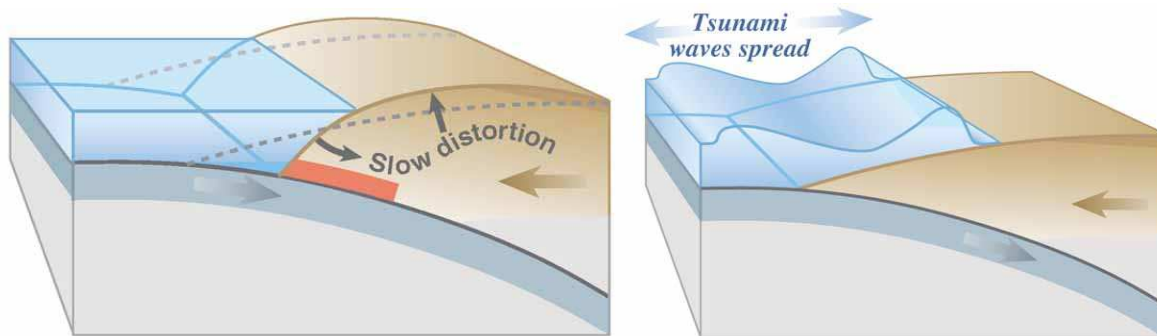


La Física dels tsunamis¹

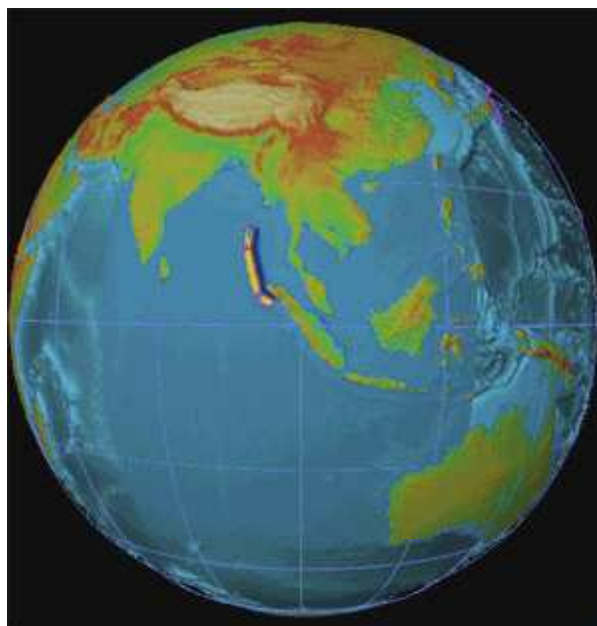
Tsunami és una paraula japonesa que significa “ona del port.” Representat per dos caràcters, el caràcter superior, “tsu”, significa el port, mentre que el caràcter inferior, “nami”, significa agitar. És interessant destacar que la paraula tsunami esta més relacionada amb l'efecte, en canvi la paraula espanyola “maremoto” està mes relacionada amb la causa, és a dir el terratrèmol.

Els tsunamis són pertorbacions ocorregudes al mar, producte d'un terratrèmol. Aquesta pertorbació pot ser deguda al desplaçament d'una falla, o a enfonsaments submarins. En aquests casos es produeixen un moviment vertical de la massa d'aigua al llarg de la falla i es genera una ona a la superfície o “tsunami” que es propaga paral·lelament a la falla, en les dues direccions oposades. En aquest cas la pertorbació produïda es desplaça amb un front d'ones pla, de manera que gaire bé no es produeix atenuació de la intensitat del tsunami en la direcció perpendicular a la falla.



També pot generar-se un tsunami producte de l'impacte de grans meteorits a l'oceà o erupcions volcàniques i/o explosions d'illes, però són els menys freqüents. En aquests casos es produeixen un “tsunami” que es propaga radialment des del punt d'origen en totes direccions (front d'ones circular), de manera que la seva intensitat va atenuant-se segons s'allunya de l'origen, disminuint el seu valor proporcionalment a l'arrel quadrada de la distància.

Aquesta atenuació també es produeix en el moviment de les ones que parteixen de les vores de la falla o del enfonsament en la mateixa direcció de la falla. És el que va passar en el terrible tsunami de desembre de 2004: va ser més gran el desastre en les costes de Ceilan que en les del golf de Bangladesh, quan estan aproximadament a la mateixa distància del focus de la pertorbació



En alta mar, aquestes ones tenen una altura inferior a una onada de vent, sobre un metre i una gran longitud d'ona, per la qual cosa generalment passen desapercebudes.

¹Lorenzo Ramírez, jramire7@xtec.net, sobre una idea original d'Emilio Llorente, ellorent@xtec.net

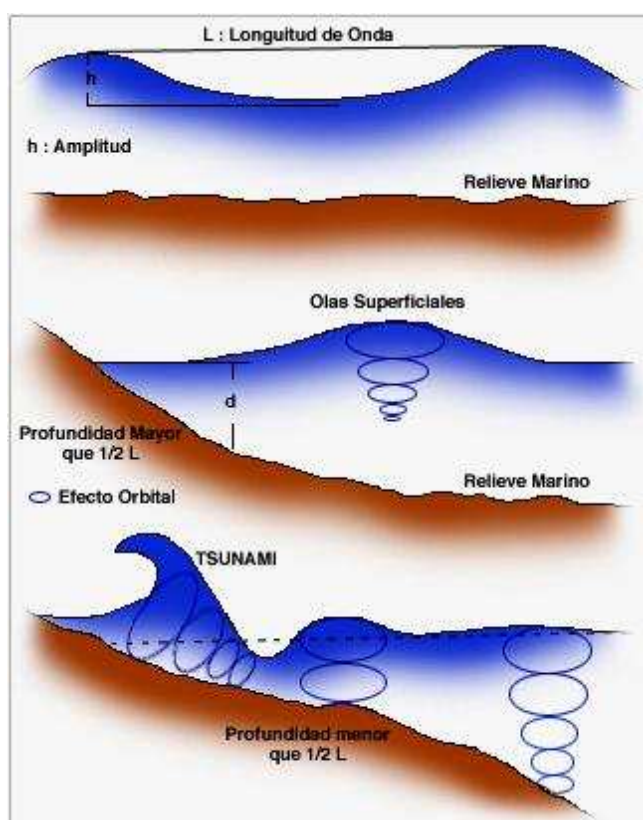
Com es mouen els tsunamis

En la proximitat de l'epicentre d'un terratrèmol, els tsunamis poden presentar altures d'ona extremes. Una vegada que arriben a l'oceà obert i viatgen en aigües profundes, els tsunamis tenen amplituds extremadament petites però viatgen ràpid, al voltant de 700 km/h en aigües amb profunditat de uns 4000 m. (Aquesta velocitat es pot calcular utilitzant l'equació de la velocitat d'ona. Es té que $g = 9.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, $h = 4000 \text{ m}$, per tant $V = (9,8 \times 4000)^{1/2} = 200 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} = 700 \text{ km/h}$). El període dels tsunamis aquesta en el rang de 10 a 60 minuts.

Velocitat d'ona en aigües profundes (ones curtes; la profunditat és major que 1/2 de la longitud d'ona)	$V = \sqrt{\frac{g \cdot \lambda}{2\pi}}$
Velocitat d'ona en aigües poc profundes (ones llargues; la profunditat és menor d'1/20 de la longitud d'ona)	$V = \sqrt{g \cdot D}$
Velocitat de l'ona en el moviment ondulatori	$V = \lambda \cdot \nu = \lambda/T$

En arribar a la costa, l'ona comença a sentir l'efecte del fons començant el que es diu la frenada, disminuint la longitud d'ona, el mateix que la velocitat, on abruptament pot disminuir fins a uns 50 km/h., provocant l'augment de l'altura de l'onada i finalment produint-se l'enfonsament.

Depenent de la topografia litoral, el tsunami pot manifestar-se com una marea viva, augmentar-se a una gegantina onada a punt de rebentar o una gran massa espumosa que avança sense que res l'aturi.



Normalment la primera manifestació del tsunami és un retrocés del mar d'alguns desenes o centenars de metres. Això correspon a la primera vall de l'ona i, després d'uns 4 a 15 minuts, es produeix l'estrepitós avanç del mar, que pot penetrar quilòmetres de la línia litoral. Aquesta part correspon a la cresta de l'onada.

Les altures de les ones poden ser de mig metre fins a 20 metres sobre la línia de la marea alta, deixant la devastació al seu pas.

Abans de 2004 el tsunami més fort conegut en la història es va produir per l'erupció del volcà Krakatau del grup d'Illles de Sunda en 1883. Aquest tsunami va aconseguir una altura d'ona de 35 m i es va cobrar un total de 36.830 vides. Des de 684 AC s'han documentat per a l'Oceà Pacífic quatre tsunamis per damunt de 30

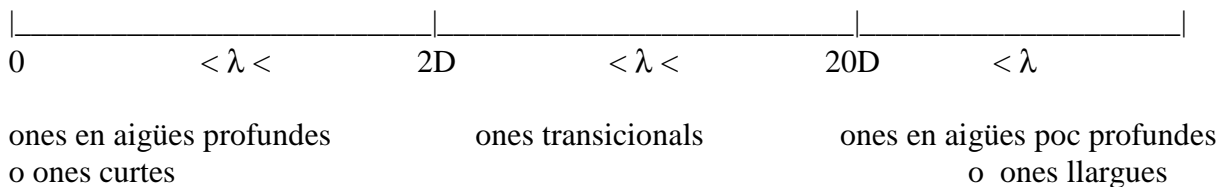
m. A l'Oceà Atlàntic es va observar un tsunami fort en 1755 després d'un terratrèmol prop de Lisboa (Portugal).

El tsunami més destructiu sabut va ocórrer el 26 de desembre del 2004. Va ser generat per un terratrèmol en el veïnat de les illes d'Andaman i del nord de Sumatra i va causar la mort i destrucció en tots els països al voltant de l'Oceà Índic. El peatge de la mort s'estima entre 265.000 i 320.000, víctimes encara que una dada exacta potser no s'arribi a tenir mai.

A Espanya també s'han produït tsunamis. L'últim va tenir lloc el 21 de maig del 2003 com a conseqüència d'un sisme submarí en la costa algeriana. Va tardar 45 minuts a arribar a les costes de Balears i va produir danys materials en embarcacions i dàrsenes.

Alguns càlculs més

L'ona dels tsunamis no és una ona superficial. Són ones que mouen a tota l'aigua de l'oceà, des de la més profunda fins a la superficial, i es diu que són "ones en aigües poc profundes" en el sentit que la longitud d'ona és molt superior a la profunditat (més de vint vegades). Si inclinem una mica un aquari rectangular ple d'aigua i el deixem anar, es genera una ona que recorre l'aquari i xoca fortament amb els bords. En el cas del tsunami es mou l'aigua del fons del mar i afecta tota l'aigua de l'oceà. Es parla de "ones en aigües poc profundes", perquè la profunditat de l'oceà és prou menor que la longitud d'ona del tsunami.



<p>Si anomenem en alta mar: λ: Longitud d'ona h: Altura de l'onada D: profunditat V: velocitat</p>	<p>I en la costa: λ_1: Longitud de l'ona h_1: altura V_1: velocitat D_1: profunditat</p>
---	--

En acostar-se el tsunami a la platja la h, la V i la longitud d'ona canvien perquè canvia la profunditat D, segons les relacions següents:

$$a) \frac{h_1}{h} = \sqrt[4]{\frac{D}{D_1}} \qquad b) V = \sqrt{g \cdot D} \qquad c) h^2 \cdot \lambda = h_1^2 \cdot \lambda_1$$

on

a) és conseqüència de l'aplicació de la conservació de l'energia associada a les ones a l'aigua amb front d'ona pla (sense dispersió circular): $E = \frac{1}{8} \rho \cdot g^{3/2} \cdot h^2 \cdot D^{1/2}$

b) és la velocitat de les ones en aigües someres.

c) s'obté combinant les equacions a) i b) i la de la velocitat del moviment ondulatori, $V = \lambda \cdot \nu$.

Altura en la costa

Suposem que en alta mar: $h = 2$ m, $D = 4000$ m i $\lambda = 50$ Km,

utilitzant la fórmula de l'altura $\frac{h_1}{h} = \sqrt[4]{\frac{D}{D_1}}$

per a una $D_1 = 4$ m en la costa, queda $h_1 = 2 \cdot \sqrt[4]{\frac{4000}{4}} = 11.25$ m,

que seria l'altura de l'onada quasi arribant a la platja.

Velocitat en la costa:

Per a la velocitat en alta mar, i prenent l'expressió de la velocitat: $v = \sqrt{g \cdot D}$

i el valor de $g = 10 \text{ m/s}^2$, queda $V = \sqrt{10 \cdot 4000} = 200 \text{ m/s} = 720 \text{ km/h}$

La velocitat prop de la costa, sent $D_1 = 4$ m, queda $V_1 = \sqrt{10 \cdot 4} = 6,3 \text{ m/s} = 22,8 \text{ km/h}$

Longitud d'ona en la costa:

Per a calcular el canvi en la longitud d'ona utilitzem l'expressió: $h^2 \cdot \lambda = h_1^2 \cdot \lambda_1$

Si h en alta mar és de 2 m, i λ és de 50000 m, com per a h_1 hem calculat que val 11,25 m prop de la costa, la nova λ_1 serà:

$$\lambda_1 = \frac{h^2 \cdot \lambda}{h_1^2} = \frac{2^2 \cdot 50000}{11,25^2} = 1580 \text{ m}, \text{ que és la distància entre dues crestes successives}$$

Temps entre dues onades

La freqüència de les ones no canvia, per la qual cosa el temps entre dues onades ha de ser igual en alta mar que a la costa.

Temps entre dues ones en alta mar: Si: $\lambda = 50000$ m i $V = 200$ m/s

$$t = \frac{\lambda}{V} = \frac{50000 \text{ m}}{200 \text{ m/s}} = 250 \text{ s} = 4,2 \text{ min}$$

Temps que tardarà a arribar la segona onada a la platja: Si: $\lambda = 1580$ m i $V_1 = 6,3$ m/s

$$t_1 = \frac{\lambda_1}{V_1} = \frac{1580 \text{ m}}{6,3 \text{ m/s}} = 250 \text{ s} = 4,2 \text{ min}$$

Bibliografia

KÁDOMTSEV I RYDNIK, 1984, *Ondas a nuestro alrededor*. Colección Física al alcance de todos, editorial Mir. Moscou.

TOMCZAK, M., 2002, *Una Introducció a la Oceanografia Física*, Pàgina web, <http://www.es.flinders.edu.au/%7Emattom/IntroOc/indespanol.html>. Universitat de Flinders. Adelaide (Austràlia). (Traduït per Julián Castañeda)