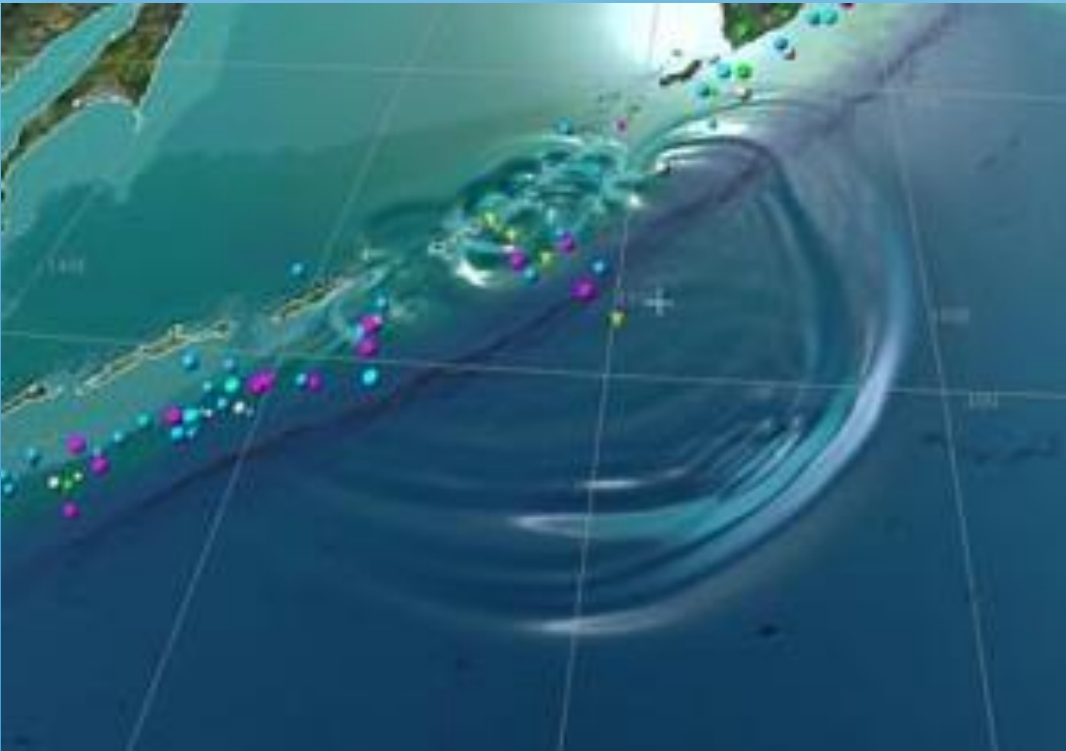


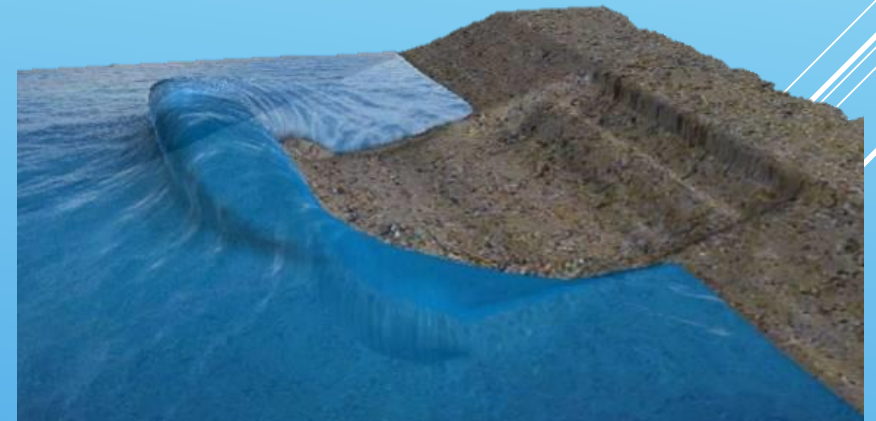
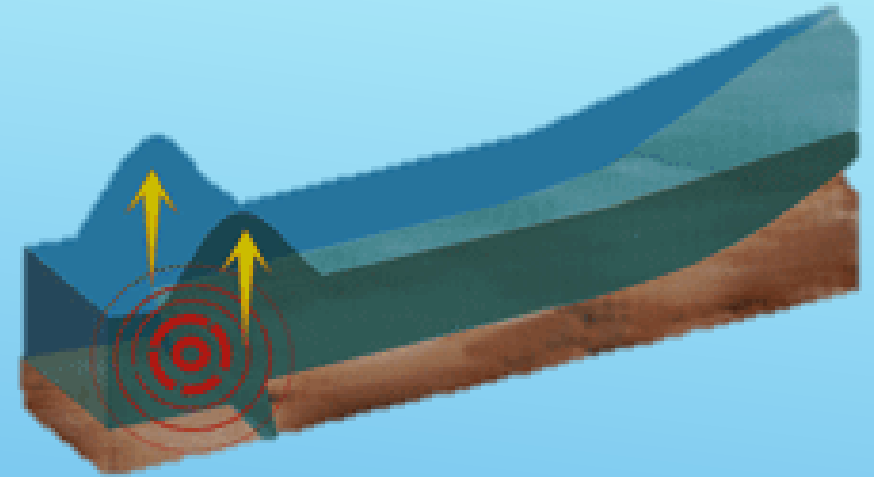
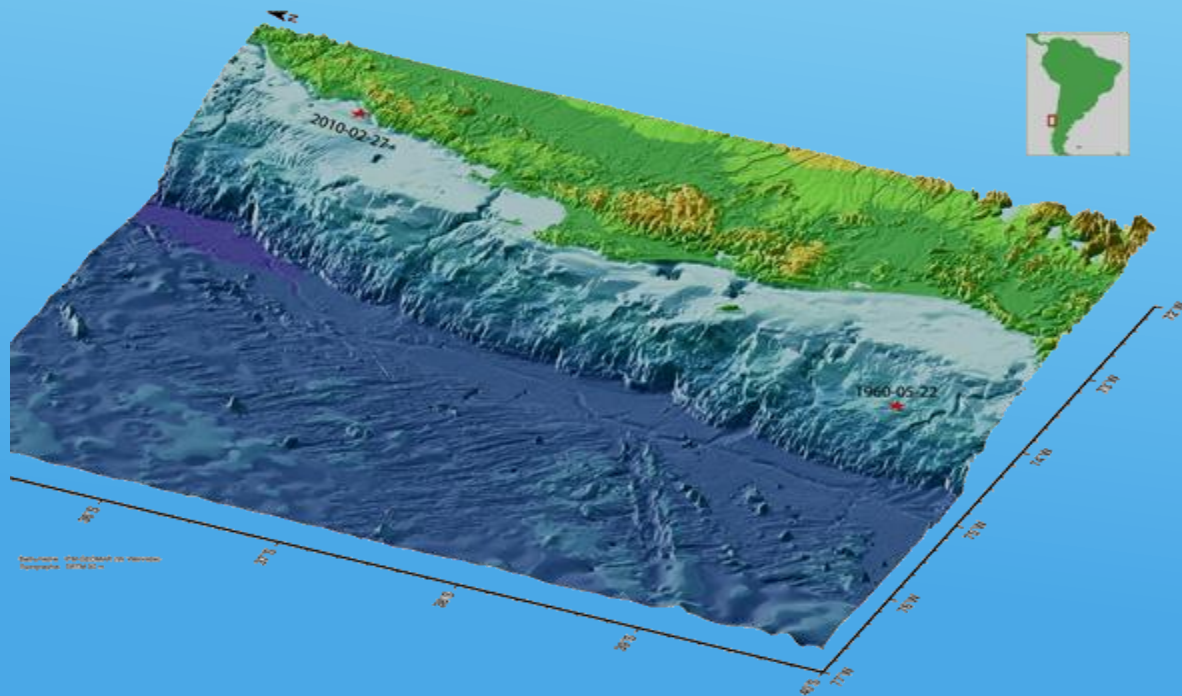
PROPAGACIÓN

Tsunami: teoría y modelación



PARÁMETROS

- ▶ Fuente
- ▶ Batimetría



ECUACIONES DE AGUAS SOMERAS

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} = -g \vec{\nabla} h$$

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \vec{\nabla}) \vec{V} = -g \vec{\nabla} h - C_f \frac{\vec{V} |\vec{V}|}{d+h}$$

V: velocidad promediada en profundidad

h : elevación del agua

d : profundidad del agua

C_f: Coeficiente de fricción

$$c^2 = (g\lambda/2\pi) \tanh(2\pi d/\lambda)$$

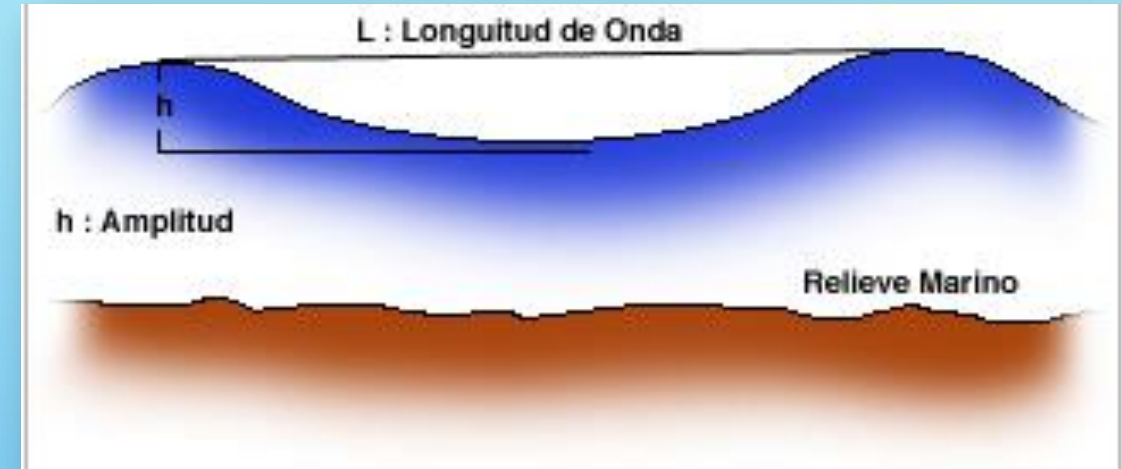
$$d \ll \lambda$$

$$c = \sqrt{gd}$$

C : velocidad de fase (velocidad de propagación de la energía de la onda)

MAR ABIERTO

- ▶ Amplitud de la onda : $A \sim 10^{-1} - 10^0 \text{ m}$
- ▶ Profundidad del océano : $H \sim 10^3 \text{ m}$
- ▶ Longitud de onda : $\lambda = T(gH)^{1/2} \sim 10^4 - 10^6 \text{ m}$
- ▶ Esto nos permite usar exitosamente la teoría lineal más simple de ondas largas.



La aproximación lineal de la ecuación de aguas someras es:

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} = -g \vec{\nabla} h$$

Usando la relación para la longitud de onda, la condición para aguas someras queda:

$$T\sqrt{g/H} \gg 1$$

VELOCIDAD SÓLO DEPENDE DE LA PROFUNDIDAD

$$c = \sqrt{gd}$$

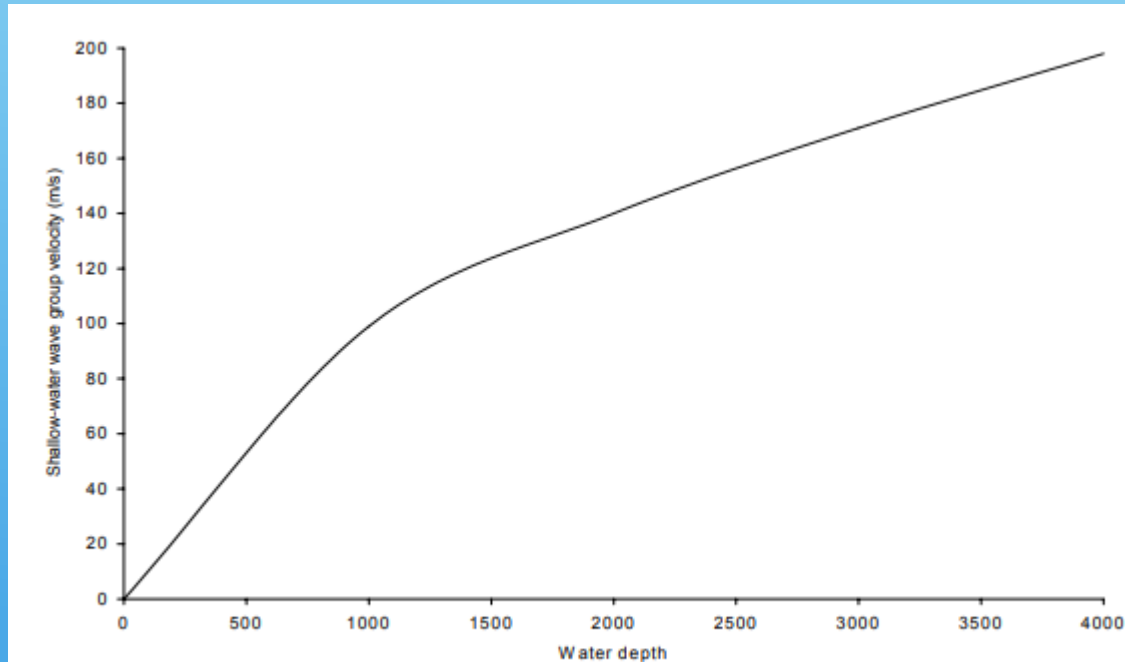
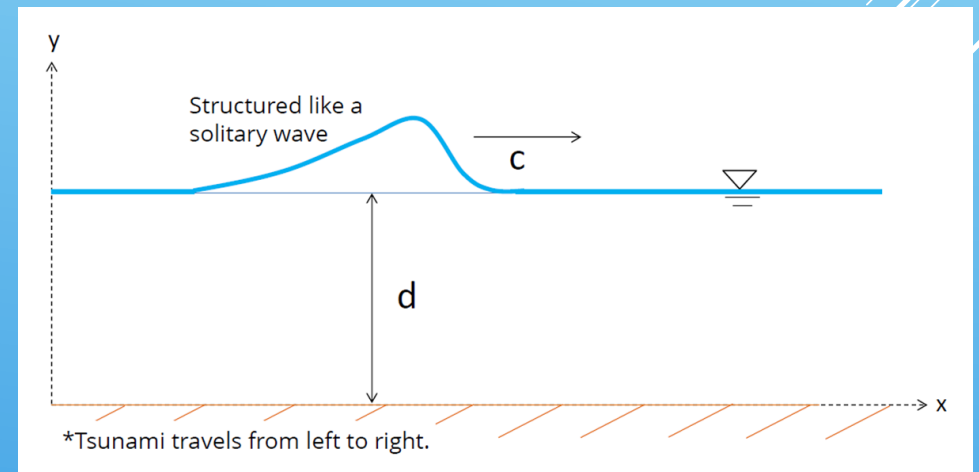
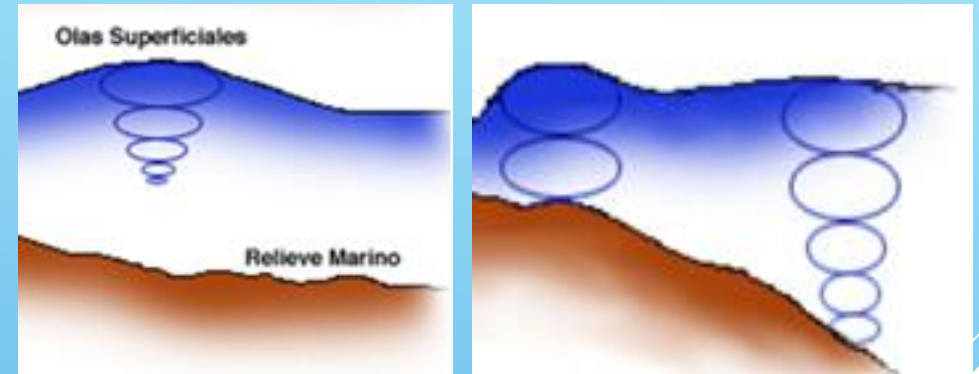


Figure 1.: Tsunami velocity as a function of water depth



VELOCIDADES TÍPICAS DE TSUNAMI

- ▶ Océano profundo

- ▶ Profundidad : $d = 4000$ m.

(avión ~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 ~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)

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

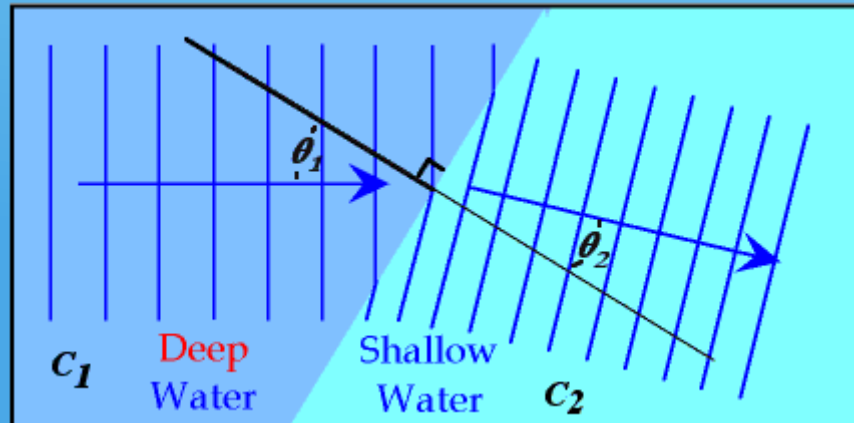
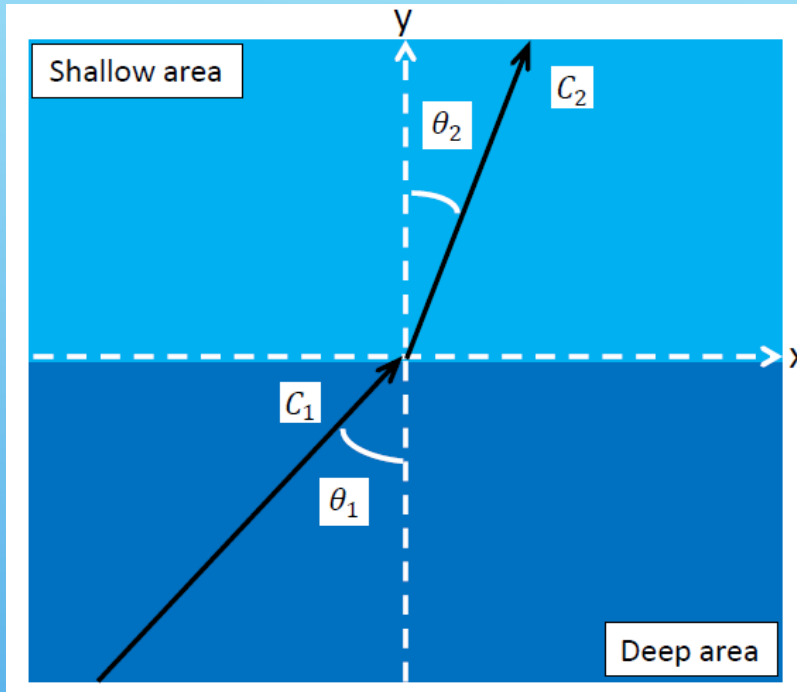
REFRACCIÓN

Ley de Snell

$$\frac{\sin\theta}{c} = \text{constant}$$

$$\frac{\sin\theta_1}{c_1} = \frac{\sin\theta_2}{c_2}$$

$$c_1 > c_2, \quad \theta_1 > \theta_2$$



ACUMULACIÓN DE EFECTO

Cuando las olas cubren grandes distancias, los efectos de dispersión y no linealidad, que tienen la propiedad de acumularse, son capaces de alterar no sólo la amplitud, sino que también la estructura muy superficial de la perturbación del agua.

Consideremos la relación de dispersión para ondas gravitacionales superficiales en un líquido, $\omega^2 = gk \tanh(kH)$ (con k número de onda), desde la cual determinamos la velocidad de grupo:

$$c_{gr} = \frac{\partial \omega}{\partial k} = \frac{g \left(\frac{kH}{\cosh^2(kH)} + \tanh(kH) \right)}{2\sqrt{gk \tanh(kH)}}$$

Así, la distancia a la cual la dispersión deja de ser despreciable puede ser obtenida como producto de la velocidad de las ondas largas por el tiempo requerido para que el paquete de ondas se retrase del frente una distancia igual a una longitud de onda,

$$L_d = \frac{\lambda(\omega)\sqrt{gH}}{\sqrt{gH} - c_{gr}(\omega)}$$

Si $\lambda \gg H$ entonces

$$L_d \sim \lambda \left(\frac{\lambda}{H} \right)^2$$

ACUMULACIÓN DE EFECTOS

Similarmente para la no linealidad, consideremos una onda con amplitud A , la velocidad de propagación de la cresta diferirá de la velocidad lineal de las ondas largas. Su valor es estimado como $\sqrt{g(H + A)}$.

La distancia a la que la no linealidad deja de ser despreciable es:

$$L_{nl} = \frac{\lambda \sqrt{gH}}{\sqrt{g(H + A)} - \sqrt{gH}}$$

Si $A/H \ll 1$ entonces,

$$L_{nl} \sim \lambda \frac{H}{A}$$

La razón entre estas distancias aproximadas nos da el número de Ursell, $U_r = \frac{A\lambda^2}{H^3}$, el cual es conocido en teoría de ondas dispersivas.

En océano abierto, $U_r \ll 1$, lo que implica que la dispersión tiene más efecto que la no linealidad.

Cerca de la costa, $U_r \gg 1$, lo que significa que la no linealidad tiene un rol más importante.

EJEMPLO

Consideremos la distancia de no linealidad :

$$L_{nl} \sim \lambda \frac{H}{A}$$

Para el mar abierto tenemos:

$$H = 4 \text{ km}$$

$$A = 1 \text{ m}$$

$$\lambda = 100 \text{ km}$$

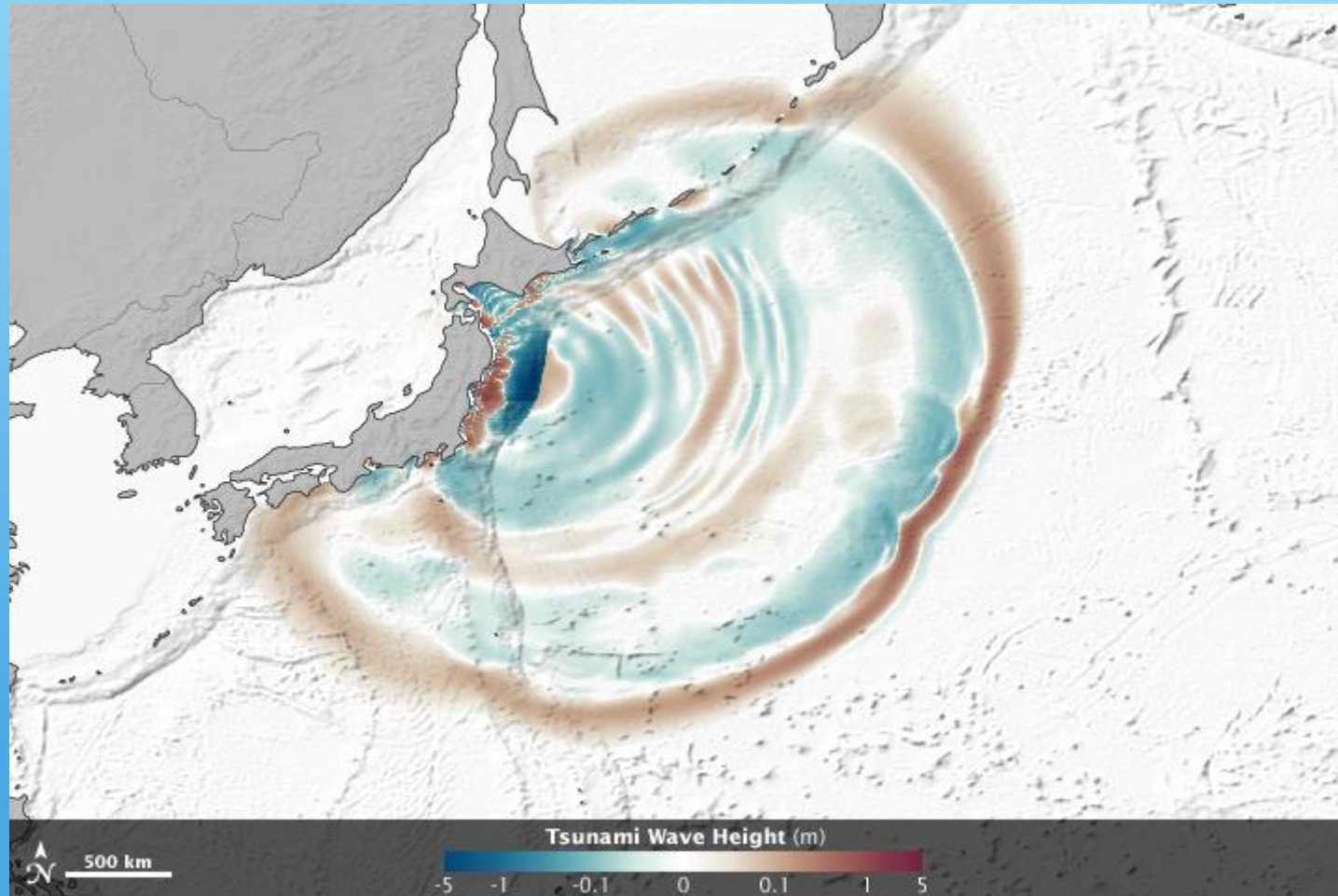
Entonces

$$L_{nl} = 40000 \text{ km}$$

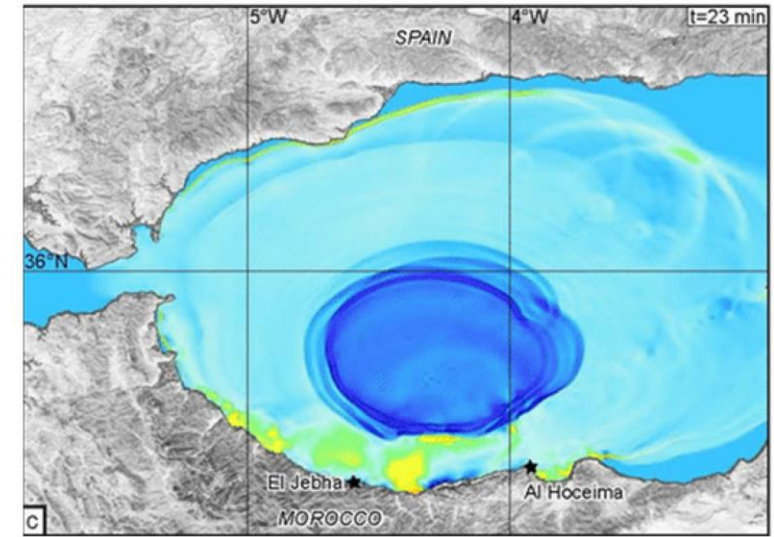
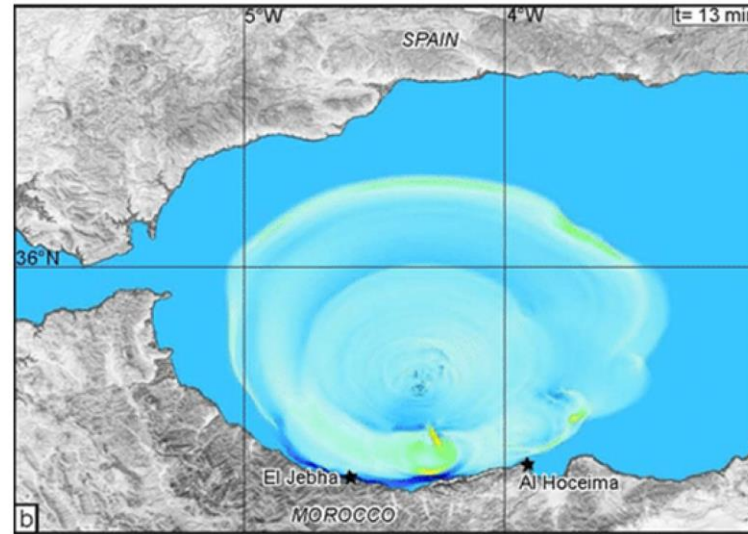
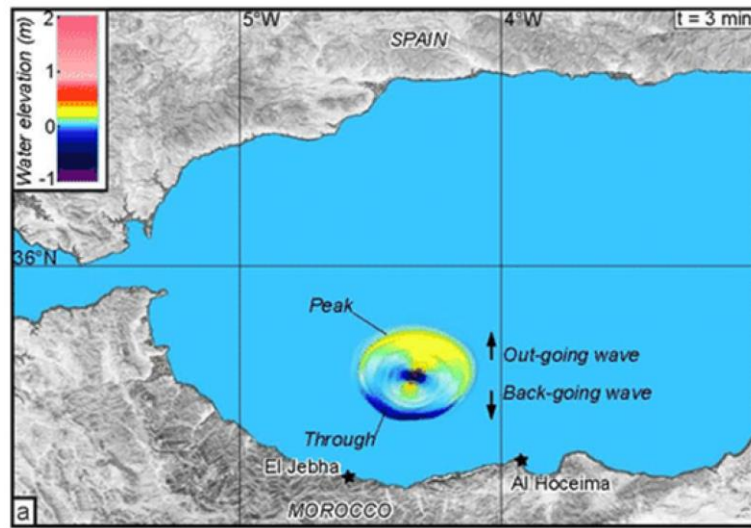
Lo que es un orden de magnitud mayor que el radio de la Tierra.

Por lo tanto la no linealidad se puede despreciar en mar abierto.

EJEMPLO TOHOKU



LANDSLIDE



Tsunami 27 Febrero de 2010

