

VALUATIVE SAS · NIT 330.121.091-0 · Oficinas a nivel Nacional
Visítenos en www.valuative.co

MAREMOTOS

El Tsunami - La ola sísmica

VALUATIVE
LÍDERES EN INVESTIGACIÓN Y PROTECCIÓN PATRIMONIAL

Cra. 7 No. 156 - 10 Of. 1607 / Torre Krystal
Centro Empresarial North Point
Bogotá D.C., Colombia
PBX.: +57 (1) 390 2846
info@valuative.co



MAREMOTOS

El Tsunami - La ola sísmica

INTRODUCCION

El mar puede ser estudiado desde varias perspectivas. Desde el punto de vista humano nos puede interesar como medio para la navegación, la actividad pesquera, de localización de recursos minerales, de localización industrial, de actividad turística, etc.

El mar como medio viviente es otra óptica ya que la vida ocupa en el mar un dominio extenso y es fuente de recursos para la humanidad; por ejemplo el estudio de la distribución geográfica del plancton es de gran interés puesto que determina la localización de los animales marinos. El mar como medio físico también es relevante porque de las características y distribución de la temperatura, salinidad, densidad, entre otros, dependerá la localización y distribución de la vida en el mar.

Los océanos influyen muchos aspectos de la geografía, por este motivo los estudiaremos aquí como elemento estructurante de hechos que condicionan importantes relaciones naturales. El Maremoto o Tsunami (conocido también como OLA SISMICA), es uno de los eventos naturales mas devastadores de la naturaleza y nuestro país, no es ajeno a este fenómeno y pese a que nuestra memoria reciente no registra un evento de proporciones cataclísmicas, no significa que no se hayan sufrido o que no estemos, de alguna forma, sometidos a la probabilidad de que la misma ocurra.

Los Tsunamis o Maremotos, son grandes olas marinas generadas por desplazamientos súbitos del agua durante terremotos, erupciones volcánicas, deslizamientos, etc. La gran mayoría y los más grandes ocurren en el Océano Pacífico, causados por terremotos de magnitudes altas en las zonas de subducción (con excepción de eventos causados por las muy escasas erupciones volcánicas gigantes, como Krakatoa 1883). La costa de Colombia en el Pacífico está expuesta a fuentes de tsunami próximas - la zona de subducción colombo-ecuatoriana - y, en principio, lejanas. La fuente próxima ya ha causado desastres en varias ocasiones, mientras que no existe testimonio de impacto peligroso de tsunami de fuente lejana, pero tampoco certeza fundada sobre el nivel de exposición. Es entonces de gran interés predecir para las costas colombianas, de manera cuantitativa y detallada, los efectos de tsunami de origen cercano y lejano.

Como parte del Programa Nacional de Prevención de Tsunami en Colombia, se inició el proyecto de modelamiento de propagación de tsunami mediante métodos de simulación numérica con base en la aproximación para ondas largas, con el fin de calcular detalladamente tiempos de llegada, alturas de ola, corrientes y áreas de inundación en segmentos de mayor vulnerabilidad de la costa del Pacífico en Colombia. En este trabajo se presenta la simulación de un evento de la fuente cercana (1979:12:12, zona de subducción colombo-ecuatoriana) y de un tsunami de origen lejano (1960:05:22, Chile). Mientras que la fuente cercana ha causado varios desastres, no se conocen datos ni testimonios que den cuenta de la exposición a tsunami de origen lejano. Estos modelos de eventos reales, no obstante ser los primeros resultados y preliminares, muestran una aceptable coincidencia con las evidencias conocidas (testimonios y datos mareográficos).

IMPORTANTES PROCESOS DEL MAR

En el mar Ocurren procesos como las surgencias y el fenómeno El Niño, que son relevantes porque influyen en aspectos diversos del clima, de los recursos marinos vivos, de las condiciones para

el habitat humano, entre otros. Ambos fenómenos, aunque pueden relacionarse, ocurren a diferentes escalas espacio-temporales.

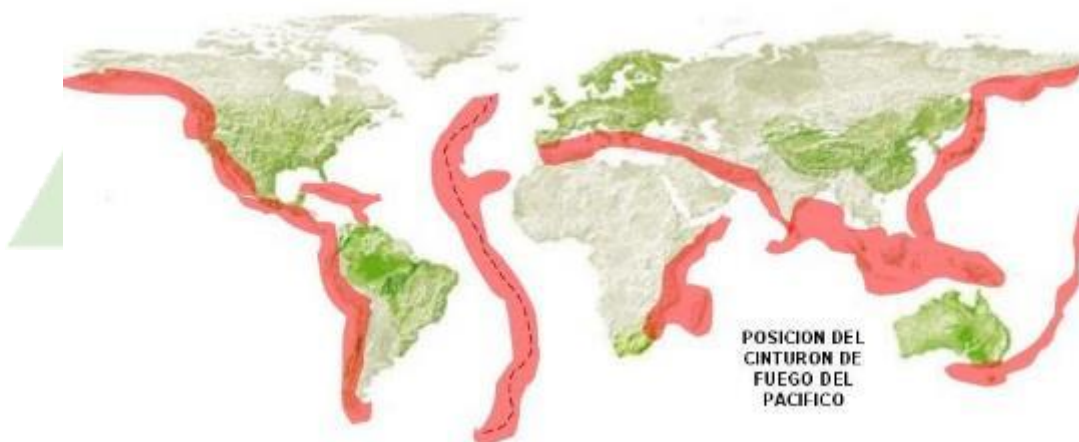
El Niño es un fenómeno a escala planetaria (depende de fuerzas planetarias), que posee una cierta periodicidad y que produce cambios interanuales en el océano generando cambios en los sistemas de corrientes, en las masas de agua, en los habitat marinos afectando a la pesquería.

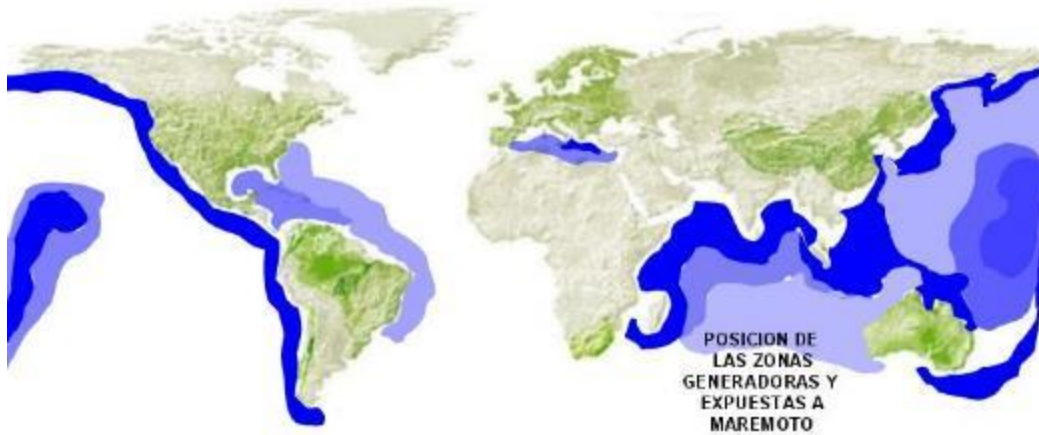
Las surgencias son fenómenos a mesoescala (algunos kilómetros a decenas de kilómetros), generalmente localizadas geográficamente, dependiendo de la forma de la costa, la topografía submarina y los vientos locales; temporalmente son medibles en días y horas y afectan al mar territorial.

Por otra parte, la condición de borde de placa de subducción en que se encuentra COLOMBIA, es responsable de la alta sismicidad a la que se asocian los tsunamis que constituyen un factor de riesgo para los asentamientos humanos localizados en terrenos bajos de la costa.

Es de recordar, que Colombia se encuentra ubicada sobre el borde oriental del Cinturón de Fuego del Pacífico y su costa de alrededor de 1.300 kilómetros de longitud, da de lleno frente al océano y consecuentemente se encuentra expuesta a olas sísmicas de fuente lejana, pero también de las originadas a partir de las producidas por la placa de Subducción o Línea Benioff que se origina frente al litoral caribeño, afectando potencialmente los Departamentos de Nariño, Cauca, Valle y Chocó en forma directa y de manera indirecta a los Departamentos del Centro Occidente de Colombia.

Sin embargo, también es cierto, que nuestra costa atlántica, si bien no enfrenta en forma directa al océano, si hace parte de la Placa del Caribe, donde potenciales eventos sísmicos originados principalmente en los bordes oceánicos de Centro América o las Antillas, podrían afectar las líneas de costa de los Departamentos de la Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba y Antioquia, así como el archipiélago de San Andrés y Providencia.





Debido a su posición geográfica, principalmente en la cuenca del Pacífico, Colombia, queda incluida dentro de los países que con alguna frecuencia pueden recibir los efectos de ondas de tsunamis. Estas ondas se desplazan a gran velocidad y, según su magnitud, pueden causar enormes daños materiales y pérdidas de vidas al alcanzar las costas continentales e islas oceánicas

Tsunami es una palabra japonesa que denomina a una gran ola que irrumpe en un puerto.

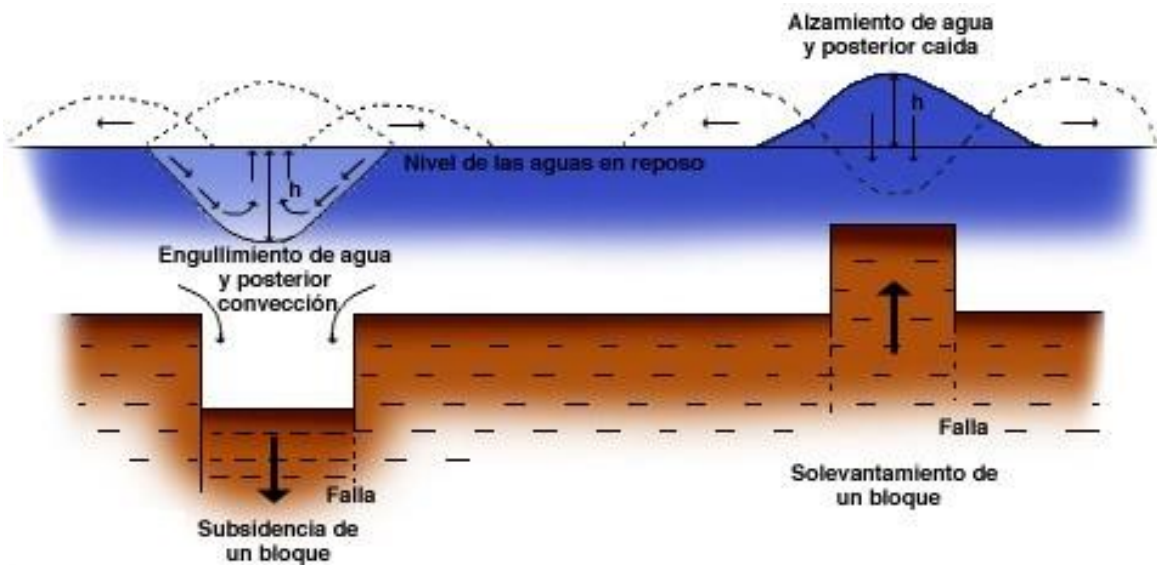
Existe consenso para designar con la palabra tsunami a aquel fenómeno periódico que ocurre en el mar, generado por un disturbio externo que impulsa y desplaza verticalmente la columna de agua originando un tren de ondas largas, con un período que va de varios minutos hasta una hora, que se propaga a gran velocidad en todas direcciones desde la zona de origen, y cuyas olas al aproximarse a las costas alcanzan alturas de grandes proporciones, descargando su energía con gran poder, infligiendo una vasta destrucción e inundación.

MECANISMOS GENERADORES DEL TSUNAMI

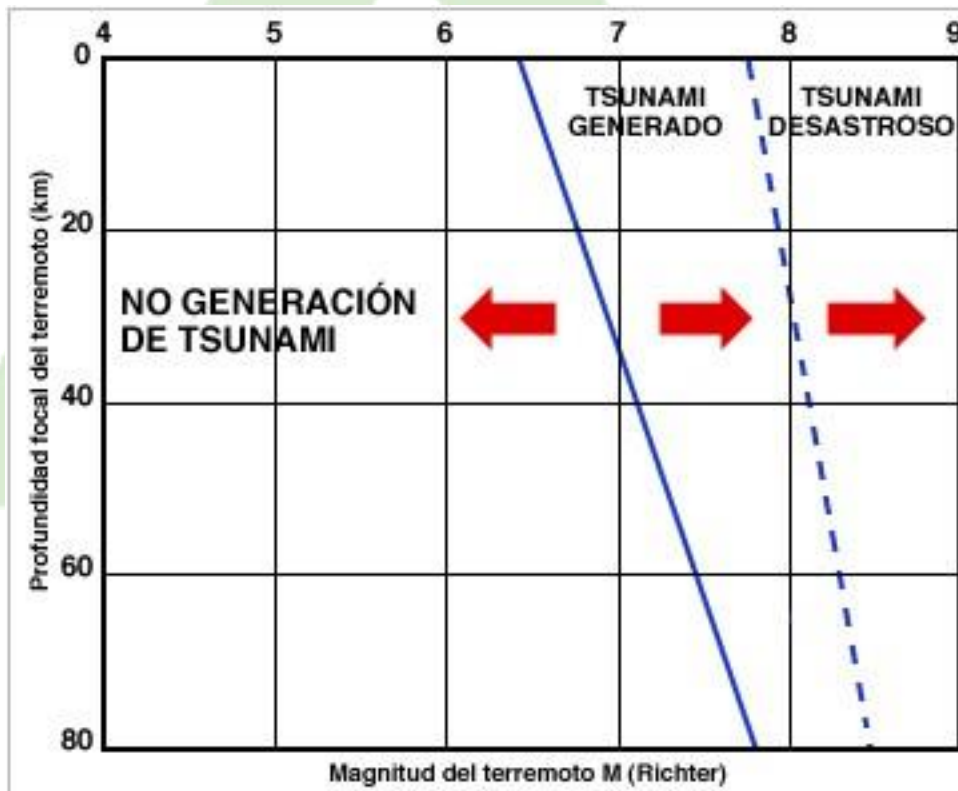
Los principales mecanismos generadores de tsunamis son:

- Dislocaciones en el fondo del mar producidas por un terremoto, de magnitud superior a 6.5 en la escala de Richter, el cual provoca súbitos levantamientos o hundimientos de la corteza con el consiguiente desplazamiento de la columna de agua. El tectonismo ocasiona el 96% de los tsunamis observados.
- Erupciones volcánicas submarinas que son responsables del 3% de ocurrencia de tsunamis.
- Deslizamientos en el talud continental, con 0.8% de ocurrencia.

Otros mecanismos naturales generadores de tsunami son: el flujo hacia el mar de corrientes de turbidez o de lava; el desprendimiento de glaciares, y en forma artificial las explosiones nucleares detonadas en la superficie o en el fondo del mar. Estos son fenómenos menos comunes, pero de gran importancia por los efectos locales que producen.

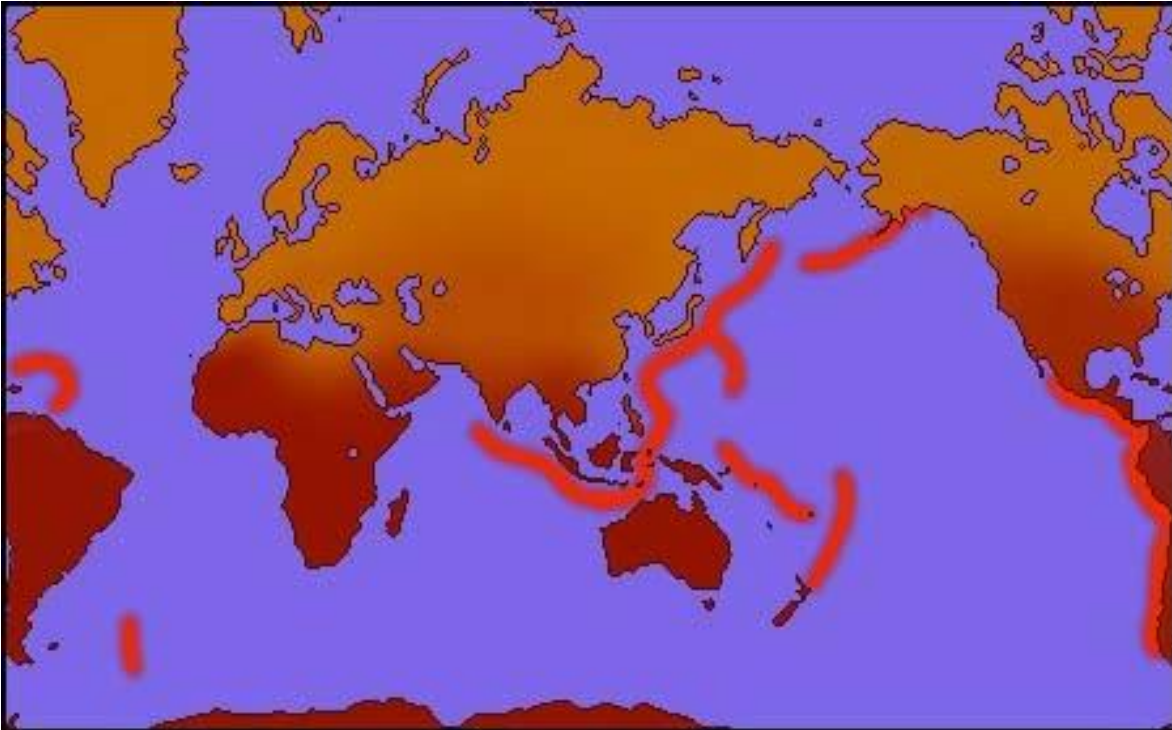


Es poco probable que terremotos de hipocentros poco profundos (menores a 60 km), con magnitudes inferiores a 6,4 en la escala de Richter generen un tsunami. Mientras que aquellos con magnitudes superiores a 7,75 pueden originar tsunamis de alto riesgo.



Es preciso señalar que los terremotos de foco poco profundo constituyen un 75 % del total de la energía sísmica liberada anualmente, y también presentan la mayor frecuencia relativa de ocurrencia en el mundo, alcanzando más de un 72%.

Dado su origen, los tsunamis son muy frecuentes en el océano Pacífico; en el período considerado entre 1900 y 1986 fueron observados 247 tsunamis en el Pacífico de los cuales 29% se generaron cerca de Japón.



Costas de subducción de placas

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE UN TSUNAMI

Debido a la gran longitud de onda estas olas siempre "sienten" el fondo (son refractadas), ya que la profundidad siempre es inferior a la mitad de la longitud de onda (valor crítico que separa las olas de agua profunda de las olas de aguas someras). En consecuencia, en todo punto del océano, la velocidad de propagación del tsunami depende de la profundidad oceánica y puede ser calculado en función de ella.

$$V = \sqrt{gd}$$

En donde V es la velocidad de propagación, g la aceleración de gravedad (9.81 m /seg^2) y d la profundidad del fondo marino. Para el Océano Pacífico la profundidad media es de 4.000 m, lo que da una velocidad de propagación promedio de 198 m/s ó 713 km/h. De este modo, si la profundidad de las aguas disminuye, la velocidad del tsunami decrece.

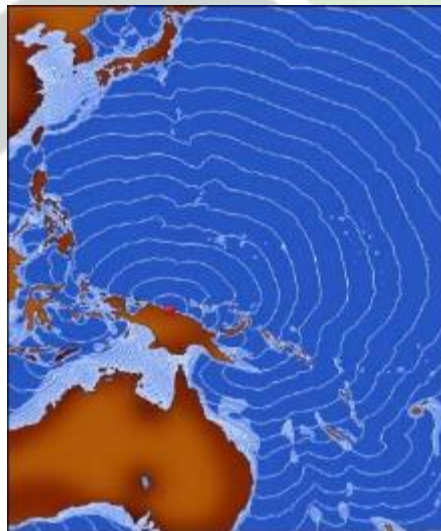
Velocidad de propagación de tsunamis en función de la profundidad

PROFUNDIDAD D (brasas de 1.8 (Nudos:	VELOCIDAD 1852
5000	582
3000	451
1000	260
500	184
100	82
10	26

Cuando las profundidades son muy grandes, la onda de tsunami puede alcanzar gran velocidad, por ejemplo el tsunami del 4 de Noviembre de 1952 originado por un terremoto ocurrido en Petropavlosk (Kamchatka), demoró 20 horas y 40 minutos en llegar a Valparaíso en el otro extremo del Pacífico, a una distancia de 8348 millas, avanzando a una velocidad media de 404 nudos. La altura de la ola al llegar a la costa es variable, en el caso señalado en LA Costa Chilena (Talcahuano) se registraron olas de 3.6 metros; en Sitka (Alaska) de 0.30 metros y en California de 1 metro.

Al aproximarse a las aguas bajas, las olas sufren fenómenos de refracción y disminuyen su velocidad y longitud de onda, aumentando su altura. En mares profundos éstas ondas pueden pasar inadvertidas ya que sólo tiene amplitudes que bordean el metro; sin embargo al llegar a la costa pueden excepcionalmente alcanzar hasta 20 metros de altura.

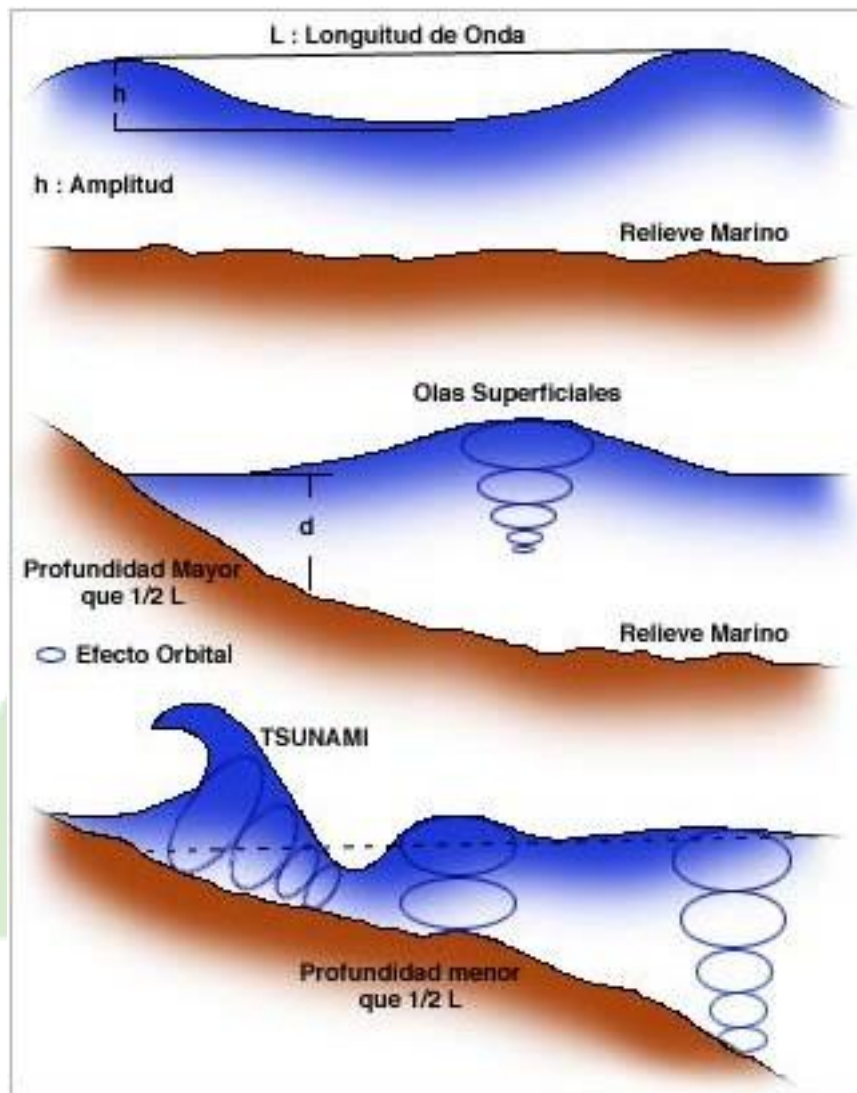
Es posible trazar cartas de propagación de tsunamis, como se hace con las cartas de olas; la diferencia es que los tsunamis son refractados en todas partes por las variaciones de profundidad; mientras que con las olas ocurre sólo cerca de la costa.



Carta de propagación de la onda del tsunami de Papua Nueva Guinea, ocurrido en Julio de 1998. Las isocronas muestran a intervalos de 30 minutos el tiempo de avance del frente de onda

Sus características difieren notablemente de las olas generadas por el viento. Toda onda tiene un efecto orbital que alcanza una profundidad igual a la mitad de su **longitud de onda**; así una ola generada por el viento sólo en grandes tormentas puede alcanzar unos 300 metros de longitud de onda, lo cual indica que ejercerá efecto hasta 150 metros de profundidad.

Los tsunamis tienen normalmente longitudes de onda que superan los 50 kilómetros y pueden alcanzar hasta 1000 kilómetros, en tal caso el efecto orbital es constante y vigoroso en cualquier parte del fondo marino, ya que no existen profundidades semejantes en los océanos.

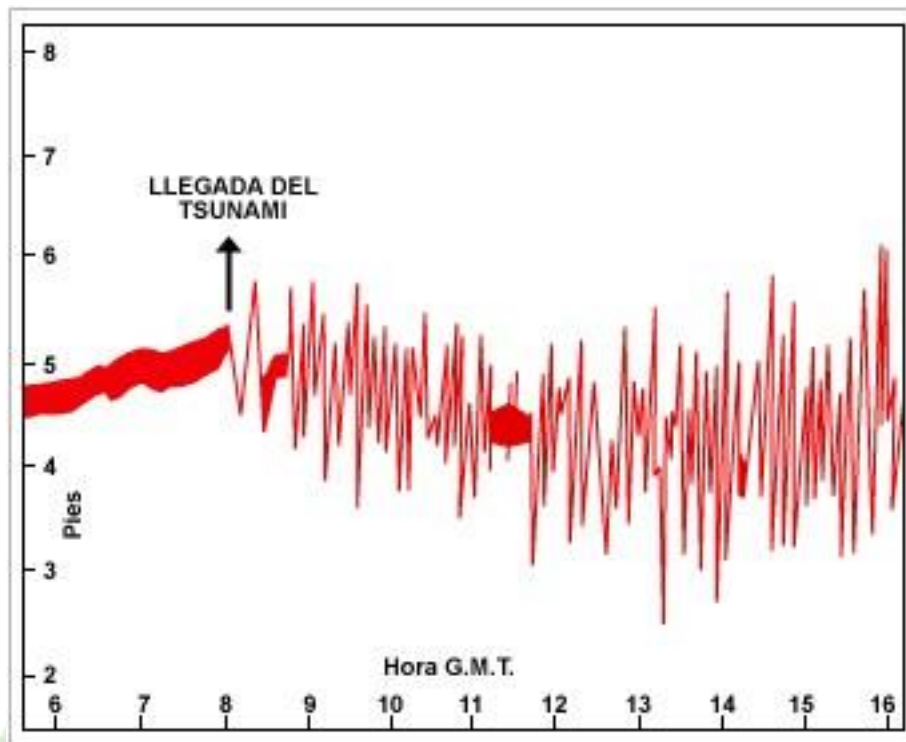


La longitud de onda (L) de un tsunami corresponde al producto entre la velocidad de propagación (V) y el período (T), relación dada por:

$$L = V \times T$$

de este modo, para una velocidad de propagación $V = 713 \text{ km/h}$, y un período $T = 15 \text{ minutos}$, la longitud de onda es $L = 178 \text{ km}$. Debido a su gran longitud onda, el desplazamiento de un tsunami a grandes profundidades se manifiesta en la superficie oceánica con amplitudes tan solo de unos pocos centímetros.

Las olas generadas por los vientos tienen períodos por lo general de menos de 15 segundos, a diferencia de las ondas de tsunami que oscilan entre 20 y 60 minutos. Esta característica permite diferenciarlas claramente en un registro mareográfico y por lo tanto advertir la presencia de un tsunami.



IMPACTO DEL TSUNAMI

La magnitud de los efectos de un tsunami en áreas costeras, va a depender de una serie de factores físicos y de la existencia o no de emplazamientos humanos. De este modo, a continuación se describen escalas de intensidad de tsunamis, su poder destructor, sus efectos en la costa y daños ocasionados.

Escalas de intensidad de tsunamis

Para expresar la magnitud de un tsunami diversos autores han creado escalas de grados de intensidad. Inamura en 1949 propone una escala en función de la altura de la ola y los daños que estas producen en las áreas costeras. De este modo, el grado de un tsunami m o magnitud es clasificado de acuerdo a lo estipulado en el siguiente cuadro.

Escala de Grados de Tsunamis según Inamura.		
Grado de tsunami m	Altura de ola H (metros)	Descripción de los daños
0	1 - 2	No produce daños.
1	2 - 5	Casas inundadas y botes destruidos son arrastrados.
2	5 - 10	Hombres, barcos y casas son barridos.
3	10 - 20	Daños extendidos a lo largo de 400 km de la costa.
4	> 30	Daños extendidos sobre más de 500 km a lo largo de la línea costera

Por su parte, Lida en 1963, propone una escala de grados de tsunami, relacionando la máxima altura de subida que alcanza en tierra la ola (runup = R), medida sobre el nivel medio del mar; y la energía de los tsunamis correspondiente a diferentes grados de intensidad. Relación que se ilustra en el siguiente cuadro.

Escala de grados de tsunami según lida.

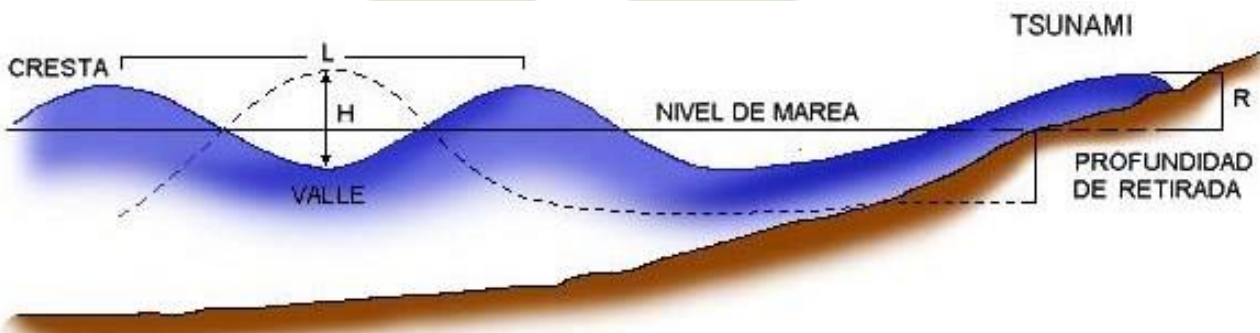
Grado de tsunami m	Energía (Erg)	Máxima altura de inundación R (metros)
5.0	25.6×10^{23}	> 32
4.5	12.8×10^{23}	24 - 32
4.0	6.4×10^{23}	16 - 24
3.5	3.2×10^{23}	12 - 16
3.0	1.6×10^{23}	8 - 12
2.5	0.8×10^{23}	6 - 8
2.0	0.4×10^{23}	4 - 6
1.5	0.2×10^{23}	3 - 4
1.0	0.1×10^{23}	2 - 3
0.5	0.05	1.5 - 2
0.0	0.025	1 - 1.5
-0.5	0.0125	0.75 - 1
-1.0	0.006	0.50 - 0.75
-1.5	0.003	0.30 - 0.50
-2.0	0.0015	< 0.30

Posteriormente, Wiegel en 1970, combina las escalas propuestas por Inamura y Lida. Como se observa en el siguiente cuadro, adiciona a la escala de Inamura la cota máxima de inundación R, definida por Lida. Como la escala de Lida se extiende desde $m = -2$ hasta $m = 5$ y además contiene medios grados, la adaptación de la variable R a la escala de Inamura se presenta con intervalos discontinuos.

Escala de grados de tsunami según Inamura y Lida, transcrita por Wiegel

Grado tsunami i m	Altura de la ola H (metros)	Cota máxima de inundación R (metros)	Descripción de los daños
0	1 - 2	1 - 1.5	No produce daños.
1	2 - 5	2 - 3	Casas inundadas y botes destruidos son arrastrados.
2	5 - 10	4 - 6	Hombres, barcos y casas son barridos.
3	10 - 20	8 - 12	Daños extendidos a lo largo de 400 km de la costa.
4	> 30	16 - 24	Daños extendidos sobre más de 500 km a lo largo de la línea costera.

La altura de la ola H corresponde a la diferencia de nivel entre cresta y valle. Por otra parte, la cota máxima de inundación R, corresponde al lugar de la costa donde los efectos del tsunami son máximos.



Con la escala de grados de tsunami descrita, se puede identificar y diferenciar la magnitud de un evento. De este modo, al señalar que la costa de una determinada región ha sido afectada por 10 tsunamis en 400 años, se puede precisar que de los diez tsunamis acontecidos sólo uno fue de magnitud dos ($m = 2$) y nueve fueron de magnitud cero ($m = 0$). Además, esta escala permite calificar los tsunamis basándose en documentos y descripciones históricas que hacen referencia a la magnitud de los daños y a la cota máxima de inundación.

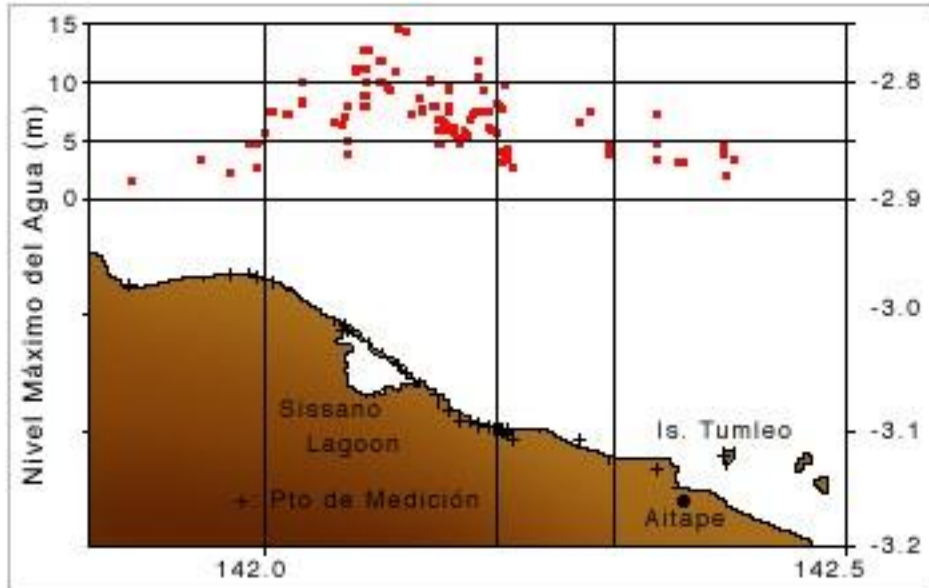
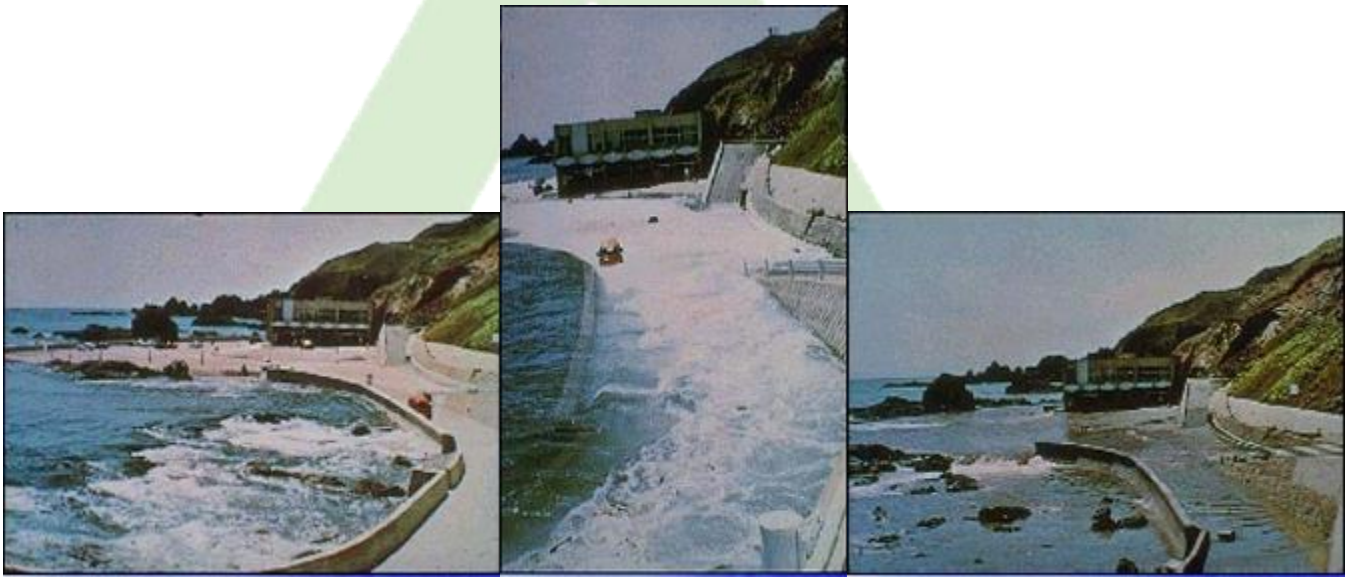


Gráfico que ilustra las cotas máximas de inundación (runup), ocurridas durante el tsunami que afectó la costa occidental de Papua Nueva Guinea, 17/07/1998. Fuente: International Tsunami Survey Team (ITST)



Poder destructor de un tsunami

La fuerza destructiva del tsunami en áreas costeras, depende de la combinación de los siguientes factores:

- Magnitud del fenómeno que lo induce. En el caso de ser un sismo submarino se debe considerar la magnitud y profundidad de su foco.
- Influencia de la topografía submarina en la propagación del tsunami.

- Distancia a la costa desde el punto donde ocurrió el fenómeno (epicentro).
- Configuración de la línea de costa.
- Influencia de la orientación del eje de una bahía respecto al epicentro (características direccionales).
- Presencia o ausencia de corales o rompeolas, y el estado de la marea al tiempo de la llegada del tsunami.
- Influencia de la topografía en superficie, incluye pendientes y grado de rugosidad derivado de construcciones, árboles y otros obstáculos en tierra

Efectos en la costa

La llegada de un tsunami a las costas se manifiesta por un cambio anómalo en el nivel del mar, generalmente se presenta un aumento o recogimiento previo de las aguas; esta última situación suele dejar descubiertas grandes extensiones del fondo marino. Posteriormente, se produce una sucesión rápida y acentuada de ascensos y descensos del nivel de las aguas, cuya altura puede variar entre uno y cuatro metros; sin embargo, se han registrado casos puntuales en que las olas alcanzaron alturas superiores a los 20 metros.

La ola de un tsunami acumula gran cantidad de energía; cuando llega a la línea costera, esta ola avanza sobre la tierra alcanzando alturas importantes sobre el nivel medio del mar. La ola y el flujo que le sigue, cuando encuentran un obstáculo descargan su energía impactando con gran fuerza. La dinámica de un tsunami en tierra es bastante compleja y normalmente no predecible; esto se debe a que influyen factores muy diversos como son: el período, la altura de la ola, la topografía submarina y terrestre determinando daños de diversa intensidad.

Los efectos de un tsunami son diferentes dependiendo de la duración del período. Con corto período, la ola llega a tierra con una fuerte corriente, y con período largo, se produce una inundación lenta con poca corriente. Por otra parte, mientras mayor sea la altura de la ola, mayor es la energía acumulada; por lo tanto, y dependiendo de la pendiente y morfología del terreno, mayor será la extensión de las áreas inundadas. Al respecto, estudios japoneses han determinado que mientras menor es la pendiente de la ola (razón entre la altura y la longitud de onda) mayor será la altura máxima de inundación.

Por otra parte, las variaciones en las formas y las pendientes de la batimetría submarina cercana a la línea de costa influyen directamente en el potencial de energía del tsunami, ocurriendo amplificación o atenuación de las ondas.

Así, una **costa en peldaños que** tenga una plataforma continental escalonada con bruscos cambios de pendiente, hará que la onda de tsunami pierda gradualmente su energía cinética y por tanto potencial, lo anterior debido a los choques sucesivos de la masa de agua con el fondo marino. Las olas van disipando su energía en las paredes con los cambios bruscos de profundidad.

En tanto, una costa con topografía de pendientes suaves **en forma de rampas** en que la plataforma continental penetra suavemente en el mar, permitirá que la energía del tsunami sea transmitida en su totalidad, y por lo tanto, se incrementa el poder destructivo del mismo. Estas son costas de alto riesgo con olas de gran altura que producen inundación. En este caso la pérdida de energía es sólo por roce.

En las **bahías** puede haber **reflexión** en los bordes de las costas; en este caso si el período es igual (o múltiplo entero) al tiempo que demora en recorrer la bahía, al llegar la segunda ola puede verse reforzada con un remanente de la primera y aumentar la energía al interior de la bahía, este es el fenómeno de **resonancia**.

Daños causados por tsunami.



Esta condición puede producir la amplificación de las alturas del tsunami al interior de una bahía como ocurre en la bahía de Concepción (SHOA,1995). La figura complementaria muestra la forma rectangular de la bahía con 14, 6 kilómetros de largo por 11,7 kilómetros de ancho, con una profundidad media de 25 metros. En 25 metros de profundidad la velocidad del tsunami es de 15,6 m/segundos o bien 56,3 km/hora, lo que significa que este recorre el largo de la bahía en 15,5 minutos y el ancho en 12,5 segundos.

La topografía de las tierras emergidas influye directamente en la penetración del tsunami en superficie. Cuando la pendiente es relativamente fuerte la extensión de la zona inundada no es significativa, en cambio, cuando el terreno es plano o con escasa pendiente, la penetración puede abarcar kilómetros tierras adentro.

Daños causados por tsunami.

Los daños típicos producidos por tsunami pueden agruparse de acuerdo a los siguientes grupos:

a) Daños producidos por el momento del flujo.

Los daños producidos por efecto del torque o momento, se originan cuando la masa de agua del frente del tsunami seguido por una fuerte corriente, impacta el espacio construido y su entorno, caracterizado por obras de variadas dimensiones, árboles u otros objetos. En el impacto el tsunami demuestra su tremenda fuerza destructiva, la cual, se refuerza por la colisión de los objetos arrastrados por la corriente.

Cuando la masa de agua fluye de vuelta al mar, los escombros arrastrados fortalecen la fuerza del empuje del flujo que irrumpa, causando de este modo un efecto destructivo de las estructuras debilitadas por la primera embestida. En algunas ocasiones la magnitud del momento del flujo es tan alta, que es capaz de arrastrar tierra adentro a barcos de elevado tonelaje. Se debe señalar que los daños originados por esta causa son más severos en las bahías en forma de V, cuando son azotadas por tsunamis de períodos cortos.



Secuencia que muestra la llegada de un tsunami a Laie Point, Oahu, Hawaii, 03/09/1957

b) Daños producidos por la inundación.

Si el flujo no es de gran magnitud, la inundación hace que flote todo tipo de material que no esté fuertemente ligado a su base en el terreno, como ocurre con casas de madera que no tienen sólidos cimientos. En el caso de una gran extensión de terreno plano, la masa de agua puede encontrar un pasaje hacia el interior y, por diferencias de pendiente, el flujo de agua es acelerado en ese pasaje originando el barrido de los elementos que se presenten a su paso, como construcciones, estructuras, etc.

c) Daños producidos por socavamiento.

En estas inundaciones, normalmente personas y animales perecen ahogados; barcos y otras embarcaciones menores atracados en puertos y muelles, pueden ser arrastrados a tierra y depositados posteriormente en áreas distantes a su localización inicial una vez que el flujo ha retrocedido.

Los daños originados por socavamiento han sido observados a menudo en las infraestructuras portuarias. Cerca de la costa la corriente del tsunami, remueve el fango y arena del fondo del mar,

socavando a veces las fundaciones de las estructuras de muelles y puertos. Si esto ocurre, dichas estructuras caen hacia el mar; como ha ocurrido con algunos muelles sobre pilotes. El colapso de las estructuras puede producirse también cuando el reflujó socava las fundaciones. La inundación que produce el tsunami puede socavar también los cimientos de líneas de ferrocarril o carreteras, originando bloqueos de tráfico y una prolongada demora en el rescate y trabajos de reconstrucción.



Secuencia de imágenes que muestran la llegada del tsunami de Japón del 26 de Mayo de 1983

EL RIESGO DE TSUNAMI

Los tsunamis se encuentran entre los más terribles y complejos fenómenos físicos, son eventos naturales extremos, poco frecuentes, pero de rápida generación, responsables de numerosas pérdidas de vidas y extensa destrucción en localidades costeras.

La amenaza de tsunami sobre las costas de nuestro país, toma relevancia al momento de considerar los eventos históricos acontecidos, y al observar la tendencia a localizar residencias permanentes, industrias y variadas obras civiles muy próximas al mar, como en los casos de Buenaventura, Tumaco, Santamaría, Barranquilla, Cartagena y Riohacha, sin olvidar la capital de San Andrés y Providencia y la gran cantidad de poblados ribereños.

Hay diversas formas de reducir el riesgo de tsunami. Una de ellas consiste en estimar la vulnerabilidad de los asentamientos costeros amenazados, para ello se definen áreas potenciales de inundación ante un eventual tsunami, estimación que puede realizarse mediante tres técnicas complementarias:

- **Comportamiento de tsunamis históricos.**
- **Modelos teóricos - históricos.**
- **Simulación numérica.**

Se debe considerar que el uso de estas técnicas es complementario, de este modo la combinación de métodos y fuentes de información potencian la certidumbre de los resultados. Por otra parte, las áreas de riesgo identificadas representan el comportamiento de tsunamis históricos, no considerando efectos de roce debidos a la rugosidad del terreno y la densidad de construcciones actuales. Así, los resultados obtenidos son una aproximación de lo que podría suceder en caso de tsunami en determinadas áreas, información básica para definir el umbral entre el riesgo y la seguridad de las comunidades costeras.

a) Área de inundación en función de tsunamis históricos

Para identificar una curva de inundación histórica, se debe contar con una serie de antecedentes, relatos y/o fotografías del evento. Esta información debe ser complementada con las características físicas y humanas del área de estudio, la batimetría, la geomorfología costera, altitud, los usos del borde costero y los aspectos urbanos relevantes.

b) Modelos teóricos basados en antecedentes históricos.

La formulación de modelos teóricos basados en variables físicas, y su complementación con antecedentes históricos, como el comportamiento en superficie de un tsunami en determinada región, permiten mejorar el cálculo y la aproximación de sus resultados.

Entre otros, el modelo "alturas de inundación de tsunami v/s pendiente playa sumergida", propuesto por Ramírez (1993), relaciona la pendiente de varias playas sumergidas con alturas de inundación históricas conocidas, ocurridas durante el terremoto de 1877 que originó un tsunami que afectó principalmente al norte de nuestro país.

Este modelo se fundamenta en la determinación del coeficiente de transmisión de energía, el cual permite identificar la magnitud de energía cinética transmitida por un tsunami sobre la línea de costa de determinada área. De esta forma, se puede inferir el comportamiento que la onda presentará en superficie, y por lo tanto, dimensionar las áreas que serán potencialmente afectadas por la inundación.

Para espacializar el riesgo de tsunami se utiliza éste modelo, para ello realiza un análisis batimétrico en cinco o seis (los considerados necesarios) puntos estratégicos de la línea de costa, relacionando coeficientes de transmisión de energía con cotas de inundación derivadas del modelo.

c) Área de inundación en base a simulación numérica

Se debe considerar que la simulación numérica de un tsunami se sustenta en una serie de antecedentes físicos, los cuales son complementados con registros técnicos e históricos que permiten mejorar la precisión de la simulación. La simulación puede realizarse matemáticamente de forma manual o utilizando un software computacional, lógicamente ésta última opción maneja ingentes volúmenes de información, acelerando y optimizando los resultados.

El SHOA elabora en la actualidad cartas de inundación en caso de tsunami a partir de simulaciones numéricas realizadas en un software, las cuales, de manera general, consideran los siguientes factores:

- Procedencia del frente de onda (punto epicentral más común registrado por la historia sísmica).
- Profundidad del área submarina próxima a la costa (es importante porque controla el tiempo de llegada y la altura de la ola).
- Altura de la ola (a partir de diagramas de refracción que permiten calcular la amplitud y el tiempo que demora el frente de onda en llegar a la costa).
- La morfología litoral y submarina.

De acuerdo a lo anterior, se concluye que los sectores más amenazados son los pantanos litorales y las áreas próximas, las llanuras aluviales y las terrazas inferiores hasta aproximadamente 2 kilómetros de la desembocadura de los ríos, las llanuras costeras desprovistas de cordones litorales o dunarios de altura superior a la altura de la ola prevista.

GLOSARIO DE TERMINOS

Tsunami

Palabra de origen japonés que denomina las olas más grandes y destructivas que se conozca (olas de entre 15 y 40 metros se habrían observado en el gran tsunami de Java).

Período-S

Es el tiempo que las olas demoran en completar una oscilación, las olas de viento lo hacen generalmente en menos de 15 segundos, en cambio un tsunami puede oscilar entre 10 y 90 minutos.

Longitud de Onda

Corresponde a la distancia existente entre dos crestas consecutivas de una onda. Los tsunamis se caracterizan por presentar longitudes de onda que superan los 50 km, pudiendo alcanzar hasta los 300 km, a diferencia de las olas generadas por el viento, que sólo en grandes tormentas pueden presentar unos 300 metros.

Batimetría

Medida y cálculo de la profundidad de los cuerpos de agua. Topografía submarina.

Coefficiente de Transmisión de Energía

Deriva de la ecuación de Lamb. Permite definir las pérdidas de energía que actúan en el avance de la onda de tsunami, producto de las variaciones de pendiente existentes en la plataforma continental cercana a la costa.

Diagramas de Refracción

Método matemático que permite recrear el comportamiento de un tsunami en el océano. De este método se desprenden antecedentes direccionales, alturas de ola y tiempo de llegada del tsunami a la costa.

Termoclina

Plano de discontinuidad vertical de temperatura en el océano.

Es aquella zona de la capa superficial del océano en la cual la temperatura del agua del mar tiene una rápida disminución en sentido vertical con poco aumento de la profundidad.

Ondas de Kelvin

Se originan a lo largo del Ecuador y se propagan hacia el este a una velocidad de aproximadamente 200 kilómetros por día. Estas ondas atraviesan el Pacífico, de oeste a este, en dos meses aproximadamente.

Índice de abundancia

Se refiere al número de peces obtenidos por línea de pesca (en pesquería artesanal). Por ejemplo, en frentes de surgencia donde se concentra clorofila y diatomeas, un índice de 20 atunes p.l.p es un alto índice de abundancia de esa especie.

ENSO

El Niño, oscilación del Sur. ENSO se refiere a las perturbaciones intensas que pueden ocurrir cada 4 a 6 años y que se observan particularmente bien en la temperatura superficial del océano Pacífico ecuatorial. Como la mayor parte de los sistemas físicos (por ejemplo la atmósfera), el océano propaga las perturbaciones por superposición de ondas. Sobre la Tierra, el comportamiento de las grandes ondas depende de la desviación de Coriolis (Laplace, 1775). Las ondas de Rossby (1939), se propagan hacia el oeste a velocidades que dependen de numerosos factores como la longitud de onda, la latitud, la estratificación del océano, la velocidad de las corrientes sobre las cuales se superponen. En las latitudes de 5° y 10°, estas ondas se desplazan aproximadamente a 60 kilómetros por día, es decir que atraviesan el Pacífico, de este a oeste, aproximadamente en 6 meses (en latitudes más altas ellas se desplazan a velocidades menores).



Juan Carlos Lancheros.

P.E Mech, B.B.A, I.M.S, P.M.S, F.M.S, Cert CILA