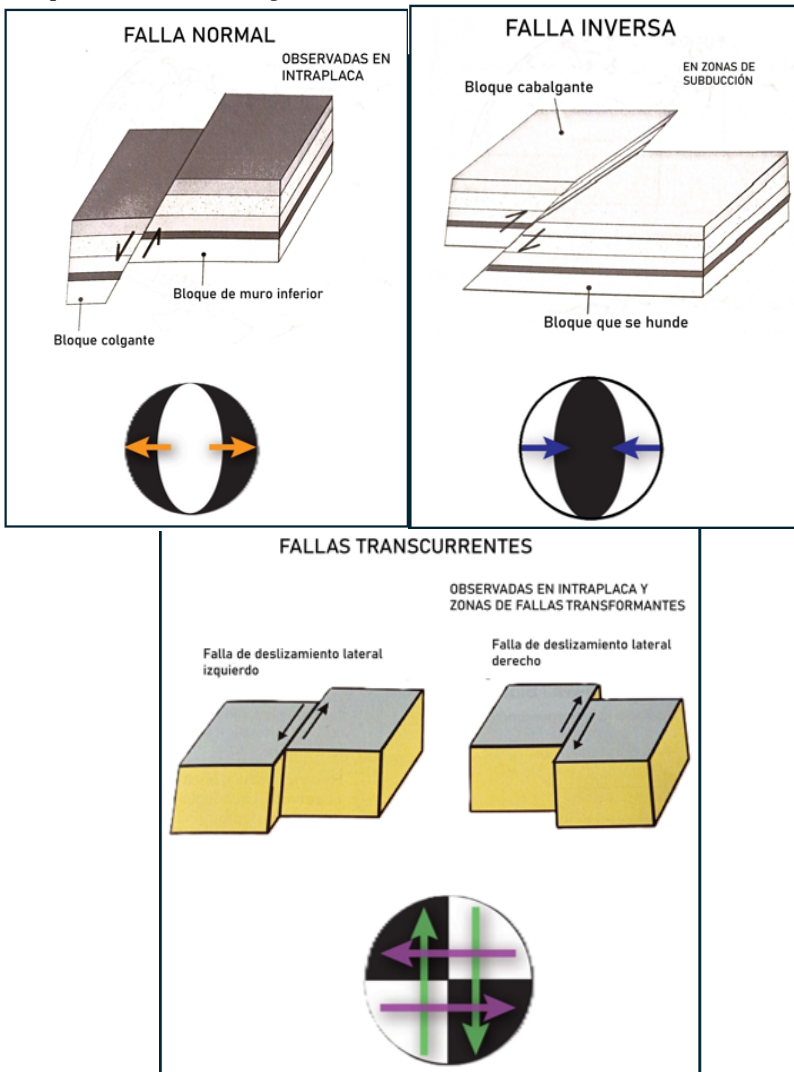
El proceso se desencadena cuando las placas tectónicas se deslizan súbitamente, liberando energía acumulada durante años o siglos. La ruptura causa que secciones del fondo oceánico se eleven o descieran abruptamente, a veces varios metros en segundos. El desplazamiento vertical del fondo marino desplaza el volumen equivalente de agua oceánica, creando la perturbación inicial del tsunami. La energía se propaga desde el origen hacia afuera, en múltiples direcciones.

La eficiencia en la generación de tsunamis de origen sísmico y su dirección predominante de propagación están determinadas por factores como:

- la geometría de la falla,
- el tipo de mecanismo focal (subducción/falla normal/ deslizamiento horizontal),
- la magnitud y profundidad del sismo,
- la extensión y velocidad de ruptura,
- el deslizamiento generado y
- las características del fondo marino (acoplamiento débil o fuerte).

Los sismos superficiales (profundidad < 60 km), de magnitud de momento (M_w) > 6.5 , generados en una zona de subducción (falla inversa), con una extensión de ruptura de cientos de km y tiempos de ruptura de varios minutos, tienen el potencial de generar los mayores tsunamis.

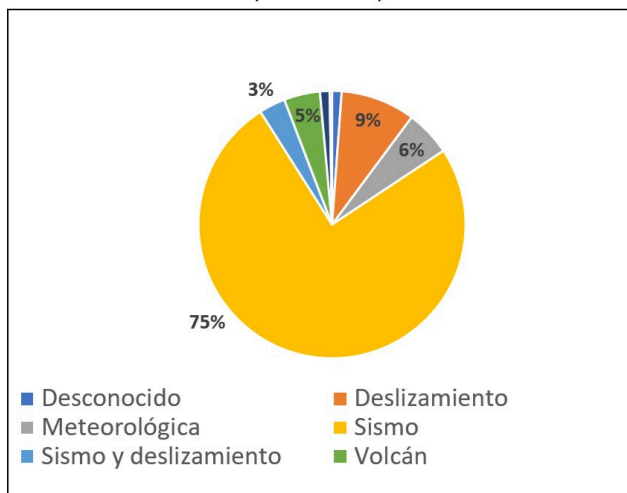
Tipos de falla y mecanismo focal asociado



Fuente: Adaptado de Hara T., 2014

Principales Causas de tsunamis

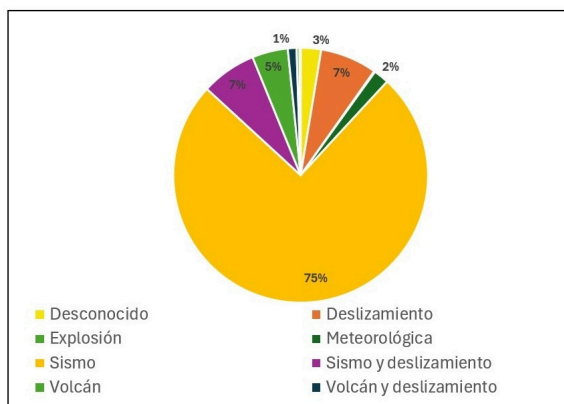
DISTRIBUCIÓN TSUNAMIS POR ORIGEN
(2000-2024)



Nota: Base de datos NOAA, 2024

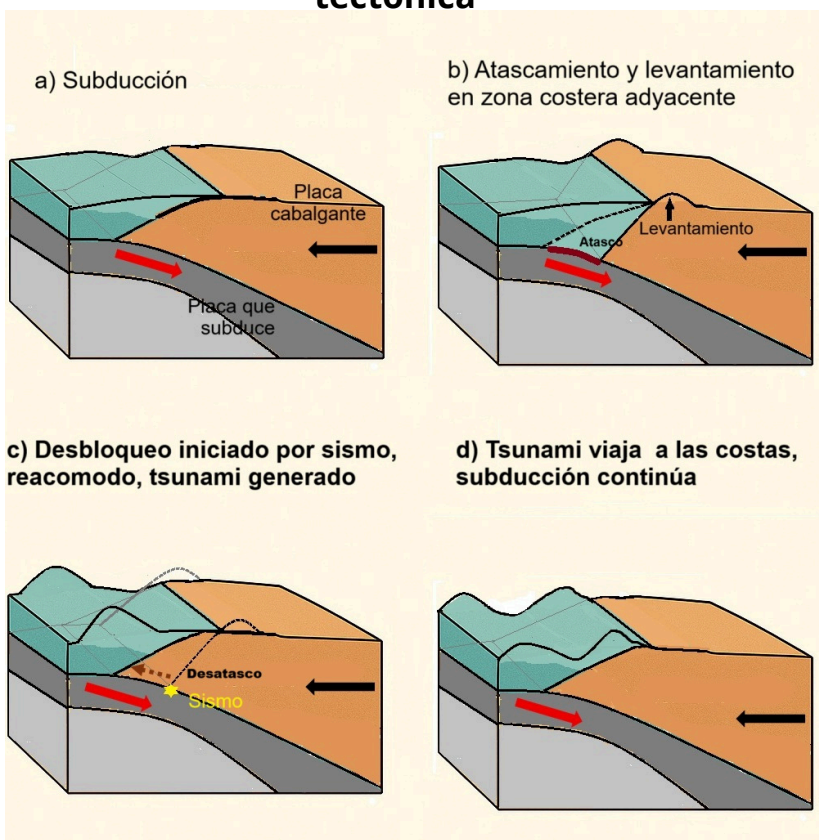
Alrededor del 75% de tsunamis son de origen sísmico. El gráfico superior presenta los últimos 25 años de registro y el inferior todos los registros de la base de datos que cubren aproximadamente 4000 años.

DISTRIBUCIÓN TSUNAMIS POR ORIGEN
(2000 AC -2024)



Nota: Base de datos NOAA, 2024

Generación de un tsunami por fuente sismo-tectónica



En a) La placa oceánica subduce o se desliza bajo la placa continental (placa cabalgante), al ser un borde de placas convergente ambas se mueven hacia él desde direcciones opuestas pero la presencia de asperezas origina un atascamiento, b) en la zona adyacente costera eso produce un levantamiento gradual del suelo, c) un sismo inicia el desbloqueo, libera el atascamiento y se produce el reacomodamiento de las placas, el levantamiento costero cede a la vez que se genera un tsunami, d) el tsunami viaja hacia las costas.

3.1.2 Deslizamientos Submarinos y Subaéreos

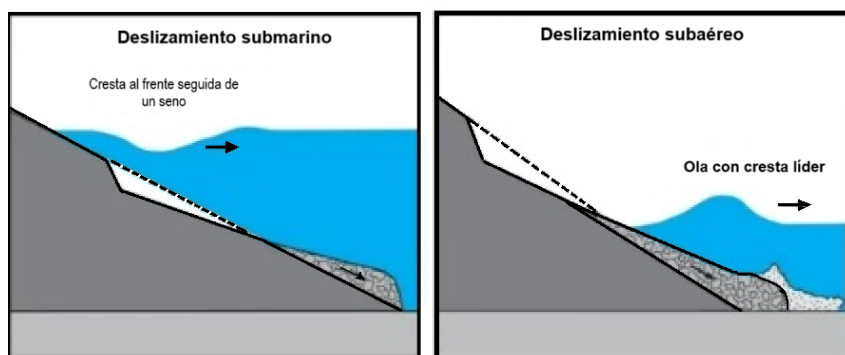
Los deslizamientos de tierra pueden ser tsunamigénicos cuando involucran grandes volúmenes de material que se desplazan rápidamente hacia el océano o en el interior de él.

Deslizamientos Submarinos:

- Pueden ser disparados por terremotos
- Involucran sedimentos del fondo marino
- Ejemplo histórico: Grand Banks, Canadá (1929)

Deslizamientos Subaéreos:

- Material terrestre que cae al océano
- Pueden ser extremadamente localizados pero devastadores
- *Ejemplo:* Bahía Lituya, Alaska (1958) - generó olas de hasta 524 metros- el tsunami más alto registrado hasta ahora.



Nota: Adaptado de Extreme Waves and Coastal Resilience [Diapositiva], por Heidazardeh M., 2025, Universidad de Bath.

3.1.3 Erupciones Volcánicas

Las erupciones volcánicas pueden generar tsunamis a través de varios mecanismos:

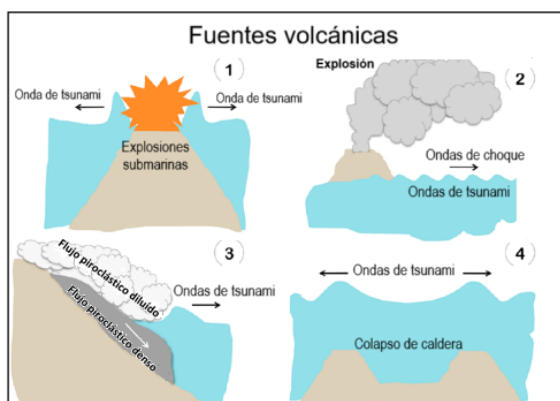
Colapso de Calderas: Cuando una cámara magmática se vacía súbitamente, puede causar el colapso de la estructura volcánica. (4)

Flujos Piroclásticos: Masas de roca caliente, gas y ceniza que entran rápidamente al océano. (3)

Explosiones Volcánicas: La explosión directa puede desplazar grandes volúmenes de agua. (2)

Explosiones submarinas: El magma asciende y se libera violentamente bajo el agua, generando ondas de choque y desplazando grandes volúmenes de agua, generando un tsunami, como en la erupción del volcán Hunga Tonga-Hunga Ha'apai en 2022.(1)

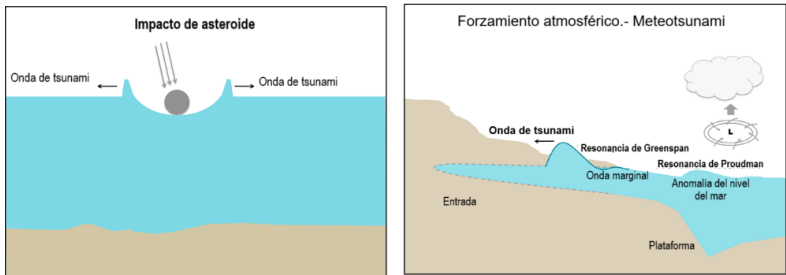
Ejemplo: La erupción del Krakatoa en 1883 generó tsunamis de hasta 40 metros de altura, causando más de 36,000 muertes en Java y Sumatra (Indonesia).



Nota: Adaptado de Grezio et al., 2017

3.1.4 Impactos de Meteoritos

Aunque extremadamente raros, los impactos de meteoritos o asteroides en el océano pueden generar tsunamis catastróficos. El denominado tsunami de Chicxulub, asociado a un asteroide gigante de 10 km de diámetro que cayó en el Golfo de México 65.5 millones de años atrás sería, según una teoría, el causante de la desaparición de los dinosaurios. Los modelos científicos sugieren que eventos de este tipo podrían ser devastadores a escala global.



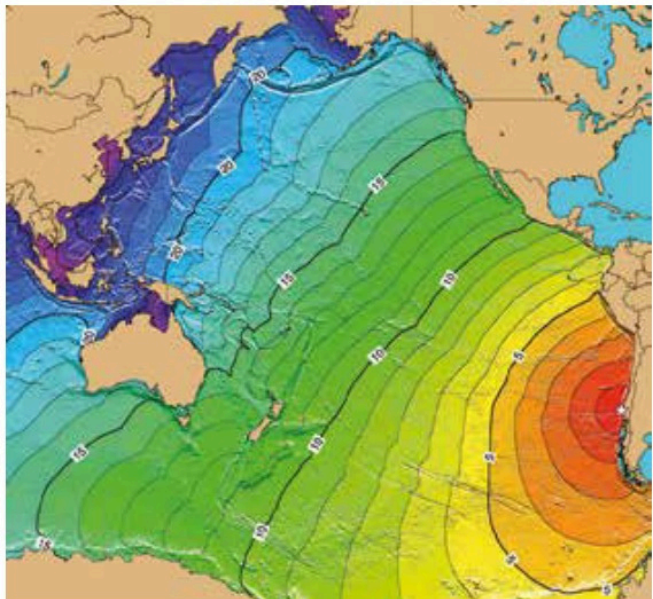
Nota: Adaptado de Grezio et al., 2017

3.1.5 Meteotsunamis

Su origen está vinculado a la meteorología y procesos convectivos. Son causados por perturbaciones atmosféricas de pequeña escala que se aproximan a la costa desde el mar en dirección a una bahía o costa con una forma favorable.

Presentan la misma física de ondas que los tsunamis relacionados con cualquier otro de los mecanismos mencionados previamente, pero son menos energéticos y, en principio, solo localmente destructivos.

**Los tsunami pueden cruzar
océanos enteros en menos de
un día, en el océano profundo
viajan tan rápido como un
avión comercial**



Nota: COI, 2019

4. El Viaje del Tsunami: Cómo se Comportan las Ondas Gigantes en Alta mar vs. en la Costa

La Propagación a Través del Océano

Una vez generado, el tsunami inicia un viaje que puede abarcar océanos enteros. Este viaje tiene características únicas que determinan cuándo y cómo impactará las costas distantes.

La velocidad de un tsunami en aguas profundas se calcula usando la fórmula:

$$V = \sqrt{g \times h}$$

Donde **V** es velocidad, **g** aceleración de la gravedad (9.8 m/s^2) y **h** profundidad del agua (m).
Ejemplos de velocidades en dos profundidades:

- Profundidad 6,000 metros: ~780 km/h
- Profundidad 100 metros: ~100 km/h

Los tsunamis viajan muy rápido en agua profundas. A mayor longitud de onda de las olas también es mayor su velocidad, recordemos que los tsunamis en océano abierto tienen longitudes de onda del orden de cientos de Km.

La propagación del tsunami

La forma cómo se propaga un tsunami en la zona cercana a su origen está muy relacionada con la forma de la fuente. En el caso de las olas de un tsunami de origen sísmico, estas se propagan principalmente en ángulo recto con respecto a la línea de falla del sismo de origen (línea roja en la figura), es decir, en dos direcciones opuestas.

Simulación del tsunami de 1960. Fuente: NOAA y PTWC



Nota: NOAA & PTWC

Cuando el impacto inicial tiene características “puntuales” como el de una piedra que cae en la superficie del agua, la propagación se produce en forma de ondas concéntricas dirigidas hacia todas direcciones alejándose de la fuente.

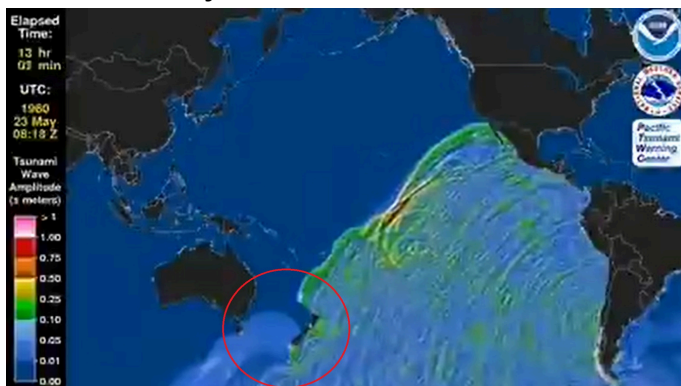
Más allá de la zona de generación, en su viaje, las ondas interactuarán con el fondo y con los obstáculos que se encuentren en su trayectoria.

El viaje de los tsunami y la propagación de energía

Los tsunami viajan en un océano cuyo fondo marino (la batimetría) es irregular. En él existen accidentes geográficos como las dorsales oceánicas, los montes y elevaciones submarinas, las fosas oceánicas, los cañones submarinos y las cadenas de islas. Esto hace que se produzcan una serie de interacciones y cambios en la dirección y la concentración de energía a lo largo del frente de propagación del tsunami.

Cuando las ondas de tsunami viajan por agua que disminuye su profundidad (por ejemplo al cruzar el tsunami por dorsales, montes y elevaciones submarinas, o al acercarse a islas), se produce refracción de las ondas del tsunami causando efectos como concentración o focalización en unas direcciones y dispersión o defocalización en otras.

Al cruzar las olas de tsunami con cadenas de islas se produce reflexión y difracción, lo que también redistribuye la energía que este transporta. En la figura (círculo rojo) note la difracción del frente.



Además en el caso de tsunamis transoceánicos (los que cruzan océanos enteros), durante su viaje, el tsunami mueve toda la columna de agua y a su paso va deformando en mayor o menor medida el fondo oceánico (también en función de la rigidez de ese fondo) y en ese proceso va parte de su energía. Esto reduce la velocidad de las ondas, lo que explicaría en parte porqué las olas tardan más en llegar a la costa de lo que predicen los modelos.

Los otros factores que afectan la propagación y los tiempos de viaje del tsunami, mencionados por estudios previos, son el efecto de Coriolis en el caso de tsunamis que se mueven en latitudes medias y altas, la variación de la densidad del agua, las variaciones del geopotencial, datos batimétricos inexactos, errores en la ubicación de la fuente o desviaciones de la suposición de ondas largas lineales.

Simulación del tsunami de 1960, momento en que alcanza Japón



Nota: NOAA & PTWC

Transformación al Acercarse a la Costa

El comportamiento del tsunami cambia dramáticamente en aguas someras:

- *Disminución de Velocidad:* A medida que la profundidad de la columna de agua disminuye, la velocidad también lo hace.
- *Aumento de Altura:* La energía que antes se distribuía en una columna de agua profunda ahora se concentra en menos profundidad, causando que las olas crezcan.
- *Acortamiento de Longitud de Onda:* Las olas se comprimen, haciendo que lleguen con mayor frecuencia.

CARACTERÍSTICAS	EN ALTA MAR	CERCA DE LA COSTA
Altura	Menos de 1 metro	Hasta 30 + metros
Longitud de onda	Cientos de Kilómetros	Disminuye drásticamente
Velocidad	Hasta 800 km/h (como avión comercial)	Disminuye a entre 30 - 50 km/h
Periodo	Minutos u horas entre onfas	Ondas llegan cada 5 a 90 minutos

Los tsunami pueden manifestarse en la costa como muros de agua turbulenta o como mareas de agua creciente que la inundan rápidamente.

Factores locales como la batimetría, la morfología costera, el ancho de la plataforma continental, la orientación de la costa y la distancia desde la fuente se relacionan directamente con las características de un tsunami en una determinada costa.

Proceso de *Shoaling*: Cambios en la onda de tsunami por efectos de los cambios de profundidad de la columna de agua a lo largo de su viaje. Cambia su velocidad, longitud de onda, altura, densidad de energía.

Efectos de la Topografía Submarina

La forma del fondo oceánico influye significativamente en cómo se comporta el tsunami:

- *Cañones Submarinos:* Pueden canalizar y concentrar la energía del tsunami, amplificando su impacto en ciertas áreas.
- *Plataformas Continentales:* Las plataformas anchas y graduales tienden a disipar parte de la energía, mientras que las costas con plataforma estrecha y taludes empinados pueden experimentar olas más altas.
- *Bahías y Ensenadas:* Las olas pueden amplificarse a través de efectos de resonancia y focalización.
- *Islas en la trayectoria:* Las islas pueden servir de barrera en el viaje del tsunami, disipando parte de su energía y desviando su trayectoria generando difracción y refracción.

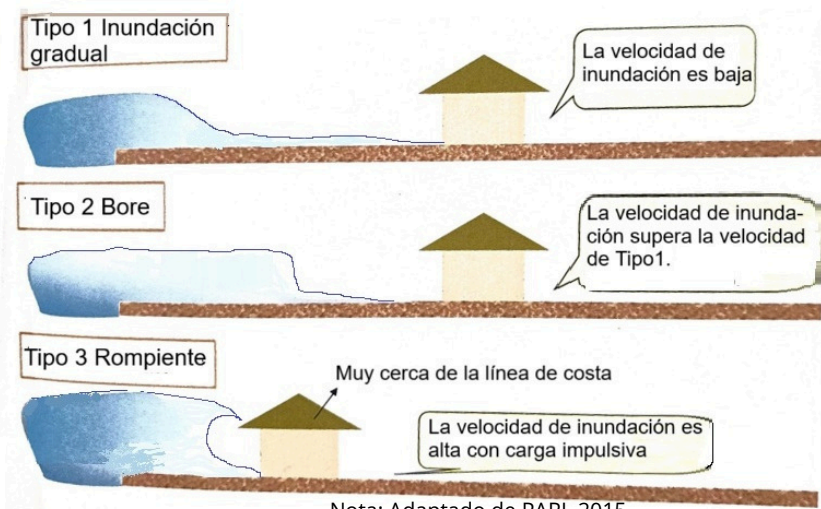
Refracción y Difracción

Los tsunamis, como otras ondas, experimentan refracción y difracción:

- *Refracción*: Cuando las ondas encuentran cambios en la profundidad del agua, pueden curvarse, concentrando energía en algunas áreas y dispersándola en otras.
- *Difracción*: Las ondas pueden bordear obstáculos como islas, permitiendo que la energía del tsunami llegue a áreas que parecerían estar protegidas.

La llegada del tsunami a la costa

Un tsunami puede manifestarse de diferentes maneras en la costa. Allí los tsunamis suelen formar rompientes que se derraman, generalmente no rompen como olas de volteo. Las velocidades de inundación difieren en cada caso.



Inundación de la costa

Ya en tierra **el run-up** o altura máxima del tsunami en el límite de inundación y su alcance o inundación horizontal dependen de factores como la altura de la ola, la pendiente de la costa, la topografía local y la rugosidad del suelo, la que es influenciada a su vez por la presencia de elementos naturales (p.e vegetación) o artificiales (p.e. estructuras, edificaciones).



Nota: Adaptado de COI, Glosario Tsunami, 2019

**No esperes una alerta oficial
si ves señales claras. Actúa
rápido**

5. Señales naturales (ambientales) de alerta ¡Reconócelas!

- ✓ Retirada repentina del mar (el agua se aleja de la costa)/ o hay un aumento súbito del nivel del agua.
- ✓ Temblor fuerte y prolongado (si estás en la costa).
- ✓ Ruido atronador proveniente del mar (como un tren o un avión acercándose).
- ✓ Cambios en la topografía del paisaje, por ejemplo grietas apareciendo en el suelo.
- ✓ Ocurrencia de deformaciones del suelo como hundimientos/levantamientos

Las señales ambientales de la ocurrencia inminente de un tsunami

Sentir un sismo estando en la zona costera



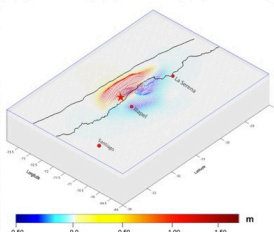
Escuchar un sonido grave, fuerte e inusual que viene del mar (algunos testigos dijeron que suena “como todos los vientos del mundo” o “como el rugido de 100 Niágaras”)



Observar cambios en la topografía del paisaje, como grietas en el suelo.



Ocurrencia de deformaciones del suelo como hundimientos/levantamientos



The Chile-2015 (Ilaapel) Earthquake and Tsunami, Brattenberg, Carla Rabinovich, Alexander B.

Las señales ambientales de la ocurrencia inminente de un tsunami

Un súbito retroceso o aumento anormal del nivel del mar

Tsunami Khao Lak Beach 26 Dec 2004 10:20 am



Fuente: Khao Lak Ausflüge, CC BY-SA 4.0
<<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>>, via Wikimedia Commons

Ver la ola o pared de agua que se acerca



Fuente: KELLEPICS, Pixabay

Las “olas” pueden ser en realidad paredes tumultuosas de agua que llegan



Fuente: Satake, K. 2014

Aunque son ondas de gravedad, en general la imagen dista mucho de la apariencia real de los tsunami



Fuente: Hokusai, The great wave

Cambio en el color del agua debido a la arena o sedimentos que se remueven del fondo



Fuente: YellowPanda2001, CC BY 4.0
<<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>>, via Wikimedia Commons

Comportamiento anómalo de animales marinos: aves, peces



**Los tsunami son de los
fenómenos naturales más
mortales y destructores**

6. Impactos Devastadores: Efectos en Costas y Comunidades

La Fuerza Destructiva del Agua

La comprensión y el dimensionamiento de los impactos de los tsunamis son fundamentales para valorar la importancia de la preparación. Sus efectos son directos e indirectos, sobre vidas, bienes, infraestructura, ecosistemas.

IMPACTO DE LOS TSUNAMIS



IMPACTO DE LOS TSUNAMIS (2000 – 2023)

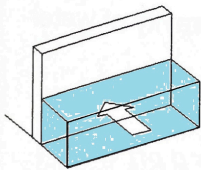


En el periodo 2000 – 2023 (NOAA Base de Datos consulta actualizada)

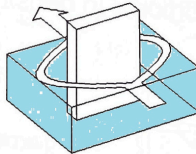
Mecanismos de Destrucción

- La fuerza Hidrodinámica
- El impacto de escombros
- La socavación
- La fuerza de arrastre: Capaz de derribar edificios y arrancar árboles.
- Las corrientes de retorno: Peligrosas durante todo el evento.
- La inundación: por penetración tierra adentro. Se reportaron casos en que la ola penetró hasta 8 km tierra adentro de la costa.

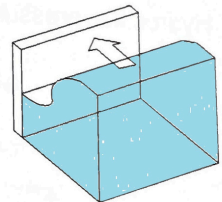
Tipo de Fuerza ejercida por el tsunami



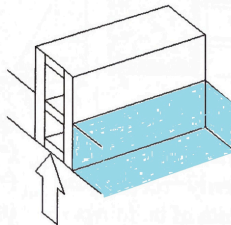
Fuerza hidrostática



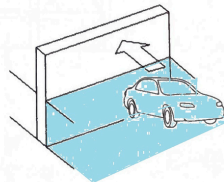
Fuerza de arrastre



Fuerza impulsiva



Fuerza de boyantez



Fuerza de impacto
de escombros

IISEE Lecture

Nota: Adaptado de Kabeyasawa, T. (2014-2015)

Características del impacto de tsunamis

El impacto del tsunami en la costa no es homogéneo, la interacción con la costa y sus variabilidades modificará las características del tsunami y por tanto el nivel de impacto a lo largo de ella será variable.

El runup y las profundidades de inundación del tsunami en las costas son variables. Sin embargo, debido a las fuertes corrientes que generan, aún tsunamis con profundidad de inundación de 30 cm, pueden desestabilizar a una persona e impedir que se movilice y evacue. También se ha señalado en varias fuentes (Shigihara et al., 2021; Baba et al., 2022; Koshimura et al., 2009) que tsunamis de 2 m o más dañan completamente viviendas de madera. La fuerza de las corrientes modifican la costa, pueden arrastrar embarcaciones y todo tipo de elementos o incluso levantar estructuras sumergidas.

Daño vs. altura de ola/velocidad



Nota: Adaptado de Imamura, F. (2014-2015)

Referencia de Costos Históricos:

- Tsunami del Océano Índico (2004): ~\$16 mil millones
- Tsunami de Japón (2011): ~\$293 mil millones
- Tsunami de Chile (2010): ~\$43 mil millones

Fuente: CRED DATABASE

Factores que exacerban el impacto de los tsunamis

- **La hora del día a la que suceda el tsunami:** Tsunamis nocturnos, son más mortales (menor visibilidad, población durmiendo)
- **La temporada en la que ocurre un tsunami:** Tsunamis que ocurren durante temporadas turísticas afectan a más personas
- **Las condiciones climáticas cuando ocurre un tsunami:** Condiciones climáticas adversas complican la respuesta, p.e. la evacuación.
- **Las condiciones de la marea:** Tsunamis que ocurren coincidiendo con la fase de la marea alta son más peligrosos.
- **El tipo de costa sobre la que impacta el tsunami:** Un terreno costero plano favorece la penetración de las olas y una mayor extensión de la inundación.
- **La hidrodinámica costera:** La presencia de descargas de ríos favorece la inundación, al servir estas como trayectorias de ingreso a las olas de tsunami.

- **La cercanía del foco de origen:** Los tsunamis, como se mencionó antes, son eventos secundarios, frecuentemente generados por sismos submarinos. Cuando un tsunami tiene origen sísmico cercano, sus efectos no llegan solos: se suman a los del sismo en la zona costera, amplificando el daño y generando una destrucción potencialmente catastrófica que generalmente supera con creces la capacidad de respuesta de las comunidades expuestas.

Entre los efectos del sismo generador, además de daños directos a infraestructuras, pueden ocurrir deslizamientos, licuefacción, hundimientos, levantamientos, aparición de grietas o fallas en el terreno. Luego el tsunami con su fuerza puede, además de arrastrar todo tipo de elementos, levantar edificios enteros debilitados por el sismo y desencadenar incendios y daños ambientales.



Ciudad de Taro, costa noroeste de Japón, antes y después del tsunami del 2011



Nota: Tsuji Y., 2014

**Cuando un tsunami ataca,
salvar tu vida puede ser
cuestión de minutos**



7. La Alerta Temprana y los SAT: La Carrera contra el Tiempo

La Importancia Crítica del Tiempo

La **Alerta Temprana** es una herramienta identificada para anticiparse a los impactos que una amenaza inminente acarrea, permitiendo tomar anticipadamente las medidas que atenúen ese impacto.

En la alerta y respuesta para tsunamis, el tiempo es literalmente la diferencia entre la vida y la muerte. **La Alerta Temprana** (AT) es la primera línea de defensa, proporcionando el tiempo precioso necesario para evacuar las áreas de peligro.



Sistemas de Monitoreo y Alerta de Tsunami a nivel Global

SISTEMAS GLOBALES DE MONITOREO Y ALERTA

- Océano Índico (IOTWS), 28 países
- Sistema de Alerta de Tsunamis del Pacífico (PTWS), 46 países
- Sistema de Alerta Temprana del Caribe (Caribe EWS), 48 estados en el Caribe y Atlántico W.
- Sistema de Alerta de Tsunamis del Atlántico Nororiental y Mediterráneo (NEAMTWS).

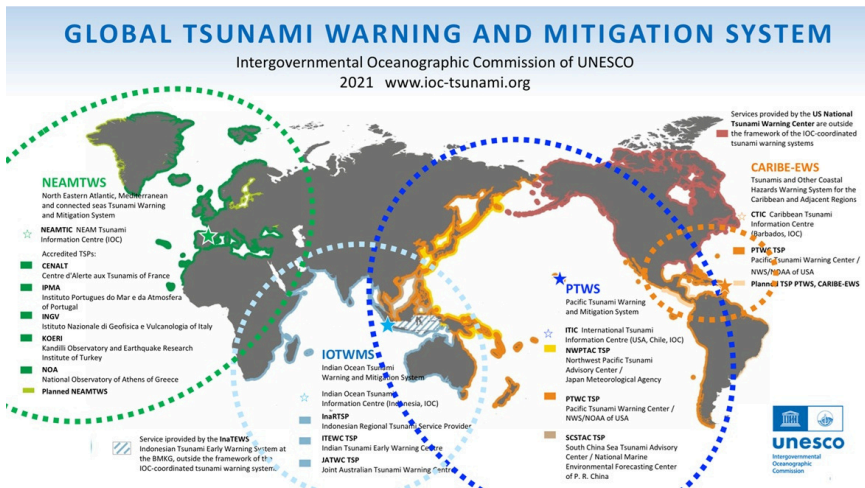


Los países mejor preparados en Sistemas de alerta de tsunamis.

- **JAPÓN:** Emite alertas dentro de los 3 minutos de ocurrido un sismo. Red de sensores costeros densa.
- **USA:** Emite alertas a la población vía mensajes celulares, sirenas, apps.
- **Australia:** Tiene una red grande de estaciones de monitoreo de actividad sísmica.
- **Chile:** tiene una red de 170 sensores costeros enlazados a satélites que pueden detectar tsunamis en segundos.
- **India:** puede predecir la altura de las olas cerca de la costa e identificar edificios y ubicaciones expuestas en tiempo real.



Cobertura de los sistemas de monitoreo y alerta de tsunami.



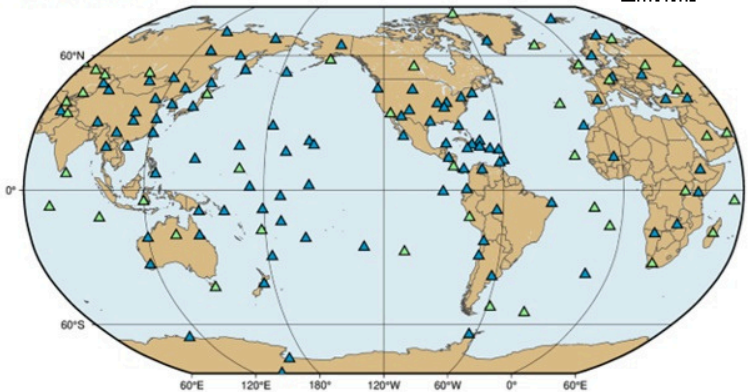
Redes Sísmicas

- La red global de sismógrafos (GSN) está compuesta por cerca de 152 de estos equipos. Esta es complementada con las redes nacionales y locales implementadas por cada país.
- Detectan terremotos en tiempo real
- Analizan características tsunamigénicas
- Tiempo de detección: 3-5 minutos post-evento
- Limitación: No confirman la generación del tsunami

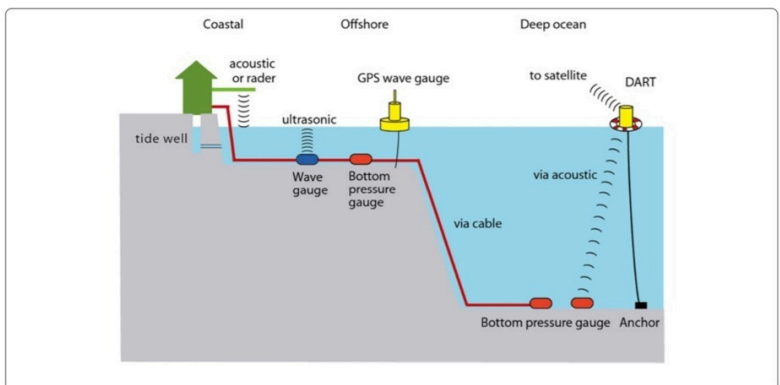
Redes de sismógrafos

Global Seismographic Network (GSN) Stations

By Earthquake Hazards Program SEPTEMBER 26, 2022



Tecnologías de Detección de nivel del mar: Dart, boyas GPS, mareógrafos



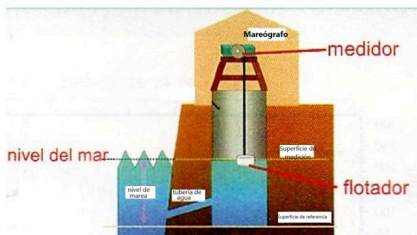
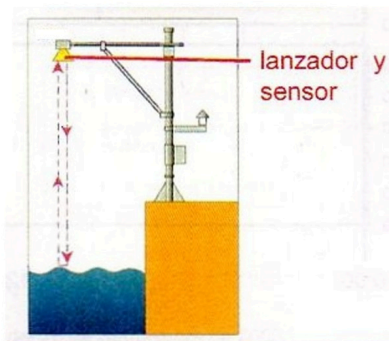
Mareógrafos

- Miden niveles del mar continuamente
- Confirman llegada del tsunami a la costa
- Red global de más de 1,000 estaciones
- Datos históricos para análisis de patrones

Redes de mareógrafos



Mecanismos de medidores de marea usados



Nota: Tsuji Y., 2015

Sistema DART (Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis)

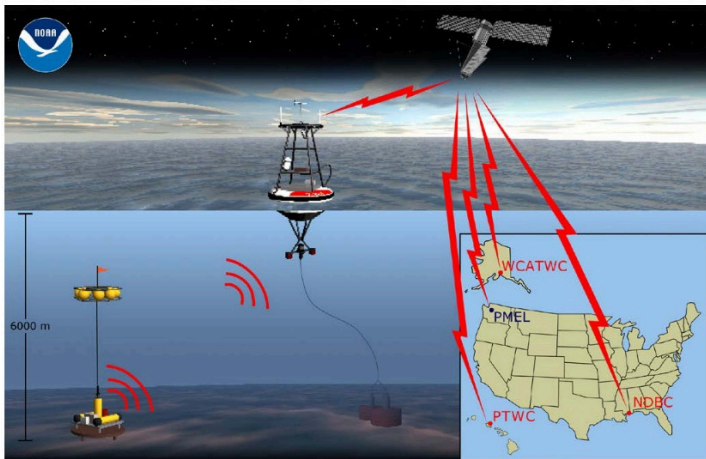
Proporcionan información fundamental para corroborar la generación de tsunami. Componentes del Sistema DART:

1. Detector de Fondo Marino:

- Instalado a 6,000 metros de profundidad
- Detecta cambios de presión de agua
- Precisión: 1 mm de cambio en nivel del mar

2. Boya de Superficie:

- Recibe datos del detector de fondo
- Transmite la información vía satélite
- Comunicación en tiempo real



Los datos se transmiten de los satélites a las estaciones en tierra para su proceso y análisis, todo en cuestión de minutos.

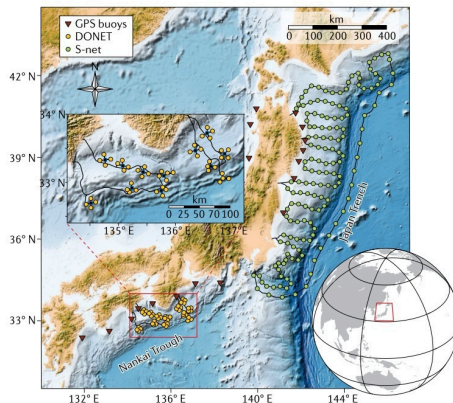
Boyas GPS

Las boyas GPS son otro sistema de monitoreo que utiliza receptores GPS para rastrear los movimientos de las olas y detectar posibles tsunamis. Se ubican cerca de la costa, entre 10 a 20 km. Se transmite la señal en tiempo real.



Sensores de presión en el fondo del mar

Estos sensores colocados en el lecho marino miden los cambios de presión que pueden indicar la llegada de un tsunami.) Ej. S-net, DONET/DONET2) en costas de Japón.



Nota: Mori et al.,2022

Desafíos de los Sistemas de Alerta

Desafíos Técnicos:

- Falsos positivos (2/3 de todas las alertas)
- Tsunamis locales con poco tiempo para la alerta
- Algunas fuentes de tsunami no son detectados por los Sistemas de Alerta
- Mantenimiento de equipos en ambiente marino
- Integración de múltiples fuentes de datos

Desafíos Sociales:

- "Fatiga de alerta" por falsas alarmas
- Predicciones (estimaciones) que no coinciden con los hechos
- Altos costos de las falsas alarmas
- Diferencias culturales en percepción del riesgo
- Poblaciones móviles (turistas)
- Comunicación en múltiples idiomas y canales

Desafíos Institucionales:

- Coordinación entre múltiples agencias
- Responsabilidades legales de emisión de alertas
- Financiamiento sostenible
- Capacitación y continuidad del personal

Los sistemas de alerta están en mejora continua buscando ser cada vez más rápidos y exactos.

Innovaciones Tecnológicas Emergentes

Inteligencia Artificial:

- Algoritmos de aprendizaje automático para reducir los falsos positivos
- Análisis predictivo basado en patrones históricos
- Procesamiento más rápido de datos sísmicos

Redes Sociales y Crowdsourcing:

- Reportes ciudadanos en tiempo real
- Verificación comunitaria de impactos
- Diseminación viral de alertas

Aplicaciones Móviles:

- Alertas personalizadas basadas en ubicación
- Mapas interactivos de evacuación
- Información educativa integrada

Limitaciones Fundamentales de los SA

- **Tsunamis Locales:** En eventos generados cerca de la costa, el tiempo disponible para la alerta de entre 5-20 minutos, es insuficiente para sistemas convencionales. En estos casos, las señales naturales (sismo fuerte, retirada del mar, etc.) pueden ser las únicas alertas disponibles.
- **Fuentes No Sísmicas:** Deslizamientos y erupciones volcánicas son más difíciles de detectar automáticamente, requiriendo observación humana, redes de monitoreo alternativas y análisis especializado.

Los Sistemas de Alerta Temprana (SAT)

Los SAT integran la Alerta Temprana en **un sistema** completo de **cuatro pilares o componentes**.

Un SAT permite conocer anticipadamente y con cierto nivel de certeza, en qué tiempo una amenaza o evento adverso de tipo natural o antrópico puede desencadenar situaciones potencialmente peligrosas sobre un territorio, permitiendo anticipar y realizar las medidas que atenúen ese impacto.

Esquema funcional de un Sistema de Alerta Temprana



Nota: UNDRR, de Acción Sistemas de Alerta Temprana para todas las personas Ecuador, 2025

Un SAT de tsunamis comienza con la evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo, opera con un sistema de monitoreo para detectar tsunamis y de alerta para difundir avisos, y completa su ciclo con una comunidad lista para responder eficazmente. En todo SAT la gobernanza es pilar fundamental.

Los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) y sus componentes

SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA



Un SAT efectivo para tsunamis consta de cuatro componentes interconectados:

1. Conocimiento del Riesgo

- Comprensión de fuentes de tsunamis
- Evaluación de amenazas locales y regionales
- Mapeo de zonas bajo amenaza
- Identificación de elementos expuestos a la amenaza (poblaciones, infraestructuras, servicios, sistemas)
- Identificación de poblaciones vulnerables

2. Monitoreo y Detección

- Red de monitoreo sísmico y geodésico para detectar sismos y deformaciones del suelo
- Boyas GPS y oceánicas para confirmar tsunamis
- Mareógrafos para medir niveles del mar
- Sistemas de comunicación en tiempo real

3. Diseminación de Alertas

- Centros de alerta nacional e internacional
- Sistemas de comunicación múltiples
- Protocolos claros de actuación
- Medios de comunicación masiva
- Sistemas comunitarios de notificación

4. Capacidad de Respuesta

- Planes de evacuación
- Rutas de escape definidas
- Educación pública continua
- Ejercicios regulares de preparación

Los Sistemas de Alerta Temprana de Tsunami han tenido resultados diversos: en muchos casos han salvado vidas, pero también han mostrado limitaciones. Cada error y cada experiencia han sido oportunidades de aprendizaje, que han permitido mejorar estos sistemas para reducir el número de muertes en las zonas bajo riesgo.

A continuación se presentan algunas de estas experiencias.

1

Desde la creación del IOTWMS, se han emitido varias alertas de tsunami que han permitido evacuar con éxito a comunidades en riesgo en varios países. Por ejemplo, el sistema alertó a las comunidades que viven en las islas Andamán y Nicobar en 8 minutos durante los terremotos del océano Índico de 2012.

2

En Mentawai (2010) la alerta oficial no alcanzó a todas las comunidades, el acceso a TV e internet era limitado, 530 muertos.

3

Turquía – Grecia (2017). Los 3 Proveedores de Servicios de Tsunami (TSPs) del NEAMTWS de Italia, Turquía y Grecia, que operan bajo la coordinación de la COI-UNESCO, emitieron mensajes de alerta entre los 10 y 19 minutos. Sin embargo, los mensajes no llegaron a las comunidades de manera oportuna, la primera cresta de ola llegó a los 12-13 minutos después del terremoto. Dos muertos.

4

Samos, Grecia 2020.
La alerta oficial a través de los mensajes de los TSP del NEAMTWS no pudo llegar a la gente a tiempo. Hubo una fatalidad y muchas pérdidas materiales.

Este evento enfatizó la necesidad de fortalecer los sistemas locales de alerta de tsunamis.

5

Las falsas alarmas socavan la credibilidad de las Alertas Tempranas.

Se reportaron casos de vandalización de sirenas como respuesta a activaciones accidentals previas (Aceh, Indonesia, 2007).

6

Kamchatka, julio 2025. Al minuto 10 PTWC emitió la alerta para las costas de Rusia y Japón. Al minuto 20 con pronósticos más detallados se extiende alerta y se emitieron alertas nacionales en varios países de la cuenca pacífica. Siguiendo la evolución, a partir de las 10 horas empiezan a cancelarse las alertas paulatinamente. No hubo víctimas directas.

**Las señales de alerta
temprana son vitales, pero no
sirven de nada si la gente no
sabe cómo reaccionar**

8. Preparación Personal y Familiar: Su Plan de Supervivencia

La Preparación Salva Vidas

La preparación personal y familiar es absolutamente crítica porque los tsunamis pueden golpear con muy poco tiempo de alerta. Su supervivencia puede depender de decisiones que tome en segundos, pero basadas en preparación que haya hecho durante años.

Evaluación de Su Riesgo Personal

Paso 1: Determine si vive en Zona de Riesgo
Consulte mapas oficiales de inundación o evacuación por tsunami, posibles fuentes:

- Oficinas locales (municipalidad) de riesgos
- Servicio geológico nacional
- Agencias de manejo de emergencias
- Sitios web oficiales
- Universidades con programas de oceanografía
- Señalética en zona costera
- Aségurese de reconocer las señales ambientales de un tsunami



La Preparación Salva Vidas

Factores de Riesgo a Evaluar:

- Distancia de la costa (menos de 2 km = alto riesgo)
- Elevación sobre el nivel del mar (menos de 20 m = riesgo)
- Proximidad a bahías o ensenadas
- Historial de tsunamis en su área
- Tipo de fuentes tsunamigénicas cercanas

Paso 2: Evalúe Su Vulnerabilidad personal

Considere factores que pueden afectar su capacidad de evacuación:

- Movilidad física limitada
- Discapacidad visual, auditiva, motora u otra
- Presencia de niños pequeños o adultos mayores
- Mascotas que requieren transporte
- Ubicación durante diferentes horas (trabajo, escuela, hogar)
- Facilidad de acceso a salidas y rutas de evacuación
- Dependencia de transporte público.

Desarrollo de su Plan Familiar de emergencia ante Tsunami

Los componentes esenciales del Plan:

1. Rutas de Evacuación Múltiples.- Identifique al menos 3 rutas diferentes desde cada ubicación frecuente.

2. Puntos de Encuentro Designados.-Establezca múltiples puntos seguros de encuentro.

3. Plan de Comunicación Familiar: actualícelo frecuentemente

4. Kit de emergencia con:

- Documentos esenciales (en contenedor impermeable) y una radio a baterías
- Suministros de Supervivencia: agua, víveres y medicinas (para 72 horas mínimo)
- Ropa y artículos personales

Hay que rotar los artículos perecibles (medicinas y víveres) cada tres o seis meses.

Hay que revisar y actualizar todo el plan anualmente.



**Las poblaciones bajo
amenaza de tsunami no
preparadas tuvieron más
de 8 veces las bajas que las
poblaciones preparadas**

Bernard, 2022

9. El poder de la comunidad

Elementos de una Comunidad Resiliente

1. Liderazgo y Coordinación

- Crear el Comité Comunitario de Tsunamis
- Establecer las responsabilidades del Comité

2. Educación Pública Continua

Programas Educativos Estructurados para:

- Comunidad
- Empresas (públicas/privadas/grandes/medianas/pequeñas)
- Turistas

3. Sistemas de Alerta Comunitaria

- Sirenas de Alerta
- Radio
- Sistemas de altavoces móviles
- Banderas, gong y similares útiles para difundir alerta
- Redes sociales y aplicaciones

4. Rutas de Evacuación Comunitaria múltiples desde cada sector

5. Señalización de Evacuación (mapas de evacuación, señalética de rutas de evacuación y sitios de reunión) en múltiples idiomas, de materiales reflectivos, con mantenimiento continuo





6. Refugios Verticales: Identificados previamente. Altura mínima; 20 msnm, Estructura reforzada, Capacidad para población local y visitantes, suministros de emergencia almacenados, Acceso expedito y rápido desde múltiples direcciones

7. Programas de Entrenamiento Comunitario: Ejercicios de Evacuación al menos una vez al año. Probar distintos escenarios, p.e. día laborable, fin de semana, noche, feriado, etc).

8. Coordinación de actividades con entes responsables de la Gestión de riesgos: Oficinas de gestión de riesgo, Cruz Roja, Defensa Civil, Bomberos, Policía, Hospitales, etc.

9. Mapas de evacuación multilingües

La razón más común de los residentes para negarse a evacuar es el temor a perder bienes a manos de saqueadores, lo que puede aumentar la mortalidad por tsunamis. Bernard (2022) como resultado de sus estudios en Japón y USA, señala estos aspectos clave a considerar en la evacuación:

Problemas con Evacuación horizontal a refugios



Incapacidad para evacuar

- Ancianos/Discapacitados que necesitan asistencia o usan silla de ruedas
- Muy lejos de las residencias
- La evacuación toma mucho tiempo

Resistencia a evacuar

- Desconfianza en las alertas
- Temor de enfermedades (pandémicas)
- Temor por inseguridad (maleantes)
- No admisión de mascotas

Problemas con Evacuación vertical



Incapacidad para evacuar

- Ancianos/Discapacitados que necesitan asistencia o usan silla de ruedas
- Imposibilidad de subir escaleras
- Problemas potenciales de incendios
- Se excede la capacidad de sitios

Resistencia a evacuar

- Desconfianza en las alertas
- Temor de falla estructural
- Temor sobre seguridad del sitio (enfermedades, incendios)
- Inadmisión de mascotas
- Se excede la capacidad de los sitios

Nota: Traducido de Bernard. 2022

Según algunos investigadores (Bernard & Titov, 2015) las comunidades costeras serían mejor servidas recibiendo tres productos estandarizados y precisos de alerta de tsunami en tiempo real:

(i) estimación de energía del tsunami

(ii) mapas de inundación y

(iii) mapas de corrientes inducidas por tsunami en puertos.

Sobre mapas de inundación y de evacuación, muchas comunidades costeras, cuentan con ellos, sin embargo es preciso que estos sean difundidos y socializados con los usuarios, para que se valide su utilidad y propósito. Algunos ejemplos de esto se encuentra en la web de Tsunami Ready y en sitios oficiales de las oficinas responsables del riesgo en varios países costeros.

**La infraestructura costera y
la prevención pueden marcar
la diferencia. Muros, diques,
rompeolas, vegetación,
preparación y planificación
salvan vidas**

10. Medidas estructurales y no estructurales para protegerse de los tsunamis

Medida no estructural:

Es cualquier medida que no suponga una construcción física y que utiliza el conocimiento, las prácticas o los acuerdos existentes para reducir el riesgo y sus impactos, a través de políticas y leyes, medidas de aplicación, una mayor concienciación pública, la capacitación y la educación. Incluyen, sin limitarse a:

- desarrollo del conocimiento,
- investigaciones y evaluaciones,
- reglas de operación,
- mecanismos de participación pública e información a la población,
- desarrollo e implementación de sistemas de alerta temprana
- preparación de mapas,
- códigos de construcción,
- legislación para el ordenamiento territorial y la planificación urbana,
- zonificación del suelo según el nivel de amenaza y riesgo
- recursos informativos
- programas educativos y de concienciación
- realización de simulaciones y simulacros
- planes de evacuación para tsunami
- disponibilidad de instrumentos financieros y seguros contra el riesgo

Tsunami Ready Programme



World Tsunami Awareness Day

In December 2015, the UN General Assembly designated 5 November as [World Tsunami Awareness Day](#) and tasked the [UN Office for Disaster Risk Reduction](#) to coordinate the commemoration tsunamis disasters worldwide. World Tsunami Awareness Day was established at the suggestion of Japan to call on countries, international bodies and civil society to raise tsunami awareness and share innovative approaches to risk reduction.



Señalética, mecanismos de alerta



Realización de simulacros



LISTOS PARA SISMOS, DERRUMBES Y TSUNAMIS

Este 22 realizarán un simulacro binacional

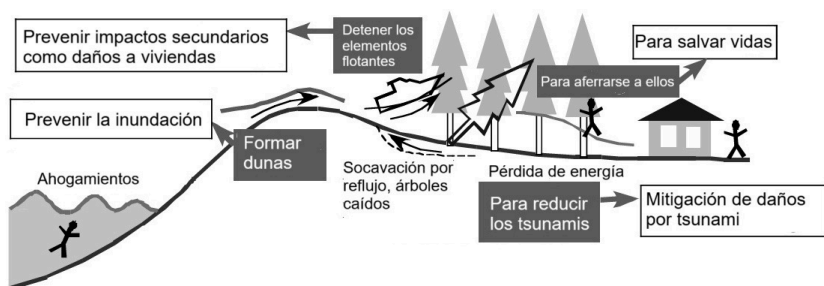
Enfrenta Crisis 120A
Como producto de las resoluciones del último gabinete binacional se acordó entre los dos presidentes de Ecuador y Perú realizar un simulacro binacional en el tema de gestión de riesgos.

En el simulacro se capacitará a la población de los sectores fronterizos sobre los riesgos por desastres naturales y cómo enfrentarlos. El simulacro se realizará el 22 de marzo y no podemos hacerlo en distintos días, porque en ambos países se realizará el mismo día.

El simulacro se lo realizará el 22 de marzo y no podemos hacerlo en distintos días, porque en ambos países se realizará el mismo día.

Entre estas medidas están también aquellas que apuntan a la conservación y aprovechamiento de los ecosistemas como:

- Conservación y protección de ecosistemas costeros como manglares, arrecifes de coral, vegetación costera, dunas, etc.
- Implementación de barreras o cinturones verdes



Nota: Adaptada de Harada & Imamura, 2005

Soluciones como un cinturón o barrera arbórea como medida de protección pueden proporcionar las varias funciones señaladas por Harada e Imamura (2005), sin embargo deben considerarse algunas características como diámetro y altura de los árboles y ancho de la franja o cinturón verde. En algunos casos la fuerza de las olas pueden arrancar los árboles de raíz y convertirlos en proyectiles destructores, lo que sucedió en Rikuzentakata, costa de Sanriku, Japón 2011.

Imamura F. hace énfasis en subir el nivel del suelo para que las raíces se hagan más largas y los árboles estables al implementar esta medida.

Medida estructural:

Cualquier construcción física para reducir o evitar los posibles impactos de las amenazas, o la aplicación de técnicas de ingeniería para lograr la resistencia y la resiliencia de las estructuras o de los sistemas frente a las amenazas.

Las medidas estructurales comunes para la reducción del riesgo de desastres por tsunami incluyen las barreras contra las olas como los diques, los muros, los espigones, las compuertas, los rompeolas para evitar inundaciones, las construcciones sismo resistentes, el reforzamiento de estructuras, las estructuras para evacuación y los albergues.

Estas medidas tienen costos económicos significativos, por ejemplo en Japón según Madde et al., (2023) 394 km de muros protectores tienen un costo aproximado de 12.74 miles de millones de dólares.

Se estimó la longitud total de rompeolas en las costas de Japón mediante la suma acumulada de las extensiones anuales reportadas entre 2003 y 2020 en 19407 km (Cabinet Office, 2022). Dado que el tsunami de 2011 causó daños significativos, esta cifra representa una aproximación bruta que no distingue entre nueva construcción y reconstrucción. Pero es un ejemplo de la aplicación de este tipo de medidas.

Muros en la
costa



Plataforma
de refugio

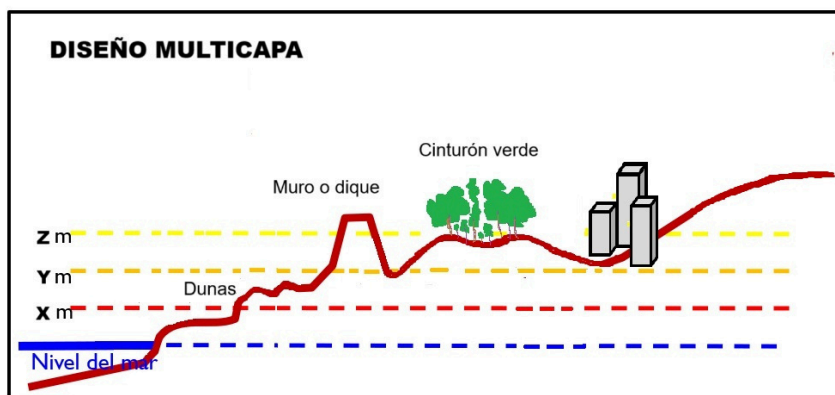
Estructuras
reforzadas



El esquema multicapa para protegerse de los tsunamis

Como se señaló antes los corales, manglares y las dunas son soldados silenciosos en el frente de batalla que pueden reducir la fuerza de un tsunami hasta en un 70%, protegiendo las comunidades costeras.

El esquema multicapa integra estas líneas de defensa con otras, ya que en lugar de depender de una única barrera masiva, combina múltiples de ellas, tanto estructurales como naturales.



Nota: Adaptado de Imamura, 2014

Dos ejemplos del esquema multicapa y la gestión del uso del suelo, que combinan las medidas estructurales y las no estructurales, se presentan a continuación, del Plan de reconstrucción 2011 de una de las Prefecturas más afectadas en Japón.



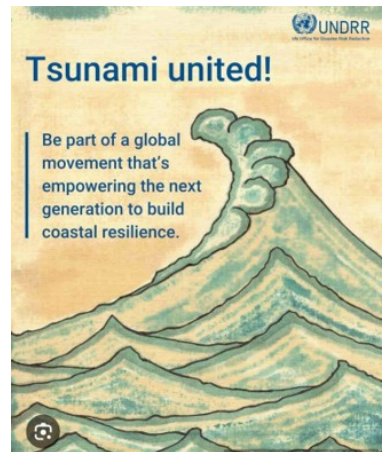
Nota: Adaptado de Tanaka, S. 2015

**Las comunidades educadas
tienen tasas de
supervivencia
significativamente
mayores,
independientemente del
nivel tecnológico disponible**

11. La Educación y preparación son esenciales

La educación y la conciencia pública son fundamentales para que las comunidades costeras estén preparadas y sepan cómo responder ante la amenaza de un tsunami.

Los tsunamis históricos nos enseñan que las comunidades que practican evacuaciones regulares tienen tasas de supervivencia mucho más altas.



El llamado “milagro” de Kamaishi, localidad costera en Japón, demostró el éxito de una educación proactiva que fomenta la independencia, el juicio propio y la acción inmediata ante la amenaza (incluso cuando esta supera las expectativas). En este lugar un 99.8% de los escolares sobrevivió al tsunami del 2011 gracias al énfasis hecho en:

- desarrollar la capacidad de actuar según el juicio propio, más allá de la mera adquisición de conocimientos o el miedo y salvar sus vidas por sí mismos
- el empoderamiento de los niños y estudiantes a través de la educación, gracias a ello se salvaron a sí mismos y también salvaron a adultos en su entorno
- el peligro de confiar ciegamente en los mapas de amenazas (los fenómenos naturales son impredecibles y pueden superar las expectativas) y la necesidad de estar preparados para escenarios peores de lo esperado,
- la importancia de la educación colaborativa con familias y comunidades locales, incluyendo simulacros conjuntos y discusiones familiares sobre métodos de evacuación
- la tradición "Tsunami Tendenko" (en un tsunami, huye solo), que enfatiza la evacuación individual ampliamente promovida en Japón
- el rol crucial de los simulacros, son herramientas útiles para reforzar procedimientos, probar planes, medir y ajustar tiempos, identificar fallos y familiarizar a la población con las amenazas.

El caso de Okawa, Japón, en donde 74 de 78 alumnos y 10 de 11 maestros murieron en el tsunami del 2011, ilustra la trágica consecuencia de la falta de preparación y planes actualizados y la indecisión de las autoridades escolares. Las fallas se pueden resumir así:

- Indecisión y estancamiento. Las autoridades de la escuela mostraron indecisión y estancamiento, lo que resultó en una espera de más de 50 minutos en un lugar inseguro (el patio de la escuela).
- Falta de plan y protocolos adecuados: La escuela no tenía un plan adecuado y actualizado. Esto implicó una ausencia de la preparación y los protocolos que permitieran a los estudiantes actuar eficazmente ante un desastre que excedió las expectativas.
- No aprovechar la cercanía a un refugio. A pesar de estar al lado de una colina alta que podría haber servido de refugio, no se tomó la decisión de evacuar allí, y la espera (tiempo valioso perdido) en el patio resultó fatal.

La educación y preparación son esenciales

Ejemplos de preparación y buenas prácticas en la gestión de tsunamis: Países como Japón y Chile han implementado medidas eficaces de preparación y respuesta ante tsunamis, que han demostrado ser efectivas en la reducción de pérdidas humanas y materiales.

En Japón, uno de los países en los que más se registran tsunamis, se enfatiza además en mantener la memoria de los impactos ocurridos en el pasado. Así en la denominada Ruta Densho 3.11, se enlaza más de 340 sitios conmemorativos en Tohoku para transmitir las lecciones del terremoto y tsunami de 2011. Incluye museos, parques, ruinas preservadas y centros comunitarios dedicados a la educación, la memoria, la prevención de desastres y la revitalización regional.



Enlace a la Organización para Promoción de la Ruta Densho 3.11

Alguna páginas educativas y recursos



Lista de comunidades
TsunamiReady



Un video y ritmo
pegajosos



Mapa de comunidades
Tsunami Ready



Concienciación
sobre tsunamis



UNESCO Tsunami Program



Video Tsunamis:
Prepárate y
mantente a salvo



Sitio virtual de recursos e
información sobre tsunamis

**Cada tsunami es una
oportunidad de aprender,
¡hagámoslo!**

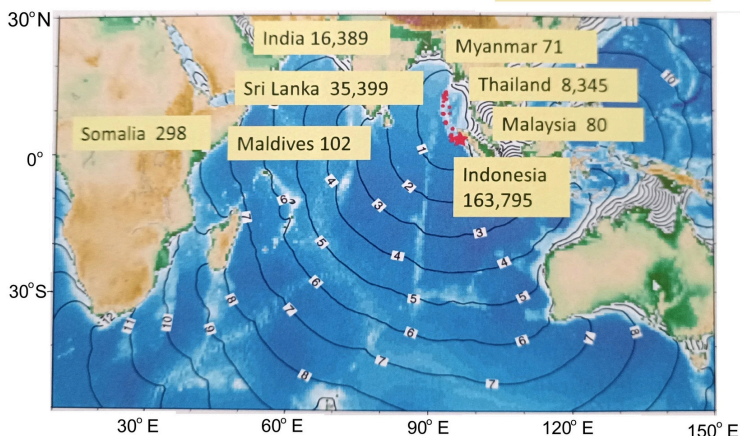
12. Lecciones de Tsunamis Históricos

Los tsunamis pasados son como cicatrices en la memoria colectiva de la humanidad: fundamentales para no olvidar las numerosas enseñanzas que dejaron. Citando a dos de ellos, el tsunami de Chile (1960) dio origen al PTWC y el de Kamchatka (2025) mostró que aún hay aspectos que investigar en su propagación transoceánica. Analicemos aquí dos de los eventos más significativos y recientes y las lecciones que dejaron y continúan salvando vidas hasta hoy.

El sismo y Tsunami de Sumatra

El peor desastre de tsunami de la historia
> 230000 muertes en > 10 países

Muertes según el Reporte
Mundial de Desastres



Nota: Adaptado de Satake, K. 2015

12.1 El Tsunami del Océano Índico 2004: El despertar global

El 26 de diciembre de 2004, a las 7:58 a. m. hora local, un terremoto submarino de magnitud 9.1 con longitud de ruptura de aprox. 1600 km frente a las costas de Sumatra desencadenó el tsunami más mortífero de la historia moderna. Las olas viajaron por todo el océano Índico como ondas tsunamigénicas de destrucción, cobrando más de 230000 vidas en 14 países.

Lecciones aprendidas:

El conocimiento básico y los saberes

ancestrales fueron más efectivos que cualquier sistema de alerta tecnológico en ese momento, testimonios como el de Tilly, la niña que reconoció las señales ambientales del tsunami o la supervivencia de la población Simeulue con la palabra “smong”, parte de la cultura tradicional y transmitida oralmente, y otros similares evidenciaron esto.

La velocidad del tsunami vs. la capacidad de evacuación.

Las olas tardaron aproximadamente 15 minutos en llegar a las costas más cercanas de Tailandia, pero hasta 7 horas en alcanzar Somalia. Esta diferencia temporal demostró la posibilidad de establecer sistemas de alerta eficaces para zonas distantes del epicentro y la necesidad de enfatizar el reconocimiento de las señales ambientales de los tsunami en el caso de zonas cercanas.

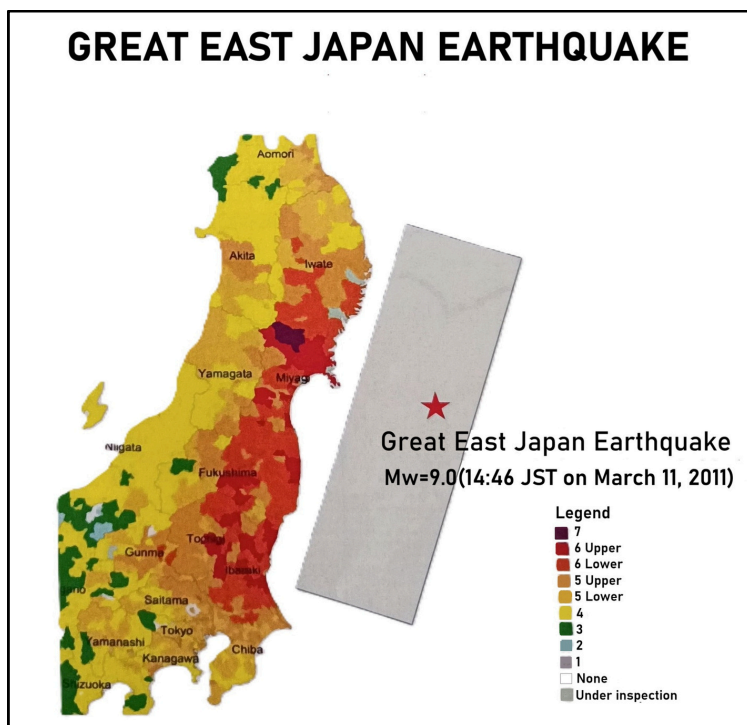
El Turismo Requiere Consideración Especial:

Miles de turistas sin conocimiento local fueron víctimas, una razón fue la falta de información en idiomas múltiples, lo que resultó en nuevos protocolos para la industria turística costera.

Consecuencias prácticas: Este evento catalizó la creación del Sistema de Alerta de Tsunamis para el océano Índico (IOC-UNESCO) en 2006, similar al que ya existía en el Pacífico desde 1965. Para el 2015 todos los océanos están cubiertos por sistemas de alerta.

12.2 El Gran Tsunami de Japón 2011: Cuando la preparación no es suficiente

El 11 de marzo de 2011, Japón enfrentó la pesadilla perfecta: a la 2:46 p. m. hora local un sismo de magnitud 9.1 estremeció la isla y generó olas de hasta 40 metros de altura que llegaron a la costa alrededor de 30 minutos más tarde. A pesar de ser el país mejor preparado del mundo para tsunamis, las pérdidas fueron enormes: más de 18,000 muertos y daños por más de 200 mil millones de dólares.



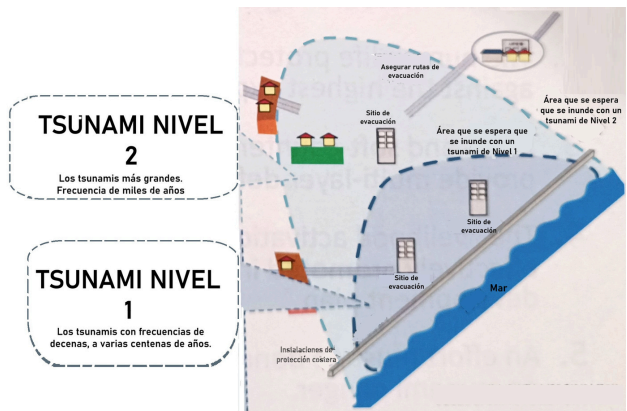
Nota: Adaptado de Kabeyasawa T., 2015

Lecciones críticas aprendidas:

Los límites de la ingeniería tradicional.- La central nuclear de Fukushima Daiichi fue diseñada para resistir olas de 5.7 metros, basándose en registros históricos. Sin embargo, las olas alcanzaron 14 metros, evidenciando la debilidad de los cálculos basados únicamente en eventos pasados conocidos o en registros históricos incompletos. Esto se repitió en muchos puntos de la costa de Sanriku, al noreste de Japón, donde varias estructuras costeras fueron sobrepasadas y, en muchos casos, destruidas total o parcialmente.

Estos hechos subrayaron la urgencia de incorporar estudios de paleotsunamis, que permiten reconstruir eventos ocurridos hace siglos o milenios y elaborar catálogos más completos de tsunamis y sus características, que a la vez posibiliten diseñar medidas de protección más eficaces en cada zona costera expuesta.

Japón reconoce ahora la amenaza de tsunami con dos niveles, en función de la frecuencia y el nivel de impacto para el desarrollo de las estrategias de mitigación de desastres.



Nota: Adaptado de Tanaka, S. 2015

La evacuación vertical segura.- En la ciudad de Minami-Sanriku, el edificio del gobierno municipal de 3 pisos fue completamente sumergido. Solo 10 de las 130 personas que se refugiaron en el techo sobrevivieron. Esto llevó a establecer nuevos estándares: los edificios de evacuación deben, además de cumplir normas estructurales que les permitan resistir las fuerzas de ataque de los tsunamis, tener la altura suficiente en zonas de alto riesgo.

La normalización del riesgo.- Muchas personas en áreas rurales no evacuaron inmediatamente por una falsa sensación de seguridad basada en la experiencia personal ya que "siempre habían vivido allí y nunca había pasado nada tan grave". Esto, un sesgo cognitivo, resultó fatal para cientos de personas.

En el caso de un tsunami se deben tomar decisiones rápidas, allí entran en juego los atajos mentales y los sesgos, ocasionalmente, como en este caso esto puede tener resultados fatales.

Hay que estar alerta ante el uso de la heurística en estas situaciones, esto es materia de interés y activa preocupación en el ámbito de la RRD.

La tecnología como aliado y enemigo.-

- **Positivo:** Los teléfonos móviles recibieron alertas automáticas 1-2 minutos después del terremoto.
- **Negativo:** Muchas personas perdieron tiempo tomando fotos o videos del tsunami, subestimando su velocidad de avance (hasta 40 km/h en tierra).
- **Negativo:** Los equipos de detección (sismógrafos) se saturaron, colapsaron o dañaron (mareógrafos) debido a las características del sismo y el tsunami, lo que impidió actualizar y refinar los niveles de la alerta emitida inicialmente.

Innovaciones post-2011:

Japón desarrolló el sistema de soluciones multi-capa combinado reasentamiento de población e infraestructuras, diques con bosques costeros, que pueden reducir la altura de las olas hasta en un 30% y retrasar su llegada, ganando tiempo valioso para la evacuación y amortiguando la energía que traen.

Además se revisaron y reforzaron los mecanismos de detección y se renovaron equipos, ya que como se indicó antes, la saturación y daños de algunos sismógrafos y mareógrafos respectivamente impidieron la detección y alerta oportuna y exacta.

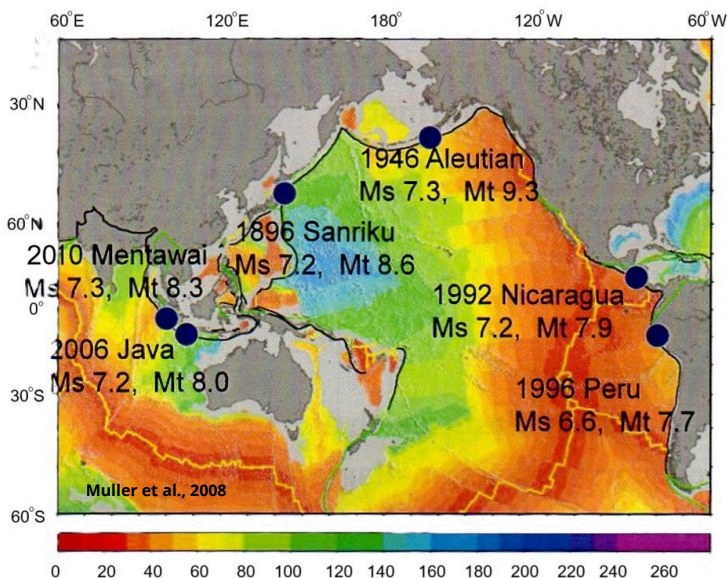
Una amenaza silenciosa: los sismo-tsunami

13. Tsunami earthquakes la amenaza silenciosa

La forma más eficiente en que un sismo submarino transfiere energía a la columna de agua es mediante una ruptura lenta y de larga duración. Así se genera un tsunami poderoso. Ese tipo de evento asociado a un sismo de poca magnitud se conoce en sismología como "terremoto de tsunami" o sismo-tsunami (en inglés tsunami earthquake).

En la costa, un sismo de poca magnitud puede pasar inadvertido para las personas o ser subestimado como amenaza, aunque genere un tsunami inusualmente grande. Estos eventos han quedado registrados en los anales de la historia de los tsunami y son una preocupación permanente para los gestores de riesgos.

Localización de varios tsunami earthquakes



Nota: Adaptado de Satake K., 2015

Tsunami earthquakes una amenaza

Ejemplos de algunos de estos eventos con los datos sobre las fatalidades que causaron, la magnitud del sismo (M) y la altura del máximo run-up (R) tomados desde la base histórica de tsunamis de la NOAA:

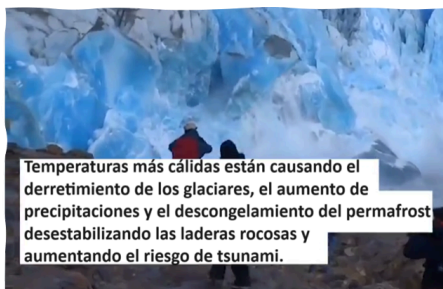
- 1896 Japón - 27122 muertes (M 8.3 y R 38.2 m)
- 1946 Islas Aleutianas - 168 muertes (M 8.6 y R 42 m)
- 1992 Nicaragua - 170 muertes (M 7.6 y R 9.9 m)
- 1994 Java 238 muertes (M 7.8 y R 13.9 m)
- 1996 Perú - 12 muertes (M 7.5 y R 5 m)
- 2006 Java - 802 muertes (M 7.7 y R 20.9 m)
- 2010 Mentawai -Indonesia - 530 muertes (M 7.8 y R 16.9 m)
- 2012 El Salvador 0 muertes (M 7.3 y R 6.3 m)
- 2013 Islas Solomón 10 muertes (M 7.9 y R 11 m)

Cada uno de ellos dejó una estela de muerte en las costas afectadas.

**El actual escenario, el del
Cambio Climático, afecta
también a la frecuencia,
características e impacto
de los tsunami**

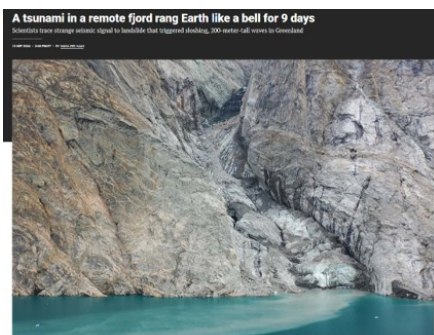
14. Los tsunamis en el escenario de Cambio Climático

En el escenario de Cambio Climático (CC) los tsunamis pueden verse exacerbados. El calentamiento global está cambiando la configuración de la Tierra: los glaciares y

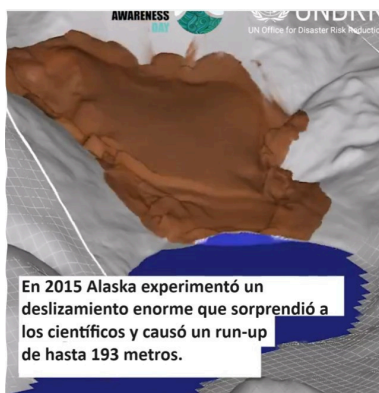


Nota: UNDRR

Esos deslizamientos de grandes masas de hielo y roca cayendo a cuerpos de agua de manera violenta generan tsunamis limitados pero enormes.



Nota: UNDRR



Nota: UNDRR

la capa de permafrost se derriten. En las altas latitudes esto desestabiliza laderas y favorece los deslizamientos.

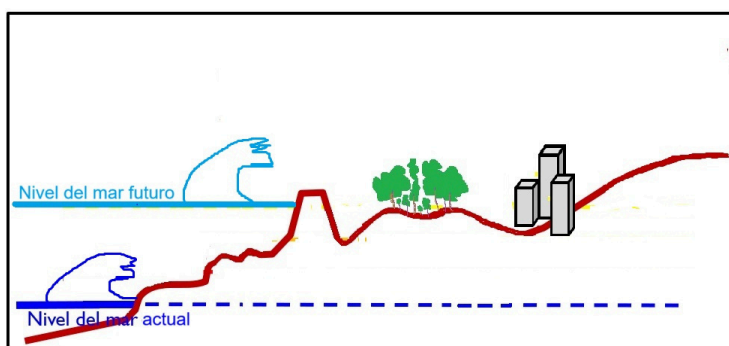
Ejemplos de esto se han documentado, con run-ups de centenares de metros ocurriendo con mayor frecuencia en años recientes.

De manera análoga, el aumento del nivel del mar, otro efecto del CC, puede multiplicar las amenazas que se asocian a los tsunamis.

Un tsunami de una magnitud determinada, en un mundo con un nivel del mar elevado, será exponencialmente más destructivo que el mismo tsunami en las condiciones climáticas de siglos pasados.

Tsunamis más pequeños tendrán impactos similares a tsunamis más grandes debido a la pérdida de terreno en las costas. El aumento del nivel del mar también agrava los daños, intensificando la erosión, dañando la infraestructura y los ecosistemas costeros, salinizando tierras y acuíferos y afectando la vida en la zona costera en general.

La planificación de la zona costera, los sistemas de alerta temprana y los códigos de construcción deben actualizarse urgentemente para tener en cuenta esta nueva realidad basada tanto en datos históricos como en proyecciones climáticas.



También los tsunamis y su impacto pueden ser magnificados por la sinergia o concurrencia con eventos hidrometeorológicos extremos cada vez más frecuentes en el escenario de Cambio Climático.

Así por ejemplo un tsunami coincidiendo con una marejada ciclónica o un huracán resultaría en un mega desastre en cualquier zona costera.

¿Qué pasará mañana?

15. El Futuro: Tecnología y Prevención

La tecnología al servicio de la mitigación y prevención del riesgo de tsunami.

Cápsulas de supervivencia ante un tsunami



Nota: Bernard, 2022

De forma continua se desarrollan nuevas herramientas para estar mejor preparados y reducir el impacto de los tsunamis.

Ejemplos de avances en sistemas de detección temprana y mejoras en la capacidad de respuesta ante estos eventos, son mecanismos que permiten detectar tsunamis provocados por actividad volcánica, o el uso de drones, que permiten recopilar información clave en zonas de difícil acceso, tanto durante el evento como en las etapas posteriores, o las cápsulas para supervivencia ante tsunamis.



El futuro de la prevención del riesgo de tsunamis tiene bases sólidas en la realidad científica actual.

Detección temprana

- La nueva generación de sensores (boyas DART) inteligentes, las boyas DART-4G, cuentan con sistemas mucho más sofisticados con sensores de presión altamente sensibles.
- Comunicación por satélite en tiempo real: Transmiten datos cada 15 segundos, proporcionando alertas hasta 10 minutos más tempranas. El sistema de comunicación es muy robusto y tiene amplia cobertura.

Sistemas de alerta personalizados

- Yurekuru Call (Japón) es un ejemplo de una aplicación que proporciona alertas tempranas de terremotos y tsunamis con información básica sobre intensidad y epicentro, funcionalidades más avanzadas como cálculo de rutas de evacuación, podrían desarrollarse en el futuro.
- El sistema de alerta de sismos de Google que se incorpora en los teléfonos móviles Android, es una funcionalidad que puede ser activada y servir como alerta temprana personalizada. Los iPhones aunque no cuentan con esta funcionalidad, sí pueden recibir alertas de sismos a través de un sistema diferente: las Alertas de Emergencia Inalámbricas (WEA) o Alertas Gubernamentales.

Desarrollos actualmente en investigación activa (2024-2025)

Aplicación de inteligencia artificial

Investigadores están desarrollando un sistema de alerta temprana que combina tecnología acústica con IA para clasificar inmediatamente terremotos y determinar el riesgo potencial de tsunamis, utilizando micrófonos submarinos llamados hidrófonos para medir la radiación acústica producida por el terremoto.

Estado real: en fase de investigación y pruebas, no en implementación operacional.

Mejoras en sistemas de comunicación

Corea del Sur ha iniciado un proyecto para instalar un sistema de alerta de tsunami para monitorear sus mares circundantes, enfocándose en protocolos de comunicación submarina más eficientes.

Desafíos reales y limitaciones actuales

Limitaciones técnicas documentadas:

1. Tiempo de respuesta para eventos cercanos: el tiempo entre la detección y el impacto puede ser inferior a 10 minutos, limitando las opciones de evacuación.
2. Falsos positivos: Los sistemas actuales aún generan alertas que no resultan en tsunamis significativos, lo que puede causar "fatiga de alerta" en las poblaciones.
3. Cobertura local desigual: Muchas regiones expuestas carecen de capacidad de recepción y diseminación local, sistemas de comunicación robustos, personal capacitado, sirenas o sistemas de altavoces en las comunidades costeras, planes de evacuación establecidos.

Desafíos socioeconómicos

- Los países en desarrollo a menudo carecen de recursos e infraestructura para sistemas avanzados
- La dependencia de tecnología sofisticada puede crear vulnerabilidades si los sistemas fallan

Mantenimiento y operación:

- Los sistemas oceánicos requieren mantenimiento costoso y regular
- La formación del personal técnico es crucial pero a menudo inadecuada

El factor humano: La constante más importante

El énfasis en la educación y preparación comunitaria siempre es necesario

Componentes esenciales:

1. Conocimiento básico: Reconocimiento de señales naturales de alerta
2. Práctica regular: Simulacros de evacuación periódicos
3. Redes sociales: Sistemas comunitarios de apoyo mutuo
4. Mantenimiento de la preparación: Evitar la complacencia tecnológica, la preparación humana debe evolucionar con la tecnología, no ser reemplazada por ella.

Integración tecnología-comunidad

Principio fundamental: La tecnología más avanzada es inútil si las comunidades no saben cómo usarla o no confían en ella.

Mejores prácticas verificadas:

- Sistemas de alerta que funcionan en múltiples idiomas y niveles de alfabetización
- Tecnología que funciona incluso cuando la infraestructura falla
- Entrenamiento regular en el uso de nuevas tecnologías

Bibliografía

- Allgeyer, S., & Cummins, P. (2014). Numerical tsunami simulation including elastic loading and seawater density stratification. *Geophysical Research Letters*, 41(7), 2368-2375.
- Baba, T., Kamiya, M., Tanaka, N., Sumida, Y., Yamanaka, R., Watanabe, K., & Fujiwara, H. (2022). Probabilistic tsunami hazard assessment based on the Gutenberg-Richter law in eastern Shikoku, Nankai subduction zone, Japan. *Earth, Planets and Space*, 74(1). <https://doi.org/10.1186/s40623-022-01715-1>
- Bernard, E. N. (2022). Tsunami Preparedness: Is Zero Casualties Possible? *Pure and Applied Geophysics*. <https://doi.org/10.1007/s00024-022-02948-7>
- Bernard, E., Meinig, C., Titov, V. V., & Wei, Y. (2023). 50 Years of PMEL Tsunami Research and Development. In *Oceanography: Vol. 36(2/3)*.
- Braitenberg, C., & Rabinovich, A. B. (2017). The Chile-2015 (Illaapel) Earthquake and Tsunami. In C. Braitenberg & A. B. Rabinovich (Eds.), *The Chile-2015 (Illaapel) Earthquake and Tsunami (Vol. 174)*. Birkhauser. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57822-4>
- Cabinet Office. (2022). Disaster Management in Japan [Master course lecture Note]. International Institute of Seismology and Earthquake Engineering (IISEE) -Building Research Institute (BRI).
- Comisión Oceanográfica Intergubernamental. (2019). Glosario de Tsunamis. 2019. Colección Técnica, 85. In *Unesco/COI (Vol. 85)*.
- CRED, & UCLouvain, Brussels, B. (2025). EM-DAT | The International Disasters Database. The International Disasters Database. <https://www.emdat.be/>

- Fujii, Y. (2014). Overview of Earthquake and Disaster. [Master course lecture Note]. IISEE-BRI.
- Grezio, A., Babeyko, A., Baptista, M. A., Behrens, J., Costa, A., Davies, G., Geist, E. L., Glimsdal, S., González, F. I., Griffin, J., Harbitz, C. B., LeVeque, R. J., Lorito, S., Løvholt, F., Omira, R., Mueller, C., Paris, R., Parsons, T., Polet, J., ... Thio, H. K. (2017). Probabilistic Tsunami Hazard Analysis: Multiple Sources and Global Applications. *Reviews of Geophysics*, 55(4), 1158–1198. <https://doi.org/10.1002/2017RG000579>
- Gupta, H. ., & Gahalaut, V. K. (2013). Three Great Tsunamis: Lisbon (1755), Sumatra-Andaman(2004) and Japan(2011) (Issue 1755). *Springer Briefs in Earth Sciences*. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-6576-4>
- Hara, T. (2015). Focal Mechanism. [Master course lecture Note]. IISEE-BRI.
- Harada, K., & Imamura, F. U. M. I. H. I. K. O. (2005). Effects of coastal forest on tsunami hazard mitigation-a preliminary investigation. *Advances in natural and technological hazards research*, 23, 279.
- Hayashi, Y., Tsushima, H., Hirata, K., Kimura, K., & Maeda, K. (2011). Tsunami source area of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake determined from tsunami arrival times at offshore observation stations. *Earth, Planets and Space*, 63(7), 54.

- Heidarzadeh, M. (2025, 6 de febrero). Extreme Waves and Coastal Resilience [Webinar]. Universidad de Bath.
- Imamura, F. (2015). Tsunami Hazard Assessment. [Master course lecture Note]. IISEE-BRI.
- Kabeyasawa, T. (2014-2015). Tsunami Load and Structural Design of Tsunami Shelter. [Master course lecture Note]. IISEE-BRI. .
- Katada, T., & Kanai, M. (2016). The School Education to Improve the Disaster Response Capacity: A Case of “Kamaishi Miracle.” Journal of Disaster Research, 11(5). <https://doi.org/https://doi.org/10.20965/jdr.2016.p0845>
- Koshimura, S., Namegaya, Y., & Yanagisawa, H. (2009). Tsunami Fragility – A New Measure to Identify Tsunami Damage –. Journal of Disaster Research, 4(6).
- León, J., Catalán, P., & Gubler, A. (2021). Assessment of Top-Down Design of Tsunami Evacuation Strategies Based on Drill and Modelled Data. Frontiers in Earth Science. <https://doi.org/doi:10.3389/feart.2021.744193>
- Madden, I., Suckale, J., & Marras, S. (2023). Leveraging Google’s Tensor Processing Units for tsunami-risk mitigation planning in the Pacific Northwest and beyond. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2301.12010>

- Mori, N., Satake, K., Cox, D., Goda, K., Catalan, P. A., Ho, T.-C., Imamura, F., Tomiczek, T., Lynett, P., Miyashita, T., Muhari, A., Titov, V., & Wilson, R. (2022). Giant Tsunami Monitoring, Early Warning and Hazard Assessment. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3(9), 557–572. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00327-3>
- NOAA National Centers for Environmental Information. (2024). National Geophysical Data Center / World Data Service: NCEI/WDS Global Historical Tsunami Database. <https://doi.org/10.7289/V5PN93H7> [25/01/2025]
- Okal, E. A. (2019). Twenty-Five Years of Progress in the Science of “Geological” Tsunamis Following the 1992 Nicaragua and Flores Events. *Pure and Applied Geophysics*, 176(7), 2771–2793. <https://doi.org/10.1007/s00024-019-02244-x>
- PARI. (2015). Tsunami Force and Tsunami Resistant Structure. [Master course lecture Note]. IISSE-BRI.
- Rafliana, I., Jalayer, F., Cerase, A., Cugliari, L., Baiguera, M., Salmanidou, D., Necmioğlu, Ö., Ayerbe, I. A., Lorito, S., Fraser, S., Løvholt, F., Babeyko, A., Salgado-Gálvez, M. A., Selva, J., De Risi, R., Sørensen, M. B., Behrens, J., Aniel-Quiroga, I., Del Zoppo, M., ... Hancilar, U. (2022). Tsunami Risk Communication and Management: Contemporary Gaps and Challenges. In *International Journal of Disaster Risk Reduction* (Vol. 70). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102771>

- Robke, B. R., & Vott, A. (2017). The tsunami phenomenon. *Progress in Oceanography*, s9-VIII(159), 296–322. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2017.09.003>
- Satake, K. (2014). Advances in earthquake and tsunami sciences and disaster risk reduction since the 2004 Indian ocean tsunami. *Geoscience Letters*, 1(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s40562-014-0015-7>
- Satake, K. (2015). Tsunamis Generation and Propagation. [Master course lecture Note]. IISSE-BRI.
- Shibazaki, B. (2014). Overview of Earthquake and Disaster. [Master course lecture Note]. IISSE-BRI.
- Sato, S. (2015). Characteristics of the 2011 Tohoku Tsunami and introduction of two level tsunamis for tsunami disaster mitigation. *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, 91(6). <https://doi.org/10.2183/pjab.91.262>
- Shigihara, Y., Imai, K., Iwase, H., Kawasaki, K., Nemoto, M., Baba, T., Chikasada, N. Y., Chida, Y., & Arikawa, T. (2021). Variation analysis of multiple tsunami inundation models. *Coastal Engineering Journal*, 00(00), 1–28. <https://doi.org/10.1080/21664250.2021.1991730>

- Sugawara, D. (2021). Numerical Modeling of Tsunami: Advances and Future Challenges After the 2011 Tohoku Earthquake and Tsunami. *Earth-Science Reviews*, 214(April 2020), 103498. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103498>
- Tanaka, S. (2015). Tsunamis Hazard Map. [Master course lecture Note]. IISEE-BRI.
- Tang, L., Titov, V. V., Bernard, E. N., Wei, Y., Chamberlin, C. D., Newman, J. C., Mofjeld, H. O., Arcas, D., Eble, M. C., Moore, C., Uslu, B., Pells, C., Spillane, M., Wright, L., & Gica, E. (2012). Direct energy estimation of the 2011 Japan tsunami using deep-ocean pressure measurements. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(C8). <https://doi.org/10.1029/2011JC007635>
- Tsai, V. C., Ampuero, J. P., Kanamori, H., & Stevenson, D. J. (2013). Estimating the effect of Earth elasticity and variable water density on tsunami speeds. *Geophysical Research Letters*, 40(3), 492-496
- Tsuji, Y. (2014). Lessons given by the Tsunami of the Great East Japan Earthquake of March 11th, 2011. *Disaster Prevention for Millennium Earthquakes-Tsunamis*. [Master course lecture Note]. IISEE-BRI.
- UNDRR. (2022). Global Status of Multi-hazard Early Warning System. Target G.

- UNDRR. (2022). Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Our World at Risk: Transforming Governance for a Resilient Future 2022.
- Watada, S., Kusumoto, S., & Satake, K. (2014). Traveltime delay and initial phase reversal of distant tsunamis coupled with the self-gravitating elastic Earth. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 119(5), 4287-4310

Nota de la Autora

Me tomé medio en serio lo de escribir un libro y plantar un árbol para dejar un legado.

Declaro que este texto ha sido revisado, corregido, aumentado y adecuado íntegramente por la autora, de manera que las ideas y definiciones están soportadas por el conocimiento y la ciencia que se ha acumulado en torno a los tsunamis. Se ha usado la IA, de manera complementaria para temas específicos como generación de imágenes, .

Queda expreso mi agradecimiento por esos avances en el conocimiento a esa comunidad de investigadores que en parte se citan aquí y también a todos aquellos de quienes he aprendido aunque no han sido citados explícitamente en este breve texto.

Y especiales reconocimientos a mis maestros del International Institute of Seismology and Earthquake Engineering - Building Research Institute en Tsukuba y el IRIDES en Sendai, Japón, Drs. Tsuji, Shibasaki, Koshimura, Fujii, Hara, Hurukawa, Hayashida, Yokoi, Mass, Adriano y tantos más que supieron transmitirme su conocimiento, aplicación e interés por el estudio de estos temas.

Esta información ha sido elaborada con el mayor rigor posible, busca aportar al conocimiento desde una perspectiva técnica y accesible a la vez. Se agradece cualquier observación que contribuya a mejorar su precisión y utilidad y se invita al lector a complementar esta información con otras referencias pertinentes para asegurar su adecuada aplicación.

Para situaciones de emergencia real ante tsunamis, además de poner en práctica aquello pertinente que ha leído aquí, siempre siga las instrucciones de las autoridades locales de protección civil/ gestión de emergencias y riesgos y los sistemas oficiales de alerta temprana.

Sobre la Autora

Teresa Vera San Martín es oceanógrafa con estudios de posgrado en calidad y productividad, medio ambiente, sistemas de información geográfica, riesgos y desastres y también tsunamis.

Ha escrito ensayos y varias publicaciones sobre temáticas relacionadas a sus experiencias profesionales y realiza activamente investigación en el campo de los residuos sólidos en playas y los tsunamis.

Sus estudios doctorales enmarcados en los ODS, se enfocaron en los mapas de tsunami tanto de inundación como de evacuación.



correo: tvera@espol.edu.ec;
teresa_vera@hotmail.com