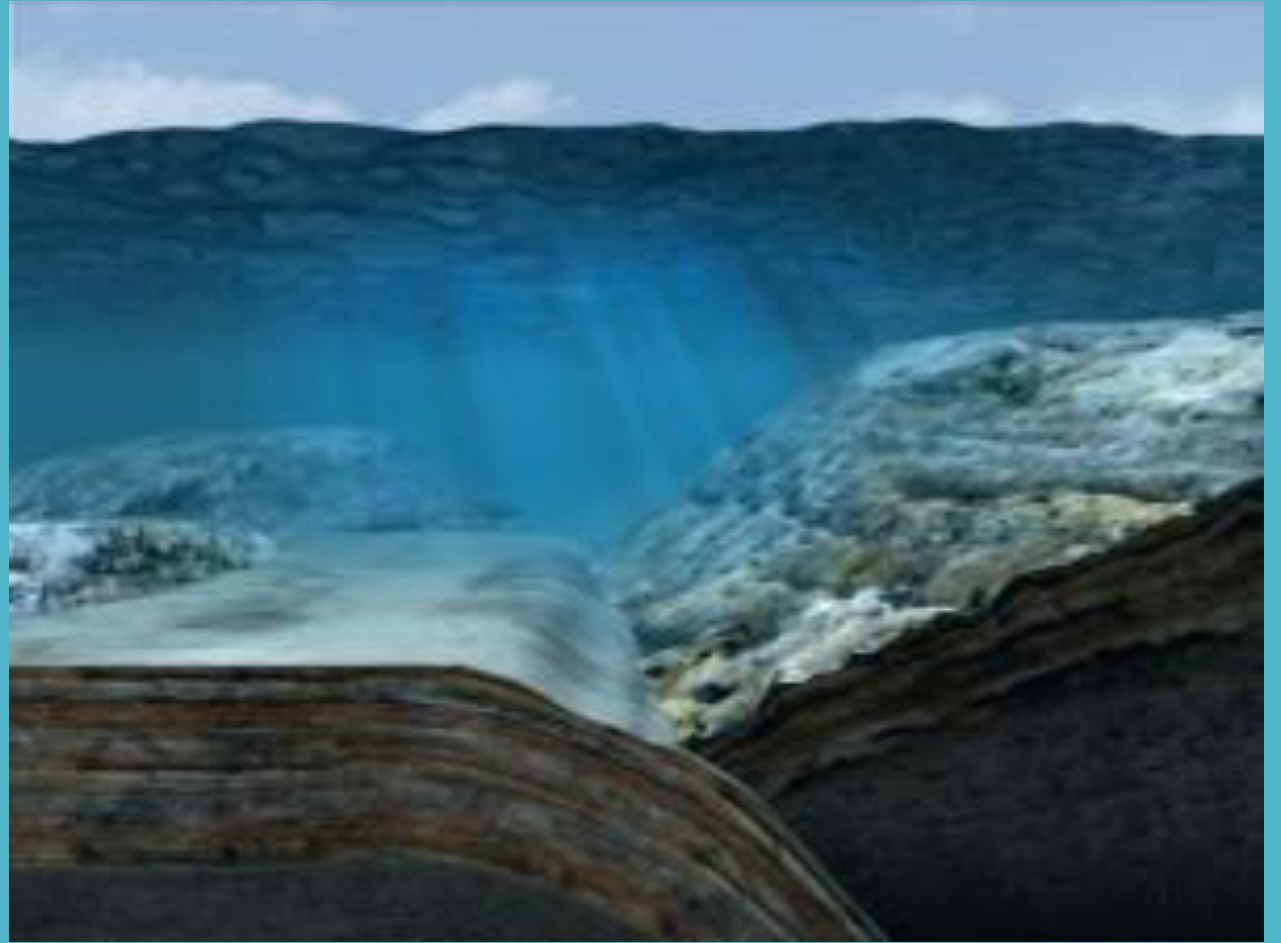


# Tsunami

Clase Introductoria

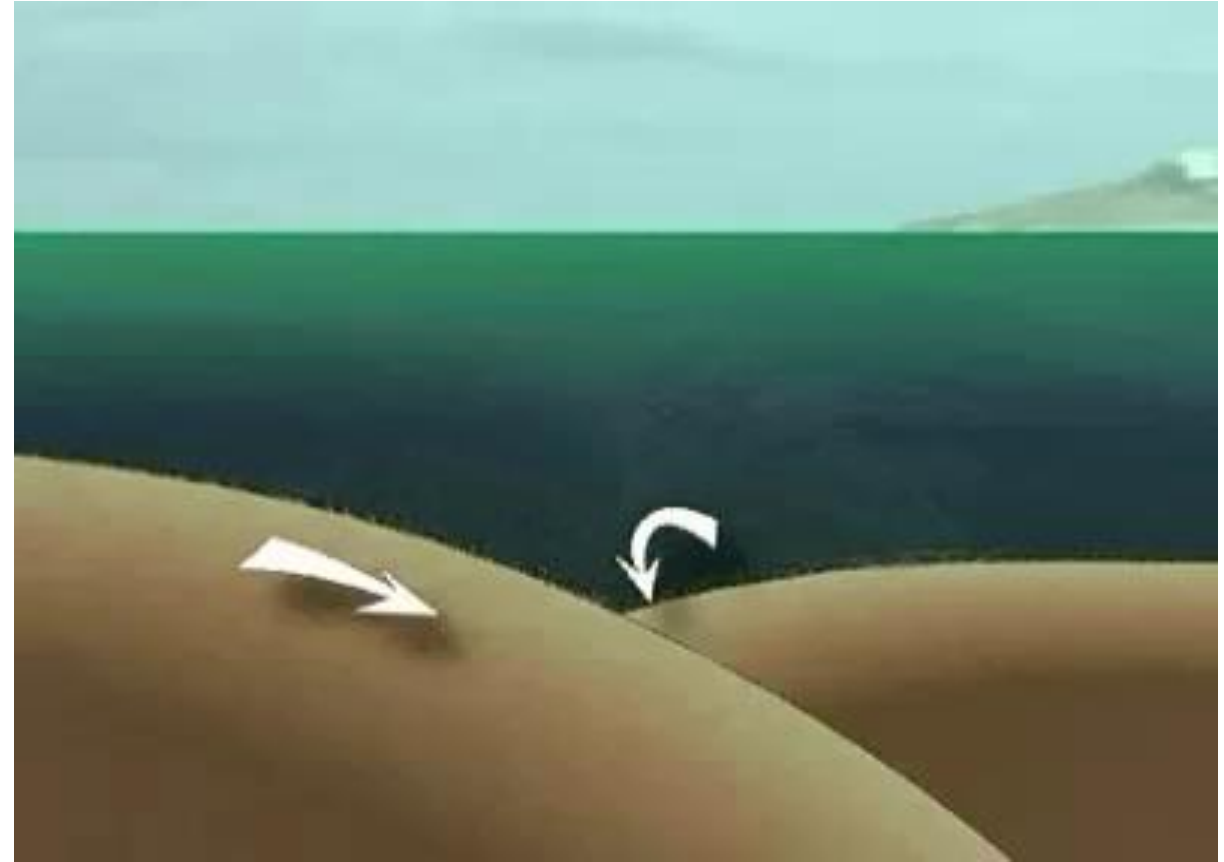


# ¿Qué es un tsunami?

Ondas de gravedad del océano, que siguen a cualquier disturbio de la superficie libre, de escala grande y de corta duración (Van Dorm, 1965)

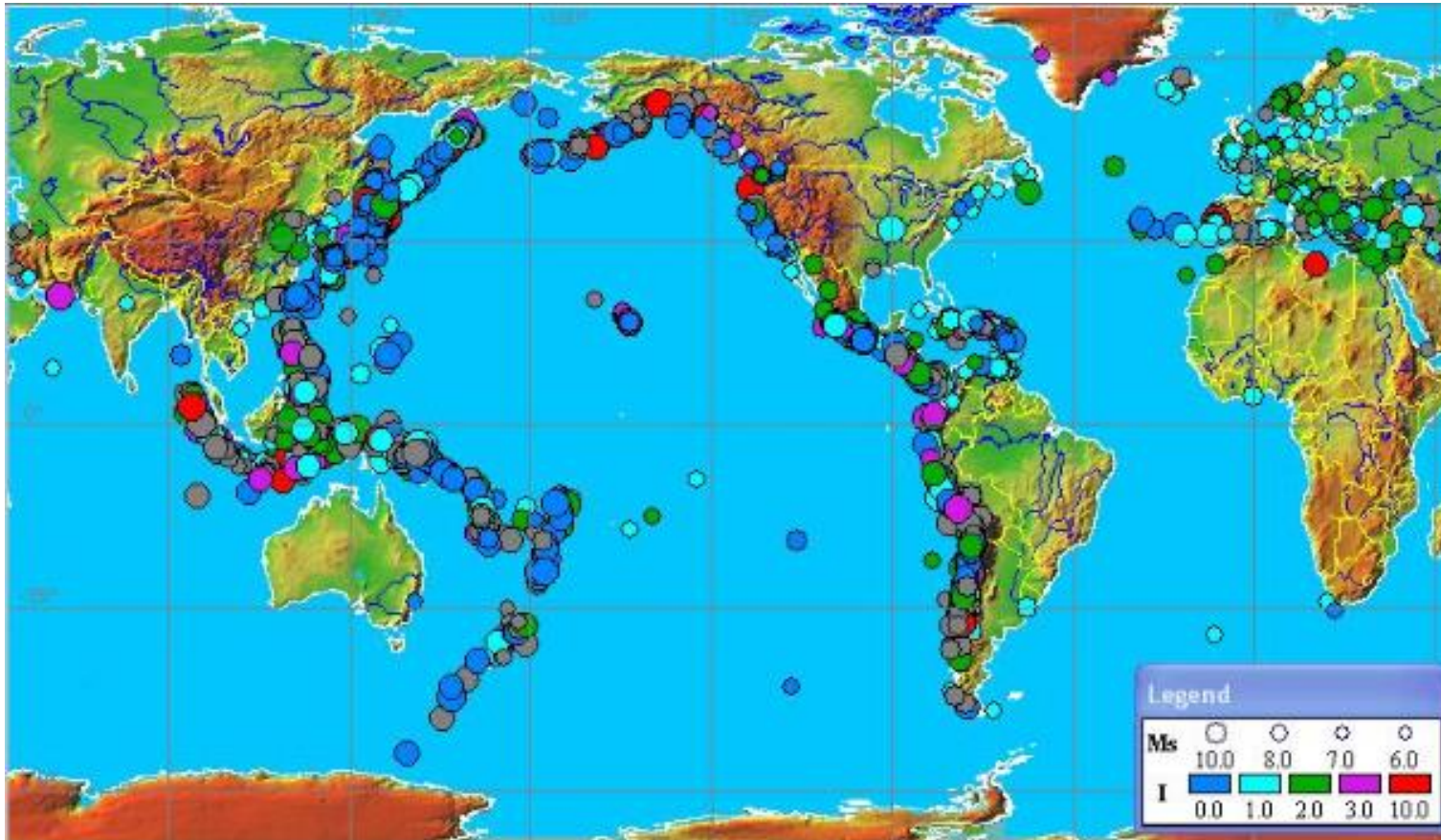
Generado por una perturbación geológica que impulsa y desplaza verticalmente una columna de agua.

Periodos que van de varios minutos hasta una hora, propagándose a gran velocidad en todas direcciones desde la zona de origen y cuyas olas al aproximarse a las costas pueden alcanzar alturas de grandes proporciones (Wiegel, 1970; Satake, 2002).



[https://www.tsunami.noaa.gov/tsunami\\_story.html](https://www.tsunami.noaa.gov/tsunami_story.html)

# Catálogo de Tsunamis

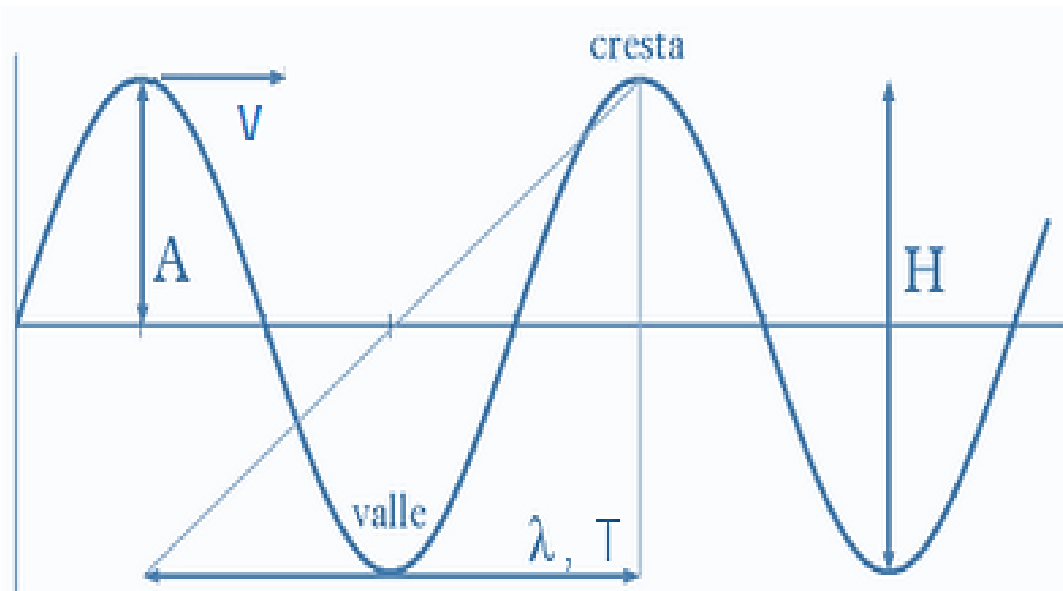


Catálogo histórico de Tsunami en los océanos.

El color representa la intensidad del tsunami en la escala de Soloviev – Imamura

Eventos entre 1628 A.C. y 2004

# Conceptos Básicos (ustedes ya conocen!)



A: Amplitud  
H: Altura de la Ola  
 $\lambda$ : Longitud de onda  
T: Periodo  
V: Velocidad de la Ola

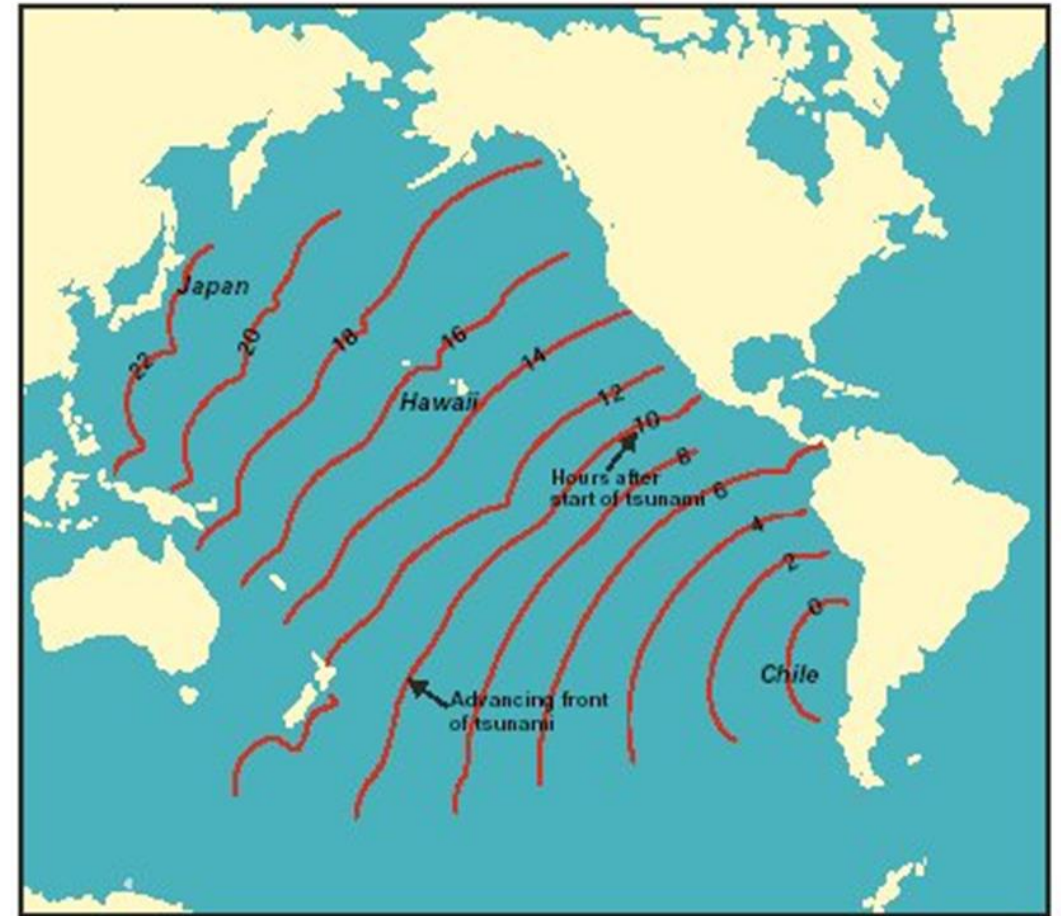
# Diferencias tsunami – ola común

Característica	Tsunami	Ola
Longitud de onda	10-1000 km	90 -300 m
Velocidad máxima	Alrededor de 900 km/hr	< 100 km/hr
Periodo	5 – 90 minutos	< 15 segundos
Amplitud: <ul style="list-style-type: none"><li>- Mar adentro</li><li>- Costa</li></ul>	Pocos centímetros 1 – 35 m	< 13 m 6 m

# Clasificación

- **Locales**, o a menos de una hora de tiempo de viaje desde su origen.
- **Regionales**, si el lugar de arribo en la costa está a no más de 1000 km o a menos de 12 horas de viaje.
- **Remotos**, a más de 1000 km. de distancia de la zona de generación o más de 12 horas de viaje.

*TSUNAMI Origen, Clasificación y Física.*





# Intensidad de tsunami

Grado de tsunami m	Altura de ola H (metros)	Descripción de los daños en la costa.
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.

Escala de intensidad de Imamura (1949)

# Intensidad de tsunami

Escala de grados de tsunami según Lida (1963)

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



# Intensidad de tsunami

Imamura introduce (e lida mejora) el concepto de magnitud de tsunami:

$$m = \log_2 H_{max}$$

con  $H_{max}$  altura máxima de la ola en metros, observada desde la costa o medida por un mareógrafo.

Grado tsunami 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.

Escala de grados de tsunami según Imamura e lida (1970, Wiegel)

# Intensidad de tsunami

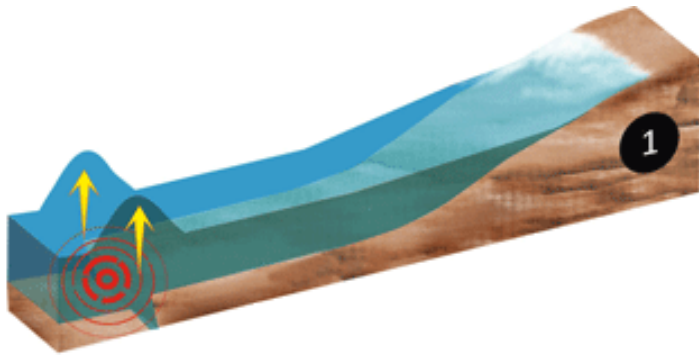
Intensidad	Altura (m)	Descripción del Tsunami
I	0.5	<i>Muy ligero.</i> Olas débiles pueden ser perceptibles solo en mareógrafos.
II	1	<i>Ligera.</i> Olas observadas por personas que viven a lo largo de la costa. En costas muy planas las olas son generalmente observadas.
III	1	<i>Algo grandes.</i> Generalmente observadas. Inundaciones en costas de pendientes suaves. Arrastrados veleros ligeros fuera de la costa. Moderado daño a estructuras livianas situadas cerca de las costas.
IV	4	<i>Grandes.</i> Inundaciones de la costa de cierta profundidad. Ligero azote de objetos en tierra. Terraplenes y diques dañados (...)
V	8	<i>Muy grande.</i> Inundación general de la costa a cierto nivel. Dañados muelles y otras estructuras pesadas cerca del mar. Destruídas ligeras estructuras. (...)
≥ VI	16	<i>Desastroso.</i> Destrucción parcial o completa de estructuras hechas por el hombre a cierta distancia de la costa. Inundación de costas a gran nivel de profundidad. Dañadas severamente grandes naves. (...)

$$I = \frac{1}{2} + \log_2 H$$

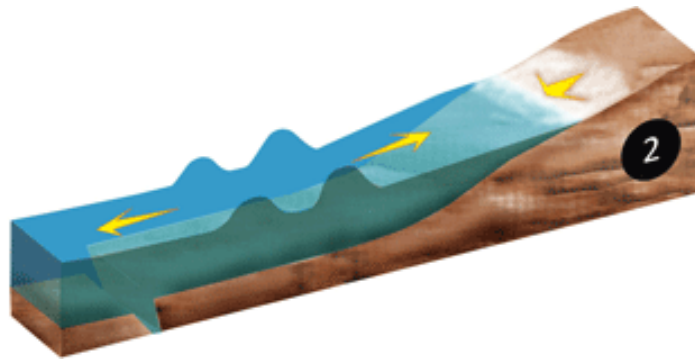
con  $H$  altura promedio del tsunami en la costa más cercana.

Escala de intensidad de tsunami según Soloviev (1978)

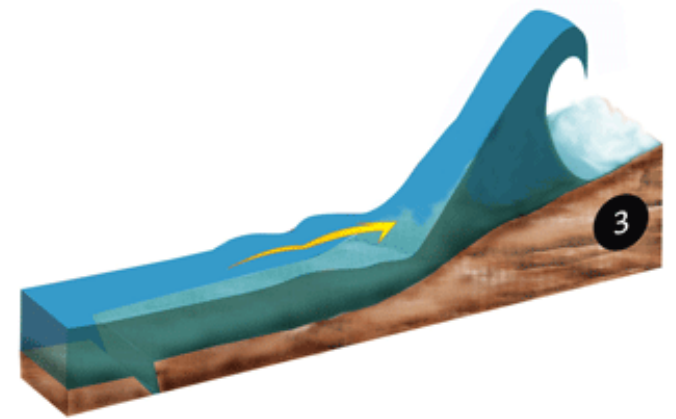
# Etapas de un tsunami



Generación

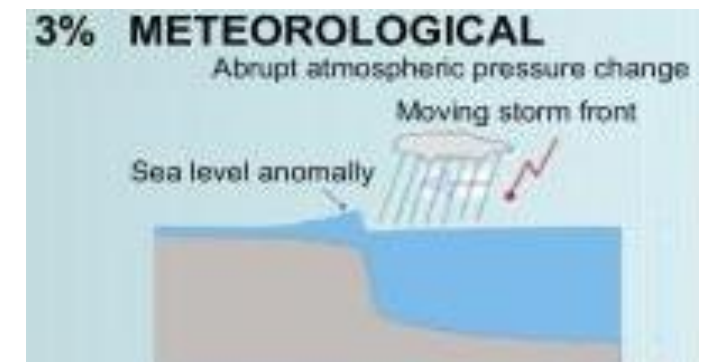
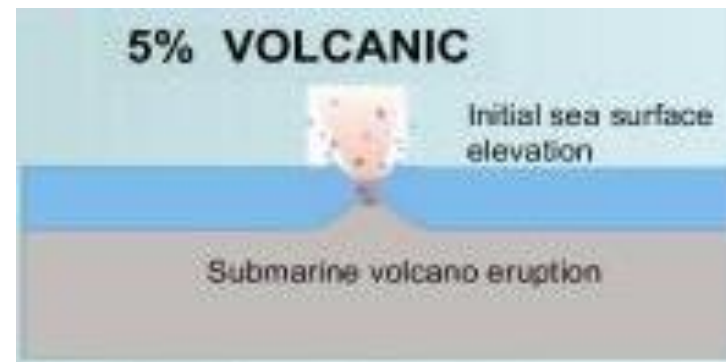
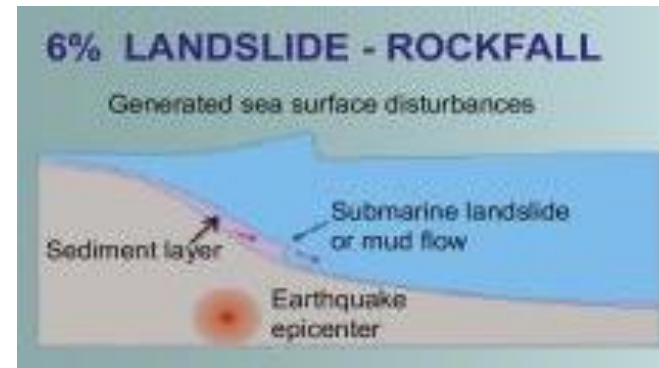
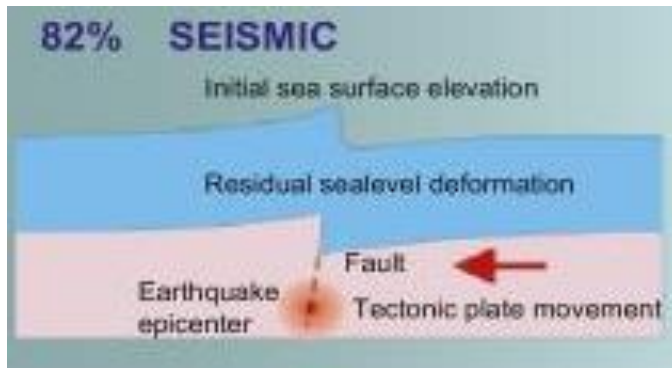


Propagación

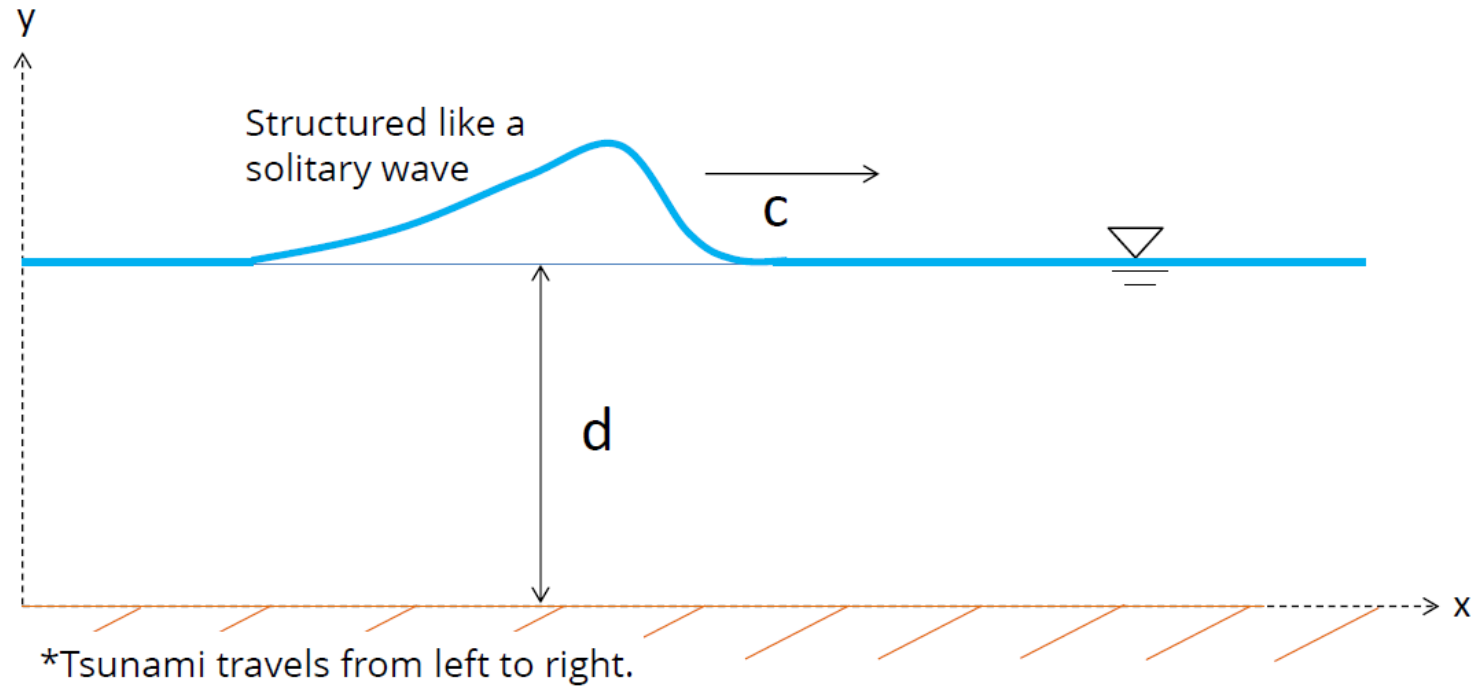


Interacción

# Generación: Tipos de fuente



# Propagación: aguas someras



$$c = \sqrt{gd}$$

$c$ : velocidad del tsunami (m/s)

$g$ : aceleración de gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$d$ : profundidad del agua (m)

# Velocidades Típicas

Océano profundo

Profundidad :  $d = 4000$  m.

(avión  $\sim 900$  km/hr)

$$c = \sqrt{gd} = \sqrt{9.8 * 4000} \approx 200 \text{ m/s} \approx \mathbf{700 \text{ km/hr}}$$

Plataforma continental

Profundidad :  $d = 200$  m.

(tren rápido  $\sim 200$  km/hr)

$$c = \sqrt{gd} = \sqrt{9.8 * 200} \approx 44 \text{ m/s} \approx \mathbf{160 \text{ km/hr}}$$

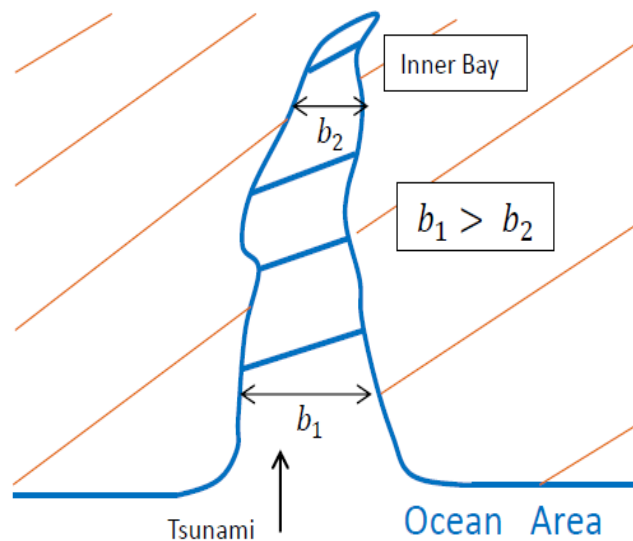
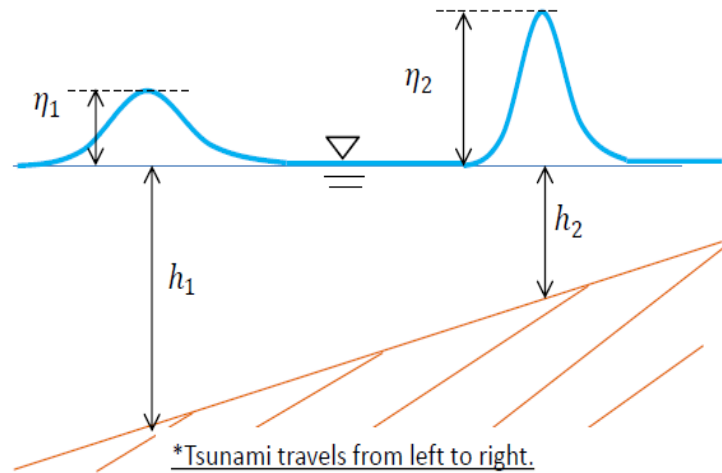
Bahía

Profundidad :  $d = 20$  m.

(velocidad de automóvil)

$$c = \sqrt{gd} = \sqrt{9.8 * 20} \approx 14 \text{ m/s} \approx \mathbf{50 \text{ km/hr}}$$

# Interacción con la costa



Traspaso de energía por cambios geomorfológicos

Fórmula de Green

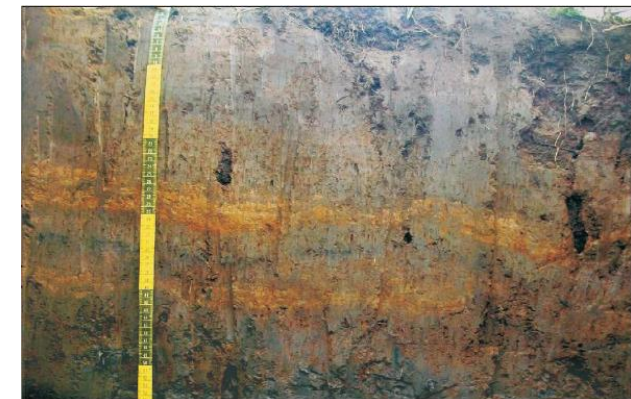
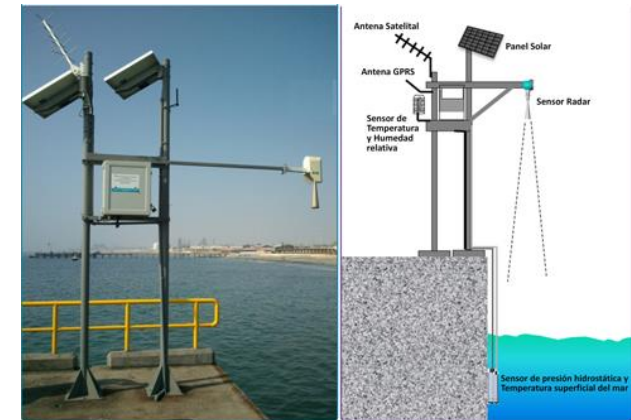
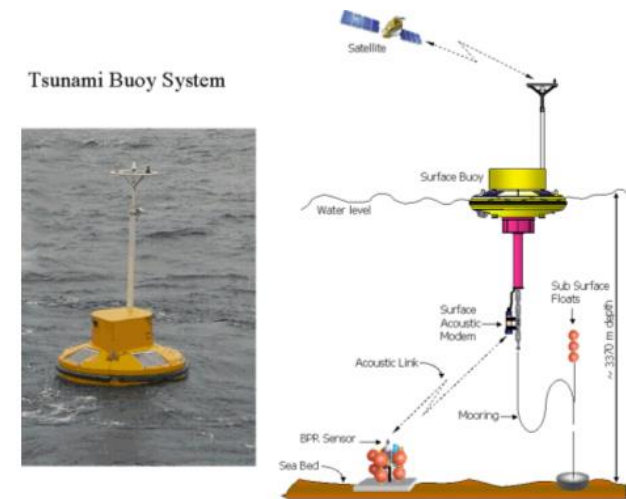
$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = \left( \frac{h_1}{h_2} \right)^{1/4} \left( \frac{b_1}{b_2} \right)^{1/2}$$

$\eta$  : Altura de tsunami  
 $h$  : Profundidad del agua  
 $b$  : Ancho de la bahía

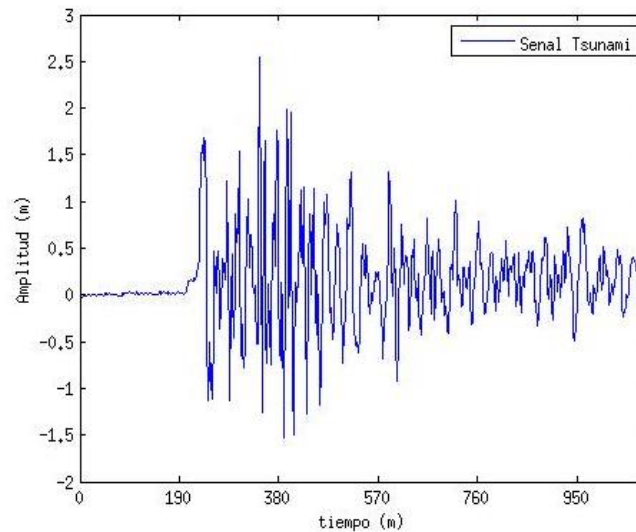
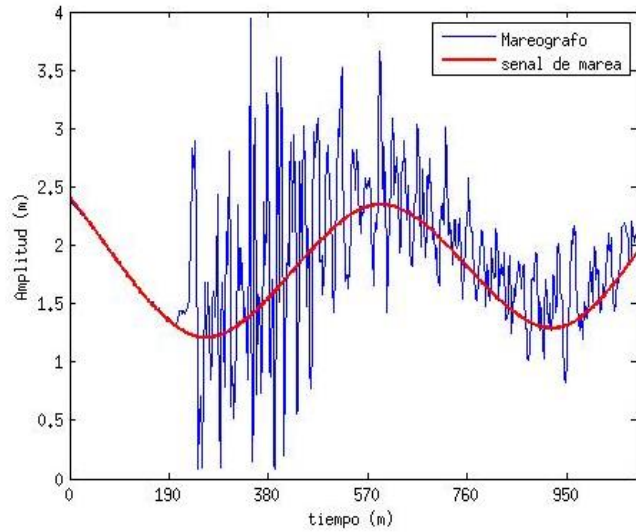


# Observaciones

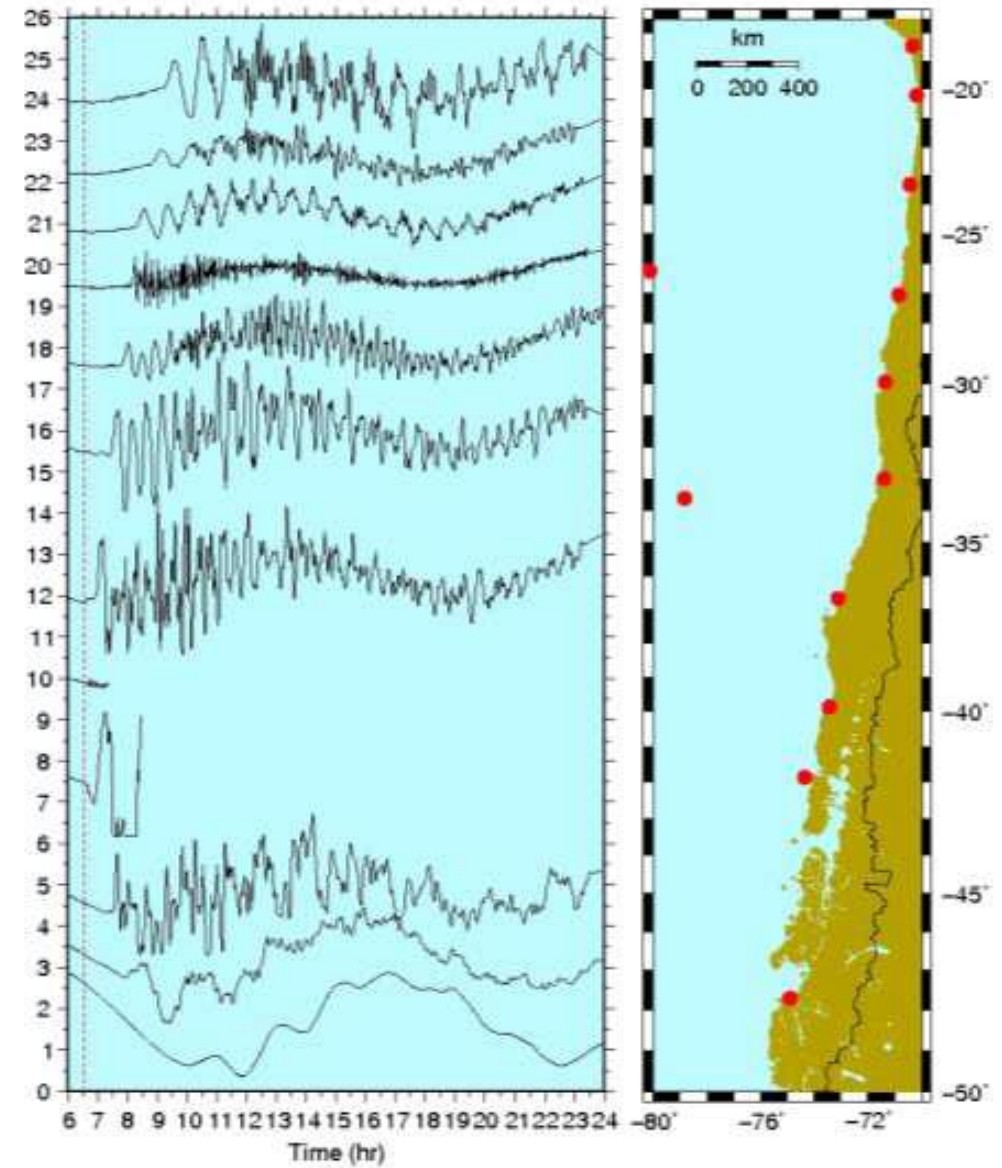
- Instrumentos, tales como mareógrafos de radar y de fondo marino, boyas DART, GPS Tsunami – meter, entre otros.
- Paleotsunamis: tsunamis que han ocurrido antes de la existencia del registro histórico y de las observaciones instrumentales. Se basan en la identificación, recolección y datación de los depósitos de tsunamis encontrados en áreas costeras y su correlación con sedimentos similares encontrados en áreas locales, regionales o cuencas oceánicas.
- Documentos históricos.



# Señal de tsunami

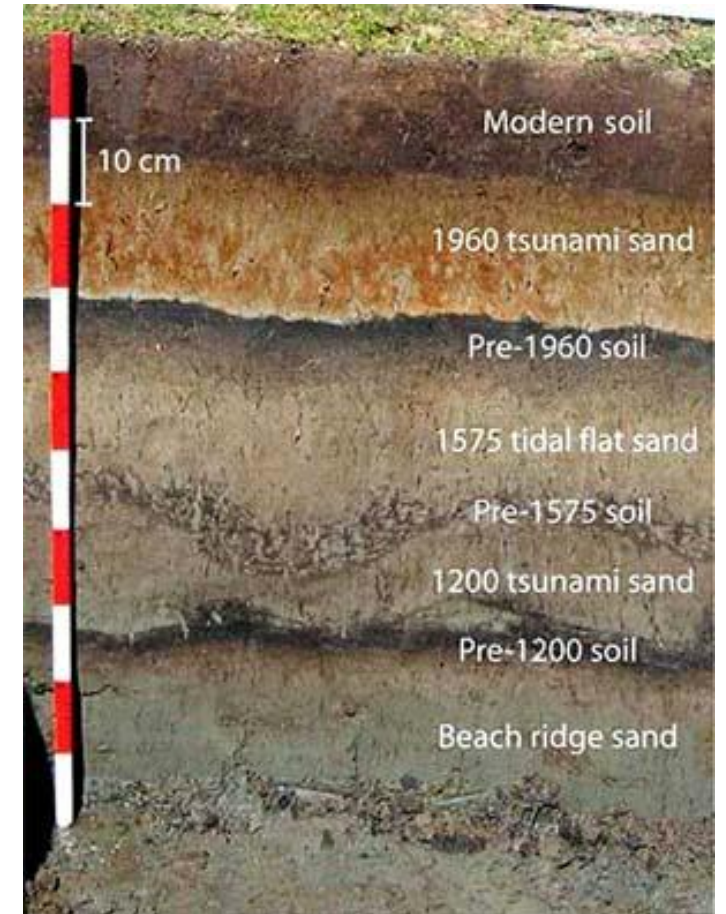


<http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/station.php?code=iqui>



# Registros

- Documentos históricos
- Paleotsunamis





# Modelación:

Programa COMCOT v1.7

Archivos más importantes:

comcotctl → archivo de control

comcot/comcot.exe → ejecutable

fault\_multi.ctl → fallas múltiples

landslide.ctl → condiciones iniciales y finales

ts\_location.dat → ubicación de los mareógrafos virtuales



comcotv1_7.zip		
<input type="checkbox"/>	all_grids.f90	09-04-2009 Tipo: F90 Archivo 43,2 KB
<input type="checkbox"/>	boundaries.f90	19-03-2009 Tipo: F90 Archivo 28,3 KB
<input type="checkbox"/>	comcot	12-04-2009 Tipo: Archivo 1,51 MB
<input type="checkbox"/>	COMCOT User Manual v1.7.pdf	12-03-2009 Tipo: Adobe Acrobat Document 549 KB
<input type="checkbox"/>	comcotctl	12-04-2009 Tipo: Archivo CTL 18,8 KB
<input type="checkbox"/>	comcot.exe	12-04-2009 Tipo: Aplicación 1,08 MB
<input type="checkbox"/>	comcot.f90	25-08-2015 Tipo: F90 Archivo 29,9 KB
<input type="checkbox"/>	comcot2xyz.m	21-03-2009 Tipo: MATLAB Code 2,16 KB
<input type="checkbox"/>	data_proc.m	08-04-2009 Tipo: MATLAB Code 14,0 KB
<input type="checkbox"/>	deform.f90	11-04-2009 Tipo: F90 Archivo 34,3 KB
<input type="checkbox"/>	dislocation_calc_M0.m	23-02-2009 Tipo: MATLAB Code 694 bytes
<input type="checkbox"/>	dislocation_calc_Mw.m	23-02-2009 Tipo: MATLAB Code 694 bytes
<input type="checkbox"/>	dispersion.f90	19-03-2009 Tipo: F90 Archivo 62,0 KB
<input type="checkbox"/>	fault_multi.ctl	19-03-2009 Tipo: Archivo CTL 45,1 KB
<input type="checkbox"/>	hotstart.f90	19-03-2009 Tipo: F90 Archivo 5,52 KB
<input type="checkbox"/>	initialization.f90	11-04-2009
<input type="checkbox"/> 39 objeto(s) Archivo Zip: 39 objeto(s), 1.59 MB		

# Ejemplo: terremoto del Maule

Parámetros:

Profundidad = 30 km

Largo = 429 km

Ancho = 146 km

Deslizamiento promedio = 8.1 m

Strike =  $19^\circ$

Dip =  $15^\circ$

Rake =  $90^\circ$

Epicentro (lat,lon) = (-35.9095, 287.2670)

Mareógrafos Virtuales:

287.006531	-36.1745
286.731995	-37.084