

Gómez Cantero, Jonathan y Adrover Galmés, Javier. Meteotsunamis: un riesgo de la atmosfera en el mar. *GeoGraphos*. [En línea]. Alicante: Grupo Interdisciplinario de Estudios Críticos y de América Latina (GIECRYAL) de la Universidad de Alicante, 2 de abril de 2013, vol. 4, nº 51, p. 463-483. [ISSN: 2173-1276].



<<http://web.ua.es/revista-geographos-giecryal>>

Vol. 4. Nº 51

Año 2013

METEOTSUNAMIS: UN RIESGO DE LA ATMÓSFERA EN EL MAR

Jonathan Gómez Cantero

Licenciado en Geografía, climatólogo, miembro del Comité Técnico en Riesgos Naturales y vocal del Colegio de Geógrafos de España.

Estudiante del Máster en Planificación y Gestión de Riesgos Naturales. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Alicante (Alicante, España)

Correo electrónico: jonathan.cantero@geografos.org

Javier Adrover Galmés

Licenciado en Geografía. Estudiante del Máster en Planificación y Gestión de Riesgos Naturales. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Alicante (Alicante, España)

Correo electrónico: javiadrover@hotmail.com

Recibido: 10 de enero de 2013. Devuelto para revisión: 8 de febrero de 2013.

Aceptado: 2 de abril de 2013

RESUMEN

Existen más de media decena de causas por las que se puede generar un tsunami. Tsunamis de origen sísmico son los más conocidos y catastróficos debido a los últimos eventos acaecidos. Además de estos eventos, existen otros tipos de tsunamis: volcánicos, por deslizamientos, de origen meteorológico o meteotsunamis... éstos últimos son menos conocidos pero en ocasiones pueden ser igual de catastróficos que los tsunamis sísmicos. Este trabajo pretende acercar el conocimiento de los meteotsunamis ya que han sido muchos los fenómenos ocurridos en diversas partes del mundo y el aumento de la población en zonas costeras deriva en una mayor exposición al riesgo.

Palabras clave: Tsunami, Meteotsunami, Perturbación atmosférica, Resonancia, Vulnerabilidad.

METEOTSUNAMIS: ATMOSPHERIC HAZARD AT THE SEA

ABSTRACT

There are more than a half of dozen reasons that explain why a tsunami occurs. Seismic tsunamis are the best known and catastrophic due to recent events. In addition to them, there are other types of tsunamis: volcanic origin, landslide, or meteorological origin, called meteotsunamis. The latest type is less well known, but on some occasions they can be as catastrophic as seismic ones. This task aims to bring the knowledge of meteotsunamis since recent events happened in different places all over the world and the increase in population in coastal areas translates to a higher risk for society.

Key words: Tsunami, Meteotsunami, Atmospheric perturbation, Resonance, Vulnerability.

METEOTSUMANIS: ATMOSFÉRICO PERIGO NO MAR

RESUMO

Existem mais em media dezena de causas pelas que se pode gerar um tsunami. Tsunamis de origem sísmico são os mais conhecidos e catastróficos devido aos recentes eventos catastróficos ocorridos. Além desses eventos, existem outros tipos de tsunamis: vulcânicos, por deslizamentos, de origem meteorológica ou meteotsunamis... estes últimos são menos conhecidos, mas em ocasiões podem ser igual de catastróficos que os tsunamis sísmicos. Este trabalho pretende acercar o conhecimento dos meteotsunamis já que têm sido muitos os fenómenos ocorridos em diversas partes do mundo e o aumento da população em zonas costeras deriva numa maior exposição ao risco.

Palavras-chave: Tsunami, meteotsunami, Perturbação atmosférica, Ressonância, Vulnerabilidade.

INTRODUCCIÓN

El documento presentado tiene como finalidad la aproximación al funcionamiento, origen y consecuencias, así como una visión diacrónica, de los meteotsunamis dentro de la sociedad moderna. De antesala, y como se observará, los meteotsunamis tienen particularidades en común con los tsunamis, por lo que se ha pormenorizado una visión generalista hacia el fenómeno sumo, el Tsunami, con el fin de dar base al fenómeno estudiado, meteotsunami.

Los meteotsunamis pueden ser tan devastadores como los tsunamis a pesar de que la energía liberada en cada caso es cuantiosamente dispar. Conforme la agencia "Swiss re", los tsunamis producen multitud de víctimas y pérdidas económicas. Puesto que

estamos hablando de escalas diferentes, sus efectos son fácticamente asimétricos, pero los meteotsunamis siguen siendo fenómenos de potencial devastador.

Los meteotsunamis no son una rareza, se producen con frecuencia y su ámbito de influencia es mundial, pero su conocimiento y estudio es insuficiente. Debemos decir, que el número de publicaciones encontradas ha sido mínimo, no más de una decena. Existen sobre todo lo que podríamos llamar: “estudios de casos” pero la formación, la implicación, la vulnerabilidad, el riesgo... apenas existen en el mundo científico escrito acerca de este fenómeno. Las referencias y bibliografías que se muestran en cada publicación casi nunca citan estudios sobre meteotsunamis, sino que se remontan a enciclopedias oceanográficas y a estudios de perturbaciones meteorológicas de mesoescala, dificultando el *review* reclamado.

El esquema del trabajo pretende facilitar al lector el acercamiento hacia los meteotsunamis. Dicho esquema posee un diseño fácil y argumentativo que pretende deslindar al lector acerca de esta efeméride. Comprender y tener en cuenta las distintas formas de explicar y describir un fenómeno que han llevado a cabo distintos investigadores, es un pilar esencial para poder tener siempre una actualización rigurosa del estado de la cuestión.

Muchos han sido los episodios acaecidos y muchos son los que han generado pérdidas, económicas principalmente, en la sociedad. La problemática básica de los meteotsunamis es, su falta de conocimiento y su ámbito de ocurrencia que, juntamente con el crecimiento mundial que se está viviendo, hacen de la sociedad un vector más vulnerable todavía a estos eventos.

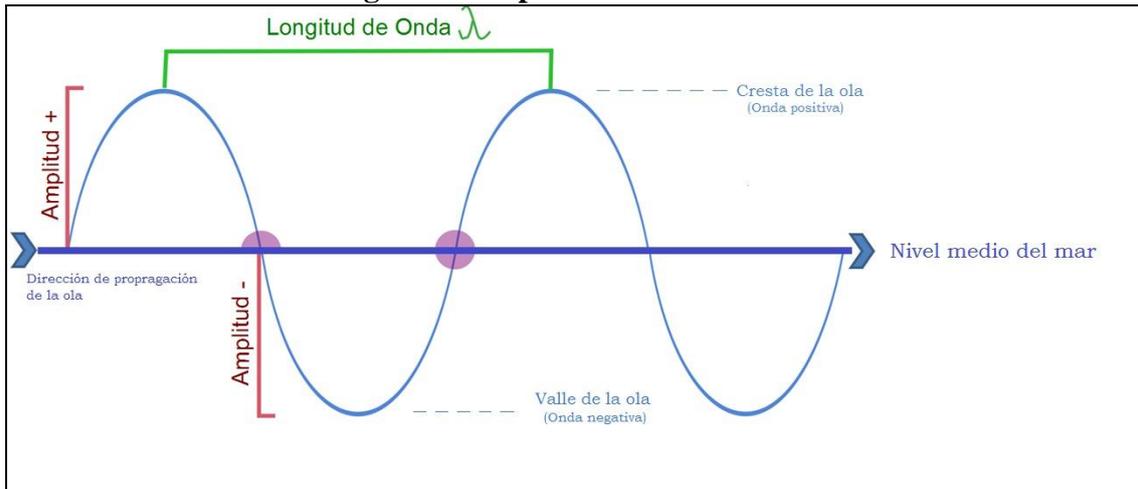
¿QUÉ ES UN TSUNAMI?

Tsunami es una palabra japonesa (tsu (津): ‘puerto’ o ‘bahía’, y nami (波): ‘ola’; literalmente significa ‘ola de puerto’. La palabra Tsunami ‘ola de puerto’ viene evidenciada por la forma en que el evento en sí afecta a la costa, atribuyéndose generalmente a una ola enorme entrando por la bahía.

En su definición más rigurosa podemos precisar que, es un evento complejo que involucra un grupo de olas de gran energía y de tamaño variable, que se producen cuando algún fenómeno extraordinario desplaza verticalmente una gran masa de agua. Este tipo de olas remueven una cantidad de agua muy superior a las olas superficiales producidas por el viento.

La energía de un maremoto depende de su altura (amplitud de la onda) y de su velocidad. La energía total descargada sobre una zona costera también dependerá de la cantidad de picos que lleve el tren de ondas (frecuencia de ondas) (Véase la figura 1).

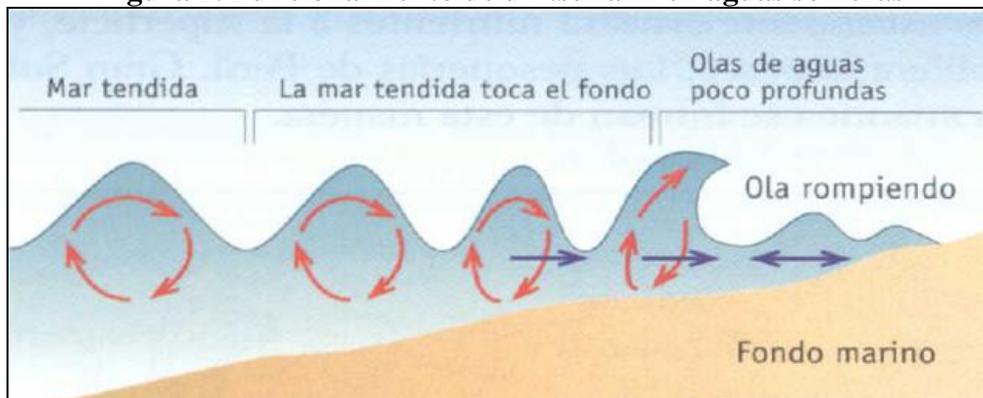
Figura 1. Propiedades de una onda



Fuente: Elaboración propia.

Las características de la onda, longitud de onda y amplitud de onda, son fundamentales para entender el funcionamiento del tsunami desde su origen hasta el litoral. En aguas profundas (oceánicas), la longitud de onda es mayor así como su amplitud, pero es en alta mar donde se concibe una mayor velocidad de estas “olas”, se han registrado olas de tsunami a 800 km/h. A medida que éstas olas llegan a aguas más someras. El roce con el fondo oceánico deriva en una pérdida de velocidad, provocando un amontonamiento del agua aumentando la amplitud de onda a medida que se acerca a la plataforma continental (Véase la figura 2).

Figura 2. Funcionamiento de un tsunami en aguas someras



Fuente: E, ECHARRI, L. *Hidrosfera océanos y mares. Libro Electrónico Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente*. Barcelona: Teide, 1998

La repercusión que tendrá un tsunami vendrá caracterizada por factores intrínsecos del tsunami, longitud de onda, amplitud máxima (altura de la ola) y frecuencia así como de factores externos al tsunami, que se evidencian en la costa mediante su morfología, los usos del suelo, la economía del lugar, tipo de sociedad a la cual afecta, construcciones e infraestructuras, etc. que muchas veces no se tienen en cuenta a la hora de realizar estudios profundos. La devastación generada vendrá marcada por la interrelación de todos estos factores.

La formación de tsunamis a lo largo de la historia, ha demostrado lo asoladores y destructivos que llegan a ser. El rastro que deja a su paso es estremecedor debido a la alta vulnerabilidad de la sociedad frente al impacto de un tsunami. Las condiciones con las que la sociedad afronta esta “lucha” son dispares. Dependiendo de las zonas del mundo donde se produzca el tsunami, las consecuencias serán diferentes. Por ejemplo, en el caso del tsunami de Indonesia (2004) las pérdidas humanas fueron mayores que el sufrido en Japón (2011), pero el de Japón degeneró en pérdidas económicas superiores. (Véase el cuadro 1). La diferente resiliencia a los tsunamis también viene determinada por el factor desencadenante del riesgo, siendo moderadamente distinto un tsunami de origen meteorológico, a uno producido por la caída de un meteorito.

Cuadro 1. Los diez tsunamis históricos registrados con mayor número de víctimas

Día/mes/año	Lat	Long	Ms	Int	Alt	Muertos	C	Región
26/12/2004	3.3	95.9	9	4	30	240000	T	Sumatra, Indonesia
22/05/1782	24	121	7	3	10	40000	TD	Taiwan Is., S. China Sea
27/08/1883	-6.1	105.4		4.5	35	36000	VM	Indonesia: Explosión del Krakatoa
28/10/1707	32	134.5	8.1	4	25,7	30000	T	Ninkaido, Japón
15/06/1896	39.6	144.2	7.4	3.8	38,2	27122	T	Sanriku, Japón
20/09/1498	34	138.1	8.3	4	10	26000	T	Enshunada, Japón
27/05/1293	35.2	139.4	7.1			23024	T	Kamakura, Segami Bay. Japón
11/03/2011	38.3	142.4	8.9		38,2	20000	T	Tōhoku. Japón
29/08/1741	41.6	139.4	6.9	2.5	15	15000	VD	W.Oshima, W.Hokkaido, Japón
21/01/1917	-8	115.4	6.5			15000	T	Bali Island. Indonesia

Fuente: Historical Tsunami Database for the Pacific (HTDB/PAC), Novosibirsk Tsunami Laboratory (NTL), y elaboración propia.

Ms = Magnitud ondas superficiales

Int = intensidad del tsunami en las escala Sloviev

Alt = Altura máxima de la ola en metros

C = Causa: **T** Tectónica **D** Deslizamiento **V** Volcánico **M** Meteorológico

TIPOS DE TSUNAMI

Generalmente los tsunamis son fenómenos inducidos por otros riesgos. La generación de un tsunami atiende a diferentes causas, geológicas “origen sísmico”, “actividad volcánica”, “deslizamientos de laderas”; antrópicas, debido a una explosión nuclear “tsunami de origen nuclear”; climáticas “meteotsunamis” y tsunamis causados por el impacto de un meteorito. A continuación se describirá los principales mecanismos focales de los tsunamis.

Conforme el criterio del *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), los tsunamis se pueden clasificar según su alcance y la velocidad de propagación en tres tipos: menos de 100 km de alcance y a una hora de la propagación, hasta 1.000 km con un tiempo de llegada de 1 a 3 horas y tsunamis que se encuentran a más de 1.000 km con tiempos de llegada superiores a las 3 horas (NOAA-ITIC, 2008).

Según el glosario de tsunamis de UNESCO (2008), se pueden dar distintos tipos de tsunami de acuerdo a la fuerza impulsora, a saber:

Origen volcánico

La actividad volcánica en zonas de divergencia/convergencia o en puntos calientes (*hot spot*) puede generar tsunamis. Los tsunamis de origen volcánico sufren una rápida atenuación, su energía liberada tiende a disiparse en mayor grado. Los alcances de estos tsunamis van desde los 10 km en el caso de coladas que se deslizan en el mar (Véase la figura 3), 3,5 km en el caso de colapso de flancos y lahares y hasta 200 km en el caso de flujos piroclásticos (de Lange *et al*, 2001). Algunos tsunamis de origen volcánico se han dado en el Mediterráneo; el volcán Santorini en el 1650 a. C. provocó la desaparición de la civilización Minoica que habitaba en Creta en el siglo XVI a. C.

Figura 3. Erupción de volcán Tonga al este de Australia

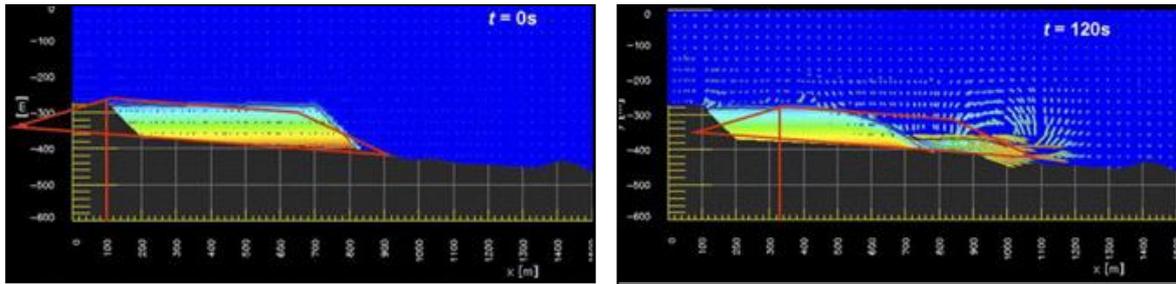


Fuente: <<http://www.ojocientifico.com/2009/03/21/fotos-de-la-erupcion-volcanica-subacuatica-en-tonga>>. Autor: Carlos Dan (marzo 2009).

Deslizamientos

Son aquellos eventos que se generan por el movimiento en masa en áreas submarinas o subaéreas. Este tipo de movimientos o deslizamientos suponen el 10% de los tsunamis. El deslizamiento súbito de sedimentos submarinos en un talud continental genera normalmente tsunamis de menor energía porque los de origen sísmico y sus efectos son más locales (Véase figura 4). La energía liberada por el deslizamiento es menor, pero dada su cierta direccionalidad puede llegar a tener una magnitud notable (Andrade, Borges y Freitas, 2006). Los tsunamis por deslizamiento poseen la variante del deslizamiento o ruptura de un glaciar (Véase la fotografía 1). La cantidad de volumen liberado puede generar fuertes ondas negativas/positivas, pero su marco de influencia es limitado, siendo un fenómeno local. No por ello menos devastador.

Figura 4. Comparación de un bloque deslizante fijo y su posible deslizamiento numérico



Fuente: LOVHOLT, F., HARBITZ, C. B. and HAUGEN, K. B. A Parametric Study of Tsunamis Generated by Submarine Slides in the Ormen Lange/Storegga Area off Western Norway. *Marine and Petroleum Geology*, 2005, vol. 22, p. 223.

Fotografía 1. Ruptura de un glaciar con las correspondientes ondas



Autor: Jonathan Gómez Cantero (febrero de 2011). En la parte derecha del glaciar Perito Moreno (Argentina) puede verse un desprendimiento y las consiguientes olas creadas.

Explosiones nucleares

El factor antrópico también puede generar tsunamis. La repentina liberación de una cantidad de energía muy grande, sobre un espacio físico relativamente pequeño, puede desencadenar fuertes ondas (negativas/positivas). El proceso se puede extrapolar al hecho de tirar una piedra en un lago, el efecto que produce es similar si ignoramos la escala del análisis. El poder destructivo es tal, que durante la segunda Guerra Mundial se investigó la posibilidad de crear tsunamis como objeto de destrucción masiva, considerándose que la explosión nuclear submarina podría generar un tsunami con fuertes repercusiones en el litoral.

Fotografía 2. Explosión nuclear en el mar



Fuente: < <http://www.nuclear.5dim.es/ftp.htm>>. Autor: Baker (julio de 1946).

Impactos de meteoritos

El impacto de un meteorito de considerables medidas, devastaría buena parte del globo terráqueo. El impacto generaría multitud de efectos sobre la tierra o mar, atendiendo al lugar del impacto. El impacto sobre el mar de un meteorito, derivaría en una ola de dimensiones desproporcionadas cuya altura y velocidad se están especulando hoy día. Con la fuerza del impacto supondría la creación de una ola enorme, desplazándose a velocidades indecibles en todas direcciones. Los expertos que están trabajando en el tema, proclaman que un meteorito podría producir olas de devastación de kilómetros de altura (Véase la fotografía 3). La probabilidad de que suceda es ínfima, por lo que se está trabajando bajo modelos de predicciones de impactos. La baja probabilidad no exime de sufrir algún día un tsunami por la caída de un meteorito.

Fotografía 3. Situación ficticia de un asteroide



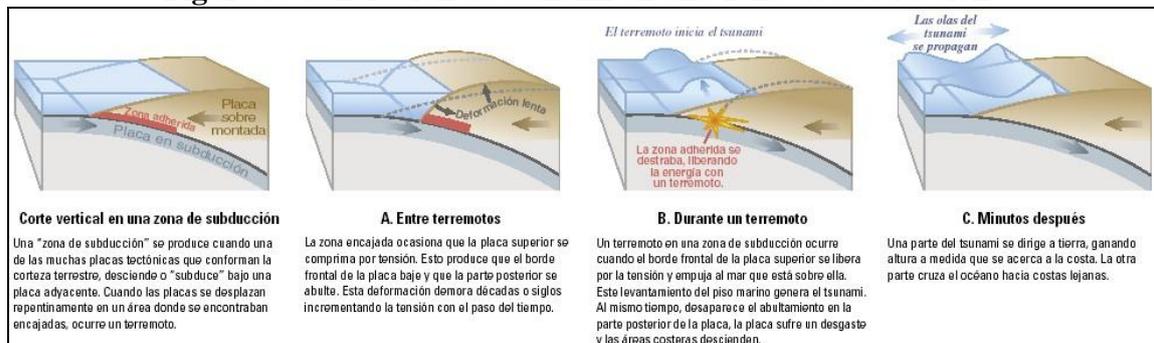
Fuente: < <http://noticias.aollatino.com/2010/04/05/el-espacio-en-2009>>. Autor: Dieter Spannkebel, 2009.

Origen sísmico

Los tsunamis más destructivos son los generados, de lejos, por sismos con epicentros o falla de ruptura en el lecho oceánico. Los tsunamis de origen sísmico poseen una fuerte correlación con la tectónica de placas, concretamente con la subducción de placas litosféricas. La constante sismicidad en estas regiones de subducción, debido al incesante “choque” entre placas, genera en un almacenamiento de energía elástica. Cuando estas placas se mueven derivan en fuertes terremotos (se libera dicha energía elástica), pudiendo afectar a zonas superiores a los 1.000 km de falla (ITIC, 2012).

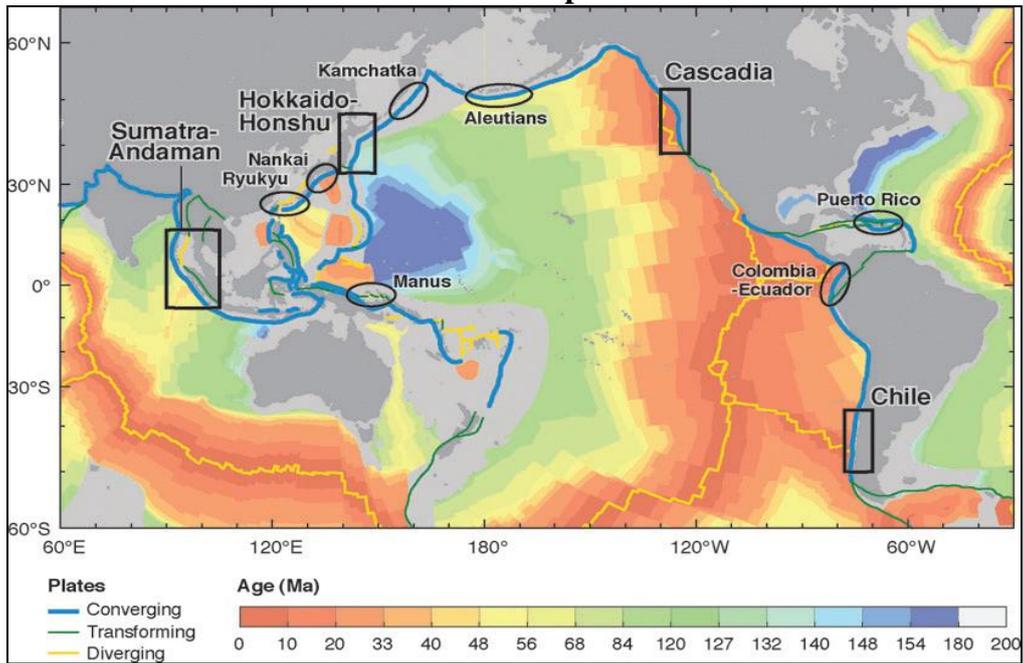
El desplazamiento vertical repentino de la corteza oceánica, causado por el sismo, genera un desplazamiento vertical de la masa de agua suprayacente a través de ondas “olas” negativas/positivas que se dispersan por todo el océano (Véase la figura 5). Estas “olas” mueven un volumen de agua enorme y poseen una cantidad de energía superior a las olas superficiales producidas por el viento. Si tomamos como referencia la de efemérides respecto a los tsunamis a lo largo de la historia, se observa que son los de origen sísmico los que mayor energía liberan y los más dañinos. En nuestro planeta existen áreas donde la sismicidad es elevada, subordinada a la tectónica de placas (zonas de subducción). Destacan regiones, como el océano Pacífico (Véase la figura 6), donde esta sismicidad es elevada y la ocurrencia de tsunamis refleja el 80% del total. Las zonas del Caribe, el Mediterráneo y las costas de Canadá y Noruega también han registrado tsunamis de diversa consideración (Carlos García López, experto en riesgos geológicos). Para que un sismo derive en un tsunami, este debe ser superior a la magnitud 7 en la escala de Richter, pues si no es así, la energía liberada no deriva en un movimiento de la masa de agua. Los recientes ejemplos de Sumatra en diciembre de 2004 y Japón en marzo de 2011 dan ejemplo de ello.

Figura 5. Generación de tsunami en una zona de subducción



Fuente: <<http://latumbadeesquilo.blogspot.com.es>>.

Figura 6. Principales zonas afectadas por tsunamis coincidentes con los bordes de placas



Fuente: United States Geology Survey (USGS).

Origen meteorológico

Son ondas que poseen características de tsunamis, pero tienen un origen meteorológico. Se puede definir como “fenómeno con características de tsunami generado por perturbaciones meteorológicas o atmosféricas. Estas ondas pueden ser producidas por ondas atmosféricas de gravedad, bruscas variaciones de presión, sistemas frontales, rachas de viento, tifones, huracanes y otros orígenes atmosféricos” (UNESCO, 2008). Posee unos mecanismos heterogéneos y sus consecuencias pueden ser tan devastadoras como las de un tsunami de origen sísmico (Véase la figura 7).

Figura 7. Meteotsunami en Ciutadella (Maó)



Fuente: Diario *El País* y Protección Civil de las Islas Baleares.

A continuación se explicara detalladamente las características de los meteotsunamis así como su mecanismo, localización a nivel mundial y su imbricación con la sociedad moderna.

METEOTSUNAMIS

Si tomamos la definición de meteotsunami del Glosario de Tsunamis (2008) publicado por la UNESCO, es definido como: “fenómeno con características de tsunami generado por perturbaciones meteorológicas o atmosféricas. Estas ondas pueden ser producidas por ondas atmosféricas de gravedad, bruscas variaciones de presión, sistemas frontales, rachas de viento, tifones, huracanes y otros orígenes atmosféricos. Los Meteotsunamis tienen la misma escala temporal y espacial que las ondas de tsunami y pueden ser similarmente devastadoras en las áreas costeras, especialmente en bahías y caletas con una fuerte amplificación y propiedades de resonancia (por ejemplo en el puerto de Ciutadella en Islas Baleares, Bahía de Nagasaki en Japón, Puerto Longkou en China, Bahías de Vela Luka, Stari Grad y Mali Ston en Croacia). Algunas veces llamado rissaga.”

Tsunamis meteorológicos son ondas que poseen características de tsunami pero tienen un origen meteorológico (Defant, 1961; Rabinovich y Monserrat, 1996, 1998; Bryant, 2001; González, Ferreras y Ochoa, 2001).

Recibe distintos nombres en cada zona del mundo: Rissaga en las Islas Baleares en España (Monserrat, Ibbetson y Thorpe, 1991); Abiki en la bahía japonesa de Nagasaki (Hibiya y Kajiura, 1982); Marrobio en Sicilia (Candela y otros, 1999); Sëbbar y “Olas Monstruo” en el Mar Báltico (White and Fornberg, 1998; Wu y Yao, 2004).

Los meteotsunamis tienen los mismos periodos, las escalas espaciales, las propiedades físicas y destructivas que los tsunamis sísmicos cuando se refractan (Bryant, 2001; Montserrat, Vilibi y Rabinovich, 2006). Pese a ello, estas olas son incapaces de hundir barcos en mar abierto, difiriendo de los tsunamis como propiamente tal en este hecho (Haslett y Bryant, 2009).

Mecanismos de un meteotsunami

Existen una serie de mecanismos que dan génesis a este fenómeno. Estos incluyen: el paso de huracanes (en El Caribe, Tifón en Asia y Ciclón en el Pacífico), con exclusión de las mareas de tormenta, chubascos con tormentas frontales asociadas, bruscos cambios de presión atmosférica, olas de viento y las ondas de choque de viento provocadas por la actividad volcánica (Rabinovitch y Montserrat, 1996; Lowe y DeLange, 2000; Bryant, 2001).

Los meteotsunamis son también muy a la resonancia generada por la geometría y topografía costera local, lo que en espacios “cerrados” como bahías, ensenadas y puertos puede inducir una gran amplitud de ola/s (Rabinovich y Stephenson, 2004; Rabinovich, 2009).

En general existen tres mecanismos principales que se requieren para la formación de un meteotsunami: 1. Una perturbación meteorológica; 2. La resonancia entre la velocidad de la perturbación meteorológica y la velocidad de la onda en aguas profundas; 3. Cualidades de amplificación de un puerto, bahía o ensenada (Thomas y Ryan, 2010).

Siguiendo el estudio de Thomas y Ryan (2010) estudiaremos los mecanismos por separado:

Los tipos de perturbaciones meteorológicas que provocan meteotsunamis son los siguientes:

- Ondas de gravedad atmosférica:

Se produce cuando una burbuja de aire se eleva por flotabilidad de forma oscilatoria. Son causadas por el viento que pasa sobre las formas de la tierra cortando la velocidad de la Corriente en Chorro y la radiación del espacio. Estas ondas de gravedad tienen periodos de 10 a 50 minutos y afectan particularmente a bahías y ensenadas.

- Pasos frontales y saltos de presión:

Se crean cuando hay un cambio brusco de presión de entre 10 y 20 hPa en menos de tres minutos, debido principalmente a los frentes fríos. Estos saltos de presión también son resultado frecuente de las tormentas y sistemas convectivos de mesoescala.

- Líneas turbonadas:

Se definen por rachas de viento superiores a 25km/h durante más de un minuto, pero no sostenido durante más de diez. Estas altas velocidades del viento crean trenes de onda con longitudes de onda largas.

- Resonancia:

Con el fin de que las olas creadas por las diferencias de presión tengan efecto, debe hacerse resonancia entre la perturbación meteorológica y las aguas profundas. Esto requiere que la perturbación atmosférica “se acople” con el océano, tanto en la superficie como hasta cierta profundidad. La amplificación se rige por esta fórmula:

$$\text{Amplificación} = X_f / (2 * L)$$

Siendo:

Xf: distancia a la que ocurre la resonancia

L: Longitud necesaria para el cambio de presión

- Amplificación del puerto:

Existen algunas características en los puertos y bahías que llevan a la amplificación de ondas de meteotsunamis. Formas como de “cuello de botella” presentan un rápido cambio en la elevación del fondo. Con formas en V, las ondas son canalizadas hacia la costa y aumenta la densidad de energía.

Historia de los meteotsunamis

Han existido cientos de casos de meteotsunamis en el pasado, lo que puede servir para dar una idea de la probabilidad y lugares de ocurrencia de estos fenómenos.

Mar Adriático

Han existido en esta zona importantes hechos tsunamigénicos de origen meteorológico, entre ellos unos en 1978 y otro en 2003. Los puertos afectados por estos eventos sufrieron olas de 8,6 metros de altura (Sepic y Vilibic, 2011). Se cree que las perturbaciones meteorológicas que condujeron a estos eventos fueron ondas atmosféricas de gravedad después de que la masa de aire en movimiento atravesara los Alpes. Otros fenómenos ocurrieron en 2007, 2008 y 2010, todos ellos estudiados por Sepic y Vilibic (2011).

Menorca, Islas Baleares

Cuando se combina humedad y alta temperatura en superficie con aire frío en altura sobre el Mediterráneo, se originan severas tormentas que pueden provocar graves perturbaciones en el mar. El 15 de junio de 2006 a las 20.50 hora local, el Puerto de Ciudadela, en Menorca, se vio afectado por una inundación destructiva. Primero llegó una anomalía negativa que retiró el agua para después ser golpeado por una ola de más de cuatro metros de altura (Vilibic *et al*, 2008). Más de 35 barcos fueron hundidos y más de cien severamente dañados (Figura 8, final del texto). Este evento se asoció con un abrupto salto de presión que pasó sobre las Islas Baleares (Montserrat y otros, 2006; Jansá y otros, 2007). Las ondas en este puerto son particularmente fuertes y más frecuentes que en cualquier otro sitio (Ramis y Jansá, 1983; Tintoré *et al*, 1988; Montserrat *et al*, 1991a, 1991b, 1998, 2006; Gomís *et al*, 1993). Ciudadela es una entrada natural de aproximadamente un kilómetro de largo, 100 metros de ancho y 5 metros de profundidad, encontrándose el puerto en la cabeza de la entrada. El modo en que afecta este fenómeno es característico produciéndose primero la llegada de la onda negativa retirando el agua del puerto y seguidamente acontece la onda positiva en forma de ola de considerable tamaño, hasta 4 metros en 2006 (Véase al respecto la figura 19).

Nagasaki, Japón

En 1979 un meteotsunami se produjo en la Bahía de Nagasaki (Hibiya y Kajihura, 1982). Este fue muy estudiado y ha dado algunas de las principales conclusiones sobre las características de estos fenómenos. Las profundidades de esta bahía oscilan entre los 50 y los 100 metros lo que provoca velocidades en el fondo de entre 22 y 39 metros por segundo. En 1979 un salto de presión viajó hacia la bahía a una velocidad de 31m/seg. La perturbación creó unas olas de 3 centímetros de altura pero se ampliaron debido a la resonancia hasta unos 12-14 centímetros ya que la oscilación de presión viajó 300 kilómetros a través del mar de China Oriental. La resonancia del puerto y la amplificación llevaron a que esas olas alcanzaran los 5 metros de altura, provocando una destrucción masiva y tres fallecidos (Hibiya y Kajihura, 1982).

Reino Unido

Haslett y Bryant (2009) tienen referenciados más de una decena de meteotsunamis en las costas del Reino Unido. El 20 de julio de 1929 un meteotsunami golpeó las costas de Kent y Sussex que en ese momento se encontraba ocupada por turistas. Murieron dos personas (Haslett y Bryant, 2009). Otros eventos pasados se tienen en 1892, 1932, 1936, 1939 y 1966, todos ellos entre mayo y septiembre, asociados a tormentas veraniegas provenientes del interior del Océano Atlántico (Haslett y Bryant, 2009). Los materiales usados para sus investigaciones fueron fuentes históricas y registro escrito de los propios marineros que perdían sus barcos con estos fenómenos.

Chicago, Illinois

Los meteotsunamis no ocurren sólo en el océano y en el mar, también pueden crearse eventos sobre grandes masas de agua interiores. Esto fue lo que pasó en el año 1954 en el Lago Michigan (Donn y Ewing, 1956). Una línea turbonada se movió por encima de éste a 66 km/h (la media es 22km/h). Conociendo la velocidad, la profundidad requerida para que produzca la resonancia serían 275-300 pies. Ésta es la misma profundidad que la del Lago. El tren de ondas se reflejaba en la parte oriental del Lago, hacia Chicago. La ampliación de las olas llevadas hacia el puerto alcanzaron diez metros en alguno lugares (Platzman, 1958).

Con estos ejemplos, estudiados por varios autores conocidos, podemos ver la variabilidad de sitios en los que pueden ocurrir los meteotsunamis: desde grandes océanos a lagos, pasando por cada uno de los mares. Por índole y estado de la cuestión, el grado de afectación de la población frente a este fenómeno recoge un ámbito global en las zonas costeras tanto de mares como extensiones de masas de agua considerables intercontinentales.

Figura 8. Fotogramas del meteotsunami en Ciutadella







Fuente: <<http://cazatormentas.net>>. Desarrollo de la Rissaga o meteotsunami acaecido en Ciutadella (Maó), 16 de junio de 2006.

Meteotsunamis y contexto actual

Cuando la población piensa en tsunamis, rápidamente asocia una gran ola provocada por un terremoto en el fondo del mar, como el tsunami de Sumatra en 2004, el tsunami de Chile en 2010 o el tsunami de Japón en 2011.

Sin embargo, la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, 2010) dice que las olas de tsunami producidas por perturbaciones meteorológicas, o cómo también hemos llamado, meteotsunamis, pueden representar una mayor amenaza a un mayor número de personas. Esto se debe a que no están impulsados por fuerzas geológicas que solo existen en determinados lugares del planeta, sino que más bien por las fuerzas geográficas y meteorológicas que pueden ocurrir en muchos más lugares del planeta.

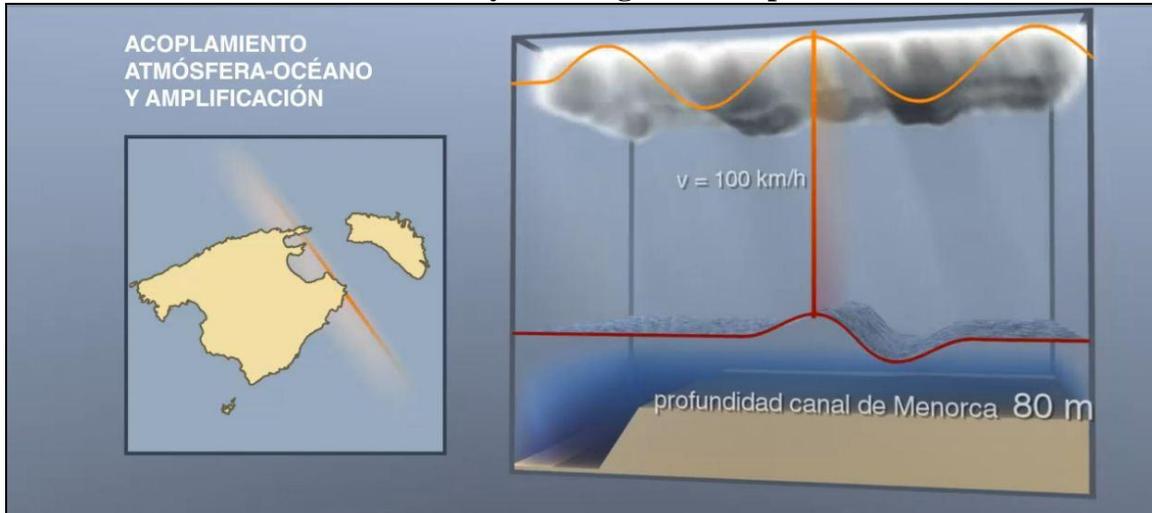
Tanto es así, que existe en la Universidad de Wisconsin-Madison un proyecto de investigación liderado por Thomas y Ryan (2010) con el fin de investigar la historia y la tendencia de los meteotsunamis, la estimación de su poder potencial y juzgar las probabilidades de ocurrencia en los Grandes Lagos.

También existen otros estudios actuales, en proceso, sobre estos fenómenos y su tendencia en el futuro en un contexto de Cambio Climático. Como bien sabemos el IPCC (por sus siglas en inglés, Panel Intergubernamental para el Cambio Climático) prevé en un futuro mayor número de eventos meteorológicos extremos: huracanes, tifones, tormentas... por lo que esto a su vez puede desencadenar meteotsunamis. Es interesante el estudio llevado a cabo para investigar la influencia del Cambio Climático en los meteotsunamis del Mar Adriático (Sépic, 2001).

Otros estudios actuales son los de modelizar y llevar a cabo sistemas de alerta de meteotsunamis en la costa balear mediterránea (Renault y otros, 2011). Se pueden observar al respecto las figuras 9 y 13. El reciente modelo publicado toma como principal evento el ocurrido en 2006 (Tintoré, 2011 [comunicación personal]) teniendo en cuenta tanto la variabilidad atmosférica, la velocidad de desplazamiento y su acople con el mar (Véase la figura 10). En este trabajo participó el Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (IMEA), la Agencia Estatal de Meteorología de España (AEMET) y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). El nuevo modelo permite

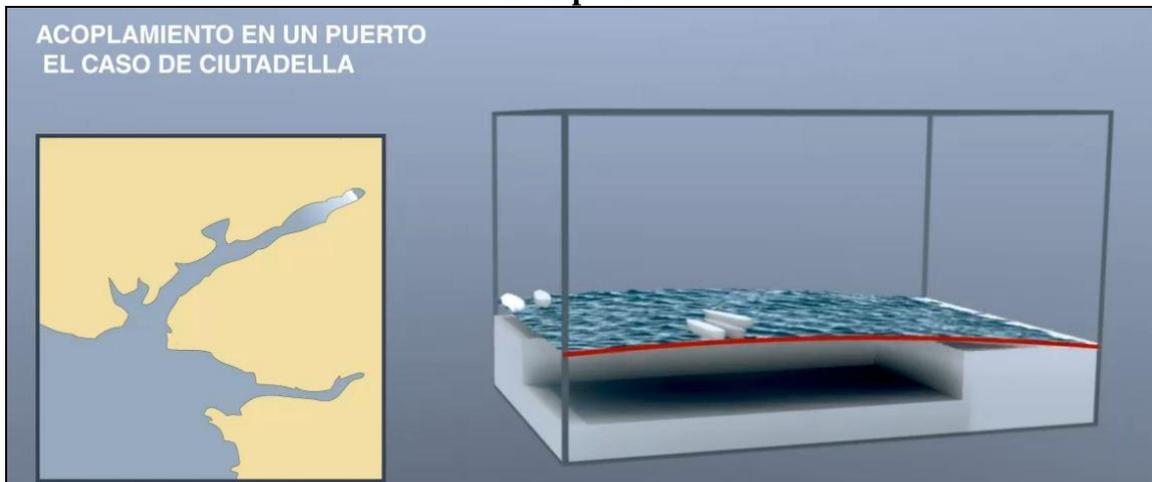
simular con detalle suficiente, tanto la propagación de la onda de presión atmosférica como la respuesta asociada del nivel del mar, lo que podrá aportar información de tipo cuantitativo y mejorar el sistema de predicción actual (Renault, 2011).

Figura 9. Funcionamiento de un meteotsunami en Menorca. Acoplamiento atmósfera-océano y la consiguiente amplificación



Fuente: Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

Figura 10. Funcionamiento de un meteotsunami en Menorca. Acoplamiento en un puerto



Fuente: Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

CONCLUSIONES

Los meteotsunamis son eventos recurrentes y que pueden presentar gran intensidad en muchas costas del mundo, lo que supone un alto riesgo para la población (Thomas y Ryant, 2010). Otros autores opinan que por el contrario, las perturbaciones atmosféricas fuertes de varios tipos (los frentes de paso, chubascos, y los trenes de ondas atmosféricas) son comunes.

Sin embargo, los fuertes efectos (de olas de mar de alta energía) se producen sólo para combinaciones específicas de efectos de resonancia. La rareza de tales combinaciones es la razón principal por la cual los meteotsunamis principales son excepcionales y se observó sólo en un número limitado de sitios en los océanos del mundo (Montserrat, Vilibic y Rabinovich, 2010). Otras teorías explican que en el Atlántico, los meteotsunami, debido a chubascos y tormentas eléctricas no se limitan al Reino Unido, y por lo tanto presentan un riesgo mayor para casi todas sus costas (Sallenger *et al.*, 1995).

Lo cierto es que el número de publicaciones que han estudiado este tema a nivel global son muy escasas, por lo que probablemente no se pueda tener una idea segura de la recurrencia de estos fenómenos ni del riesgo que estos representan.

Existen multitud de noticias y documentación histórica que hablan de “golpes de mar”, “maretazos” y olas de gran tamaño que arrasaban playas, puertos... y en ocasiones se cobran la vida de personas. Es muy probable, que muchas de estas anomalías oceánicas peligrosas, vayan ligadas a perturbaciones atmosféricas capaces de generar estos meteotsunamis, pero el desconocimiento generalizado de cara a este fenómeno constituye un riesgo per se.

Los posibles escenarios de cambio climático para España, elaborados por el IPCC y la Agencia Estatal de Meteorología, auguran un aumento de los fenómenos meteorológicos extremos como tormentas, bajas presiones profundas o incluso “*medicanes*”, por su nombre en inglés *mediterranean hurricane*, es decir, huracanes en el Mediterráneo, por lo que puede añadirse que los tsunamis de origen meteorológico igualmente aumentarán en consonancia directa con esta atmósfera inestable.

El considerado aumento del nivel del mar, el retroceso de las playas y la acusada antropización de la línea de costa, somete a una mayor presión a la población ante este desconocido fenómeno ante el que no existen medidas preventivas en ninguna zona de España salvo en las Islas Baleares donde AEMET se encarga de dar avisos de tipo naranja o rojo ante el riesgo de Rissaga, cuando ni mucho menos es la única zona afectada.

Si es cierto, que existen muchos estudios sobre eventos concretos en zonas determinadas, pero fuera de eso, no existe un grupo de científicos que hayan estudiado el número de eventos pasados a partir de registros históricos y mucho menos a partir de evidencias sedimentológicas o de erosión, pues ni si quiera se sabe si producen estos hechos.

BIBLIOGRAFÍA

BRYANT, E. *Tsunami: The Underrated Hazard*”, Cambridge University Press, Cambridge. 2001. 350 p.

CANDELA, J., MAZZOLA, S., SAMMARI, C., LIMEBURNER, R., *et al.* The Mad Sea Phenomenon in the Strait of Sicily. *Journal of physical oceanography*, 1998, vol. 29, p. 2210-2231.

DE LANGE, W. P., G. S. PRASETYA, T. R. and HEALY. Modeling Tsunamis Generated by Pyroclastic Flows (Ignimbrites). *Natural Hazards*, 2001, vol. 24, p. 251-266.

DEFANT, A. *Physical Oceanography*. Oxford: Pergamon Press, 1961, vol. 2.

DONN, W. L. and EWING, M. Stokes Edge Waves in Lake Michigan. *Science*, 1956, vol. 124, p. 1238-1242.

DONN, W. L. The Great Lakes Storm Surge of May 5, 1959. *Journal of Geophysical Research*, 1959, vol. 64(2), p. 191-198.

ECHARRI, Luis. Hidrología; Océanos y Mares. In *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Libro electrónico*. Barcelona: Teide, 1998.

FINN Lovholt, CARL B. Harbitz and KJETIL B. Haugen. A Parametric Study of Tsunamis Generated by Submarine Slides in the Ormen Lange/Storegga Area off Western Norway. *Marine and Petroleum Geology*, 2004, vol. 22, p. 219-231.

GARCÍA LÓPEZ-DAVALILLO, Juan C. *Maremotos o "Tsunamis", origen, efectos y mitigación*. Asturias: Geólogos del Mundo Asturias, 2007, p. 9.

GÓMIS, D., MONSERRAT, S., and TINTORÉ, J. Pressure-Forced Seiches of Large Amplitude in Inlets of the Balearic Islands. *Journal of Geophysical Research*, 1993, vol. 98, Issue C8, p. 14437-14446.

GONZÁLEZ, J. I., FARERAS, S. F. and OCHOA, J. Seismic and Meteorological Tsunami Contributions in the Manzanillo and Cabo San Lukas Seiches of September 14, 1995. *Marine Geodesy*, 2001, vol. 24, nº 4, p. 219-227.

HASLETT, S.K. and BRYANT, E. A. Meteorological Tsunamis in Southern Britain: an Historical Review. *The Geographical Review*, 2009, vol. 99, Issue 2, p. 146-163.

HIBIYA, T. and KAJIURA, K. Origin of Abiki Phenomenon (Kind of Seiches) in Nagasaki Bay. *Journal of the oceanography society of Japan*, 1982, vol. 38, p. 172-182.

JANSÁ, A. Respuesta marina a perturbaciones mesometeorológicas: la "rissaga" del 21 de junio de 1984 en Ciutadella (Menorca). *Revista Meteorología*, 1986, vol. 29, p. 5-29.

JANSÁ, S. y MONSERRAT, D. The Rissaga of 15 June 2006 in Ciutadella (Menorca), a Meteorological Tsunami. *Advances in Geosciences*, 2007, vol. 12, p. 1-4.

LOVHOLT, F. HARBITZ, C. B. and HAUGEN, K. B. A Parametric Study of Tsunamis Generated by Submarine Slides in the Ormen Lange/Storegga Area off Western Norway. *Marine and Petroleum Geology*, 2005, vol. 22, p. 219-231.

LOWE, D.J. and DE LANGE, W. P. Volcano-Meteorological Tsunamis, the c. AD 200 Taupo Eruption (New Zealand) and the Possibility of a Global Tsunami. *The Holocene*, 2000, vol. 10, nº 3, p. 401-407.

MONSERRAT, S., IBBERSON, A. and THORPE, A. J. Atmospheric Gravity Waves and the “Rissaga” Phenomenon. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society of Japan*, 1991, vol. 117, p. 553-570.

MONSERRAT, S., RAMIS, C., and THORPE, A. J. Large-Amplitude Pressure Oscillations in the Western Mediterranean. *Geophysical Research Letters*, 1991, vol. 18, p. 183-186.

MONSERRAT, S., GÓMIS, D., JANSÁ, A. and RABINOVICH, A. B. The Rissaga of 15 June 2006 in Ciutadella Harbour, Menorca Island, Spain. *Tsunami Newsletter*, 2006, vol. 38, n° 2, p. 5-7.

MONSERRAT, S., VILIBIC, I. and RABINOVICH, A. B. Meteotsunamis: Atmospherically Induced Destructive Ocean Waves in the Tsunami Frequency Band. *Natural Hazards Earth System Science*, 2006, vol. 6, p. 1035-1051.

PLATZMAN, G. W. A Numerical Computation of the Surge of 26 June 1954 on Lake Michigan. *Geophysica*, 1958, vol. 6, n° 1, p. 407-438.

RABINOVICH, A. B. and MONSERRAT, S. Meteorological Tsunami Near the Balearic and Kuril Islands: Descriptive and Statistical Analysis. *Natural Hazards*, 1996, vol. 13, Issue 1, p. 55-90.

RABINOVICH, A. B. and STEPHENSON, F. E. Longwave Measurements for the Coast of British Columbia and Improvements to the Tsunami Warning Capability. *Natural Hazards*, 2004, vol. 32, p. 313-343.

RABINOVICH, A. B. Seiches and Harbour Oscillations. In HANDBOOK OF COASTAL AND OCEAN ENGINEERING. *World Scientific Publishing*. Singapore: Y.C. Kim, 2009, vol. 9, p. 193-236.

RAMIS, C. y JANSÁ, A. Condiciones meteorológicas simultáneas a la aparición de oscilaciones del nivel del mar de amplitud extraordinaria en el Mediterráneo occidental. *Revista de Geofísica*, 1983, vol. 39, p. 35-42.

RENAULT, L., VIZOSO, A., JANSÁ, A. *et al.* Toward the Predictability of Meteotsunamis in the Balearic Sea Using Regional Nested Atmosphere and Ocean Models. *Geophysical Research Letters*, 2011, vol. 38, p. 1-7.

SALLENGER Jr., ABSYRY, H., LIST, J. H., GELFENBAUM, G., *et al.* Large Wave at Daytona Beach, Florida, Explained as a Squall-line Surge. *Journal of Coastal Research*, 1995, vol. 11, n° 4, p. 1383-1388.

ŠEPIC, J. and VILIBIC, I. Destructive Meteotsunamis Along the Eastern Adriatic Coast. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2009, vol. 34, p. 904-917.

ŠEPIC, J. *The Influence of Climate Change on the Adriatic Sea Meteotsunamis*. Institute of Oceanography and Fisheries (Croatia), 2011.

THOMAS, E. and THOMAS, G. *Project for the Course CEE at the University of Wisconsin-Madison*. University of Wisconsin-Madison, 2010.

TINTORÉ, J., GÓMIS, D., ALONSO, S., and WANG, D. P. A Theoretical Study of Large Sea Level Oscillations in the Western Mediterranean. *Journal Geophysical Research*, 1988, vol. 93, p. 10797-10803.

URBANO, P. Tsunami, un peligro costero de origen lejano y subestimado. En *Riesgos naturales en Galicia: el encuentro entre naturaleza y sociedad*. Santiago de Compostela: Servizo de Publicacións e Intercambio Científico de la Universidad de Santiago, 2010, p. 139-151.

VILIBIC, I. *et al.* Numerical Modelling of the Meteotsunami of 15 June, 2006 on the Coast of the Balearic Islands. *Pure and Applied Geophysics*, 2008, vol. 165, p. 2169-2195.

WU, C. H. and YAO, A. Laboratory Measurements of Limiting Freak Waves on Currents. *Journal of Geophysical Research*, 2004, vol. 109, Issue C12, p. 109.

© Copyright Jonathan Gómez Cantero y Javier Adrover Galmés, 2013.

© Copyright GeoGraphos, 2013.



GIECRYAL
GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE
ESTUDIOS CRÍTICOS Y DE AMÉRICA LATINA