

# Tsunami: ¿una amenaza lejana?

El pasado 26 de Diciembre una onda gigante segó la vida de más de 250.000 personas en el Sudeste Asiático. A partir de ese momento los medios de comunicación han hecho popular una palabra desconocida por la mayor parte de la población hasta ese día: Tsunami. Pero, ¿qué es un tsunami?, ¿cómo se produce?, ¿puede llegar a afectar a otras costas? Este artículo pretende dar respuesta a estos interrogantes.

## ¿Qué es un tsunami?

El término japonés "tsunami", sinónimo del castellano "maremoto", significa literalmente "onda (nami) de puerto (tsu)". Esto se debe a que los pescadores japoneses, país frecuentemente devastado por este fenómeno, encontraban el puerto destruido al volver de faenar, sin haber llegado a percibir nada anormal en alta mar por lo que, erróneamente, pensaban que el fenómeno se había generado en el puerto. Se trata en realidad de un conjunto de ondas que se propagan por la superficie del océano tras una perturbación importante de la misma; esta perturbación puede ocasionarla un terremoto (que implique un movimiento vertical del lecho marino), un corrimiento de tierras submarino o en la línea de costa, una erupción volcánica o, en casos muchísimo más excepcionales, la caída de un gran meteorito al mar.

A diferencia de lo que ocurre con el oleaje convencional, que está causado por el viento y afecta solamente a la capa superficial del océano, la energía de estas ondas se distribuye en toda la columna de agua hasta el fondo, siendo en ocasiones tan grande que, cuando llegan a la costa y se ven comprimidas por la escasa profundidad, se amplifican enormemente y generan una auténtica devastación. Los tsunamis tienen longitudes de onda muy largas en comparación con la profundidad, y tanto su altura como su velocidad de propagación dependen de la misma, variando desde

# Tsunami: a Distant Threat?

On December 26th 2004, a giant wave took the lives of more than 250,000 people in South East Asia. From that moment, the media have popularised a word which most people had never heard before: Tsunami. But, what is a tsunami? How does it happen? Can it affect other coasts? This article intends to answer these questions.

## What is a Tsunami?

The Japanese term "tsunami", the translation of the English "tidal wave", literally means "port (tsu) wave (nami)". This is because the fishermen of Japan, a country frequently devastated by this phenomenon, would return from a day's fishing to find the port destroyed, without noticing anything strange out to sea, and mistakenly thought that this phenomenon had been generated in the port. It is in fact a whole group of waves that spread over the surface of the ocean after a major disturbance in the sea. This disturbance could be caused by an earthquake (which involves a vertical movement of the seabed), an underwater landslide or a volcanic eruption on the coast or even, very occasionally, by a large meteorite falling into the sea.

Unlike the situation with conventional waves, caused by wind, and affecting only the surface of the ocean, the energy of these waves is distributed down the water column right to the seafloor, and is sometimes so large that, when they reach the coast and are compressed in the shallows, the force is greatly amplified and causes tremendous devastation. The wavelength of a tsunami is much greater than its depth, and both their

height and speed of propagation depend on this, varying from speeds of 500 to 1,000 km/h with a maximum wave height of 1 metre in deep seas to speeds in the tens of km/h close to the coast line, where the wave can be tens of metres high.

## Types of Tsunami

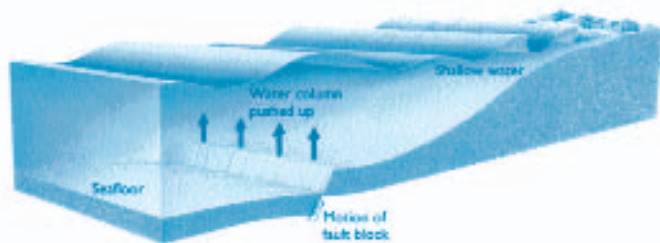
Tsunamis are fundamentally classified according to their origin and the distance from their source to the affected coastlines. The most destructive ones, leaving aside the rare occurrences of meteorites falling into the sea, are those caused by geological activity. In this category, the most frequent are caused by seismic movements that produce vertical shifting of the sea floor, which generates disturbance on the ocean surface, as mentioned above.

Depending upon their radius of action, tsunamis can be classified as local, regional or teletsunamis. A local or near-field tsunami affects a region within a radius of about 200 km. It is normally generated by a small earthquake, landslide or volcanic eruption. A regional tsunami, the most frequent category, causes damage in a geographical area with a radius of 1,000 km around the source. Finally, if the magnitude of the disturbance is very large, then a far-field tsunami or teletsunami can occur, with a much greater potential for destruction, because the waves can affect the entire ocean basin. This was the case of the tsunami that ensued in South East Asia on December 26th 2004.

Another type of tsunami is known as a meteorological or atmospheric tsunami

Esquema de formación de un tsunami como resultado de un movimiento ascendente del fondo marino a lo largo de una falla.  
Fuente: <http://www.gly.fsu.edu>.

Picture describing the formation of a tsunami resulting from of a rising movement from the sea floor along a fault. Source: <http://www.gly.fsu.edu>.



500 a 1.000 km/h y alturas de cómo máximo 1 m en el océano profundo a decenas de km/h cerca de la línea de costa, donde la altura de la ola puede llegar a decenas de metros.

### Tipos de tsunami

Los tsunamis se clasifican fundamentalmente en función de su origen y de la distancia desde la fuente a las costas afectadas. Los más destructivos, dejando aparte el poco frecuente impacto de un gran meteorito, son los de origen geológico. De esta categoría, los más frecuentes son los producidos por un movimiento sísmico que produce un desplazamiento vertical del fondo marino, generando la mencionada perturbación de la superficie del océano.

En función de su radio de acción los tsunamis pueden clasificarse en locales, regionales o teletsunamis. Un tsunami local o de campo cercano es aquél que afecta a una región con un radio de unos 200 km. Normalmente es generado por un terremoto pequeño, un deslizamiento de tierra o una erupción volcánica. Un tsunami regional, la categoría más frecuente, produce daños en una región geográfica con un radio de unos 1.000 km alrededor de la fuente. Por último, si la magnitud de la perturbación es muy importante, se puede producir un tsunami de campo lejano o teletsunami, con un potencial de destrucción mucho mayor debido a que las ondas pueden afectar a toda una cuenca oceánica. Este sería el caso del mencionado tsunami ocurrido en el Sudeste Asiático el pasado 26 de diciembre de 2004.

Otro tipo de tsunamis se conoce con el nombre de tsunami meteorológico o atmosférico y se produce por variaciones bruscas de la presión atmosférica. Son menos catastróficos que los producidos por terremotos, pero se manifiestan de la misma manera. Este fenómeno es habitual en las costas del Mediterráneo y, aunque normalmente no producen daños y se limitan a la aparición de

and occurs as the result of sharp changes in atmospheric pressure. These are less catastrophic than those caused by earthquakes, but can manifest themselves in the same way. This phenomenon is common on the Mediterranean coasts and, although they do not normally cause damage and can only be detected by oscillations in sea level every few minutes, if they start to resonate in a specific port, their wavelength can sometimes be powerful enough to cause serious damage to vessels. This is the case of the port of Ciudadela, on the island of Minorca.

### Geographical Distribution of Historical Tsunamis

The risk of a tsunami occurring varies considerably from one region to another, which does not mean that any coasts are entirely free from the risk of this phenomenon. The area most frequently affected is the Pacific basin, where at least 18 local or regional tsunamis have occurred between 1975 and 1998 and 17 far-field tsunamis since 1835. One example of this latter type would be the tsunami caused by an earthquake off the southern coast of Chile on May 22nd 1960. All the coastal villages of Chile between parallels 36 and 44 were destroyed, with the loss of about 900 lives. The tsunami reached Hawaii as a 7-metre wave, where it caused 61 deaths, and Japan, where a 9-metre high wave took the lives of 100 people. An earthquake that occurred on June 15th 1896 200 km off the north-eastern coast of Japan caused about 22,000 deaths, 17,000 of which were caused by the tsunami itself. In 1983, a tsunami in the Sea of Japan left more than 100 dead, and caused considerable damage along the coasts of Japan, Korea and Russia. On April 1st 1946, an earthquake with its epicentre in the Aleutian Islands (Alaska, United States) produced a tsunami that took 5 hours to reach Hawaii and caused 179 casualties.

However, 80% of tsunamis occur in the Pacific (in Hawaii it is estimated that there is one major tsunami every 7 years, and the Chilean coast has been the origin of some 7 far-field tsunamis since 1835), and these sometimes occur in other areas, such as the Indian and Atlantic Oceans, as we have seen recently with such tragic consequences.

The eruption of Krakatoa on August 27th 1883 probably caused the most tragic tsunami in recent history until December 26th 2004. On that occasion, some 36,000 people were lost after the arrival of the enormous wave generated in the Sunda Strait, between Java and Sumatra. The most devastating tsunami that we know of in the Atlantic ocean occurred on November 1st 1755 after the Lisbon earthquake and caused thousands of deaths on the banks of the Tagus, on the southern coast of Spain (Huelva and Cadiz), and was even felt in ports of the

British Isles, where the width of the oscillations reached about 3 metres.

#### *A recent case in the Mediterranean:*

The last Algerian earthquake, on May 21st 2003, caused a tsunami which registered on all the sea level sensors on the Spanish coast. Although in most cases the width was very small and was not noticed by the people, in the Balearic Island ports, it reached values of between 1 and 2 m and caused considerable damage to pleasure craft berthed in the ports. This event sent out an alarm signal within the Balearics Port Authority, as a result of which different Spanish institutions with an interest in or experience of this type of events (Puertos del Estado, National Geographical Institute, Civil Protection, Royal Naval Observatory, IMEDEA and the University of Cantabria), organised a series of meetings in order to study the feasibility of a tsunami warning system on the coast of the Iberian peninsula.

#### *The South East Asian tsunami:*

December 26th 2004 will doubtless stick in our memories as the date of the greatest natural disaster of the last few centuries. At 01:00 GMT a huge earthquake registering 8.9 on the Richter scale took place off the coast of Aceh, northeast Sumatra. The resulting waves spread throughout the Indian Ocean ravaging the coasts of Indonesia, Malaysia, Thailand, Sri Lanka, India, Andaman, the Maldives and even Somalia. All these countries suffered terrible devastation with sadly well-known losses of human life, but the shock was detected in places much more distant in the rest of the world, where different tide stations registered the signal: 50 cm wide in Callao (Chile), 65 cm wide in Jackson Bay (New Zealand), 6 cm in Hilo (Hawaii) and 22 cm in San Diego (California). In Manzanillo (Mexico) there were oscillations of up to 2.6 metres in sea level, according to messages sent by the Pacific Tsunami Warning Centre on December 27th.

The waves reached the coast every 5 to 40 minutes. In Kalutara (Sri Lanka), where the water surged 1 km inland, the first and only warning sign was a sudden outward pull of the tide. Had the people recognised this sign, it could have saved a great many lives, as shown by the episode of the schoolgirl who saved the lives of about 100 people on a beach in Phuket (Thailand), having recently learnt about tsunamis at school.

### The Effects

The scale of the damage varies according to the configuration, bathymetry and height of the coast receiving the impact, which can be very small at some points and enormous and destructive at others. This is why knowing the state of advancement of the wave with level sensors, regardless of its width, is of paramount importance in order to raise the alarm in other areas. Sometimes the tsunami only causes a small inundation

Daños tras el tsunami de Alaska en 1964. Photo Credit: U.S. Department of the Interior.

Damage after the 1964 Alaska tsunami. Photo Credit: U.S. Department of the Interior.



Club Náutico de Hilo (Hawaii) tras el tsunami ocurrido en 1946 como consecuencia de un terremoto en las islas Aleutianas (Alaska).

Photo Credit: U.S. Army Corps of Engineers. Fuente: National Geophysical Data Center (NGDC), NOAA (Hazard Photos Home)

Hilo Sailing Club (Hawaii) after the tsunami in 1946 as a result of an earthquake in the Aleutian islands (Alaska). Photo Credit: U.S. Army Corps of Engineers. Source: National Geophysical Data Center (NGDC), NOAA (Hazard Photos Home)



oscilaciones con un período de varios minutos en los registros de nivel del mar, otras veces, si entran en resonancia en un puerto concreto, su amplitud puede ser lo suficientemente importante como para producir daños serios en las embarcaciones. Este es el caso del puerto de Ciudadela, en la isla de Menorca.

### Distribución geográfica de tsunami históricos

El riesgo de ocurrencia de un tsunami varía enormemente de una región a otra, lo cual no quiere decir que haya costas por completo a salvo de este fenómeno. El área más frecuentemente afectada es la cuenca del Pacífico, donde se han producido al menos 18 tsunamis locales o regionales entre 1975 y 1998 y 17 tsunamis de campo lejano desde 1835. Un ejemplo de estos últimos sería el producido por un terremoto ocurrido frente a la costa Sur de Chile el 22 de Mayo de 1960: desaparecieron todos los pueblos costeros chilenos entre los paralelos 36 y 44, con un coste de unas 900 vidas humanas; el tsunami llegó hasta Hawaii como una ola de 7 m, donde produjo 61 muertos, y Japón, donde, con una altura de ola de 9 m, fallecieron unas 100 personas. Un terremoto ocurrido el 15 de Junio de 1896 a unos 200 km de la costa noreste de Japón produjo unos 22.000 muertos de los cuales unos 17.000 perecieron como consecuencia del tsunami. En 1983, un tsunami ocurrido en el Mar del Japón ocasionó más de 100 muertos, y daños muy importantes en las costas de Japón, Corea y Rusia. El 1 de Abril de 1946 un terremoto con epicentro en las Islas Aleutianas (Alaska, Estados Unidos) produjo un tsunami que tardó 5 horas en llegar a Hawaii y ocasionó 179 víctimas mortales.

Sin embargo, aunque el 80% de los tsunamis ocurren en el Pacífico (en Hawaii se estima que se produce uno importante cada 7 años; la costa chilena ha sido el origen desde 1835 de unos 7 tsunamis de campo lejano), en ocasiones tienen lugar en otras cuen-

in a low-lying coastal area, and can be seen arriving as a rapid swelling tide, but other times it can be seen as a turbulent wall of water.

Apart from the danger it represents for people, the tsunami also has a series of characteristics that make it especially destructive for all coastal infrastructures, due partly to the inundation and partly to the force of the wave when it hits buildings and walls. Furthermore, the powerful currents that go with it carry along everything in their path, further increasing the damage. Even in the case of a small tsunami, the material damage to ports and beaches can be considerable, because in such places the force of the water can push boats against the wharves if they have not been moved out to sea in time.

As we mentioned above, the tsunami caused after the Algerian earthquake caused considerable damage to a large number of pleasure craft in marinas in the Balearic Islands. Other physical damage that can go hand in hand with these sudden oscillations within a port, apart from the destruction of facilities and infrastructures, include oil and fuel spills from boats, fires, and pollution from chemical spills. In addition, it should be remembered that sometimes, the initial wave resonates and is amplified, especially in some ports or bays, which starts a series of local oscillations that can take days to disappear.

### Can they be predicted?

Unfortunately, it is impossible to predict when the next earthquake will occur or when a meteorite will fall into the sea

and cause a tsunami. However, there is a certain capacity for reaction and for warning the population if a tsunami warning system is set up, basically to minimise the number of victims and material damage as much as possible.

From a technical standpoint, this system comprises seismographs, which are the first to come into action when the earthquake is detected and its epicentre located; numerical models of how the wave is propagated, making it possible to calculate within 2 minutes the time at which it will reach the coast; pressure sensors located on the sea floor, which fundamentally serve to confirm the existence of the tsunami; and finally, tide stations or level sensors on the coast, also used to confirm and complement the information provided by the models concerning the width of the wave. All these instruments must work in real time and transmit the information to a centre for the control and distribution of the information. This centre generates information reports that are sent to the different national, regional and local authorities that put the established emergency plans into practice and distribute information through the different media. Of course, from a social and political standpoint, a warning system requires appropriate training among the population and the different authorities, something for which few countries are really prepared. In 1949 the NOAA set up the Pacific Tsunami Warning System, based in Ewa Beach (Hawaii), for detecting and warning against teletsunamis. All the countries of the Pacific, an area with a great deal of seismic activity due to the "ring

Tiempos de llegada de la primera onda tras el terremoto del 26 de Diciembre de 2004 en la costa de Indonesia.

Sistema de Alerta de Tsunamis del Pacífico con posición de los mareógrafos y sensores sísmicos. Fuente: NOAA



Arrival times of the first wave after the earthquake on December 26th 2004 on the coast of Indonesia.

Pacific Ocean Tsunami Warning System with position of tide stations and seismographs. Source: NOAA



cas como el Indico y el Atlántico, tal como trágicamente se ha demostrado recientemente.

La explosión del Krakatoa el 27 de Agosto de 1883 había producido probablemente el tsunami más trágico de la historia reciente hasta el pasado 26 de Diciembre; en aquella ocasión desaparecieron unas 36.000 personas tras la inmensa ola generada en el Estrecho Sunda, entre Java y Sumatra. El más devastador de que se tiene noticia en el océano Atlántico ocurrió el 1 de Noviembre de 1755 tras el terremoto de Lisboa y produjo miles de muertos en la riera del Tajo, en la costa Sur de España (Huelva y Cádiz) y fue detectado incluso en puertos de las islas británicas, donde la amplitud de las oscilaciones llegó a unos 3 metros.

#### *Un caso reciente en el mar Mediterráneo*

El pasado terremoto de Argelia, ocurrido el 21 de Mayo de 2003, tuvo como consecuencia un tsunami que registraron todos los sensores de nivel del mar de la costa española. Aunque en la mayor parte de las ocasiones la amplitud fue muy pequeña y pasó desapercibida por la población, en el caso de los puertos de las islas Baleares su amplitud llegó a valores de entre 1 y 2 m y provocó daños muy importantes en las embarcaciones de recreo atracadas en los puertos. Este suceso despertó una señal de alarma en la Autoridad Portuaria de Baleares, como consecuencia de la cual distintas instituciones españolas en relación o con experiencia en este tipo de eventos (Puertos del Estado, Instituto Geográfico Nacional, Protección Civil, Real Observatorio de la Armada, IMEDEA y Universidad de Cantabria), iniciaron una serie de reuniones con el fin de estudiar la viabilidad de un sistema de alerta de tsunamis en la costa de la península ibérica.

#### *El tsunami del Sudeste Asiático*

El 26 de Diciembre de 2004 quizá quedará en nuestra memoria como la fecha en que tuvo lugar la mayor catástrofe natural de los

of fire", are part of this system and are prepared to receive the warning and act in a matter of one or more hours. When the tsunami is local, the response time is much shorter, which is why some countries have their own much more sophisticated national or regional warning system. This is the case of Japan, which is able to provide a warning within 3 to 5 minutes after the earthquake, or the Warning System used in Alaska, on the western coast of the United States. The Hydrographic and Oceanographic service of the Chilean Navy also has a tsunami warning system (National Tidal Wave Warning System or SNAM)

In general, to be effective, local systems require a series of exhaustive prior studies. Normally a series of typical situations simulated with numerical models are drawn up in advance, when the possible positions of the sources are known, making it possible to have a more precise idea of which points of the coast will be most affected and to what extent, enabling the preparation of flood maps, which are vital for determining evacuation areas correctly. This group of theoretical results will make it possible to complement the system for sending information in real time and a better knowledge of the phenomenon will make it possible to react faster if it occurs.

#### **Agreements and Preventive Actions**

In the brief period that has elapsed since the terrible South East Asian tsunami, a number of political and scientific international meetings have been held with the aim not only of easing and helping the countries affected by the disaster, but

also of studying the way to avoid so many casualties in future. All these meetings came to the same unanimous fundamental conclusions.

At the UN World Conference on Natural Disaster Reduction, held in Kobe, Japan from the 18th to the 22nd January 2005, an agreement was reached on the urgent need to expand the Pacific Tsunami Warning System to a global level, especially for South East Asia, which is where this expansion will begin. A number of offers were made for the creation of this system: UNESCO aims to have it up and running by June 2006. Countries with experience in predicting tsunamis (United States, Japan) offered their know-how and contribution to the system. The UN International Early Warning Program was set up as a result of this meeting, and its first technical co-ordination meeting will take place in Paris from the 3rd to the 8th of March 2005. The second meeting, of a more political nature, will deal with sharing responsibilities, and will take place in late March in an Indian Ocean country.

The future warning system will include the Atlantic, considered to be a risk area due to the presence of the Azores-Gibraltar Fracture Zone in the central ocean sector, located to the south-west of the Iberian Peninsula and, of course, the Mediterranean. This affects Spain directly, and highlights the need for the Spanish institutions to bolster efforts in this connection, in order to contribute correctly to the needs not only of our society, but of those of our neighbouring countries and of the different international organisations.

One of the objectives of this Early Warning Programme is to increase the number of sea level stations sending real-time information. Despite the existence of hundreds of tide stations around the world, many of which are integrated into theGLOSS (Global Sea Level Observing System) network, the aim of this equipment has been more oriented to studying long-term changes in sea level and their relationship to climate change, or to local or port applications. It is clear that there is currently a need to improve many of these stations in terms of the frequency and range of the transmission of information on sea levels.

In some countries, like Spain for example, people tend to think that the tsunami is a distant, rather exotic threat. But after what has happened, there seem to be no significant reasons for not expanding these warning systems, for one fundamental reason: the expense that they involve is more than compensated for by the human and material damage that occurs after a giant wave. Furthermore, from a technical point of view, most of the necessary elements, such as networks of tide stations, are already being used for other purposes, both practical and research, with this latter issue always focused very clearly on coastal life.

últimos siglos. A la 01:00 GMT un gran terremoto de magnitud 8.9 se produjo frente a la costa de Aceh, al noroeste de Sumatra. Como consecuencia del mismo las ondas resultantes se propagaron por toda la cuenca del Índico invadiendo las costas de Indonesia, Malasia, Tailandia, Sri Lanka, India, Andaman, Islas Maldivas e incluso Somalia. Todos estos países sufrieron una gran devastación con pérdidas humanas por todos conocida, pero la señal fue detectada incluso en puntos muchísimo más alejados del resto del globo, donde distintos mareógrafos registraron la señal: de 50 cm de amplitud en Callao (Chile), 65 cm de amplitud en Jackson Bay (Nueva Zelanda), 6 cm en Hilo (Hawái) y 22 cm en San Diego (California). En Manzanillo (México) se llegaron a producir oscilaciones de hasta 2.6 metros en el nivel del mar, según se puede comprobar en los mensajes transmitidos por el Centro de Alerta de Tsunamis del Pacífico el mismo 27 de Diciembre. Las ondas llegaban a la costa con períodos de entre 5 y 40 minutos. En Kalutara (Sri Lanka), donde el agua inundó hasta 1 km tierra adentro, la primera y única señal de aviso fue un retroceso repentino del mar; en caso de ser reconocido por la población, este signo podría haber salvado muchas vidas, como demuestra la anécdota de la niña que salvó a unas 100 personas en una playa de Phuket (Tailandia), por haber recibido recientemente una clase sobre tsunamis.

### Sus efectos

La magnitud del daño varía según la configuración, batimetría y altura de la costa que recibe el impacto, pudiendo tener una amplitud muy pequeña en unos puntos y enorme y destructiva en otros. Por esta razón, el conocer el avance de la onda con sensores de nivel, independientemente de su amplitud, es de enorme relevancia para despertar la alarma en otras áreas. En ocasiones el tsunami sólo da lugar a una pequeña inundación en una zona de costa baja, manifestándose su llegada como una rápida marea creciente, pero otras se muestra como una pared de agua turbulenta.

Aparte de la peligrosidad para la población, el tsunami presenta una serie de características que lo hacen especialmente destructivo en todas las infraestructuras situadas en la costa, debido tanto a la inundación como a la fuerza de la onda al impactar en edificios y muros. Además, las fuertes corrientes que lo acompañan arrastran todo lo que encuentran a su paso y agravan su poder de destrucción. Incluso en el caso de un pequeño tsunami, los daños materiales pueden ser importantes en los puertos y playas, donde la fuerza del agua puede empujar barcos contra los muelles, si éstos no han sido retirados a tiempo mar adentro.

Como se mencionó anteriormente, el tsunami producido tras el terremoto de Argelia provocó daños importantes en gran número de embarcaciones de recreo en puertos deportivos de las islas Baleares; otros daños materiales que pueden acompañar estas oscilaciones repentinas dentro de un puerto, aparte de la destrucción de instalaciones e infraestructuras, incluyen vertidos de aceite y combustible de los barcos, incendios y contaminación por vertidos químicos. Además, hay que tener en cuenta que en ocasiones, la onda inicial entra en resonancia y se amplifica especialmente en algunos puertos o bahías, iniciando una serie de oscilaciones locales que pueden tardar días en desaparecer.

### ¿Se pueden predecir?

Por desgracia, es imposible predecir con antelación cuándo va a ocurrir el próximo terremoto o cuándo un meteorito se va a precipitar al mar dando lugar a un tsunami. Sin embargo, existe cierta capacidad de reacción y aviso a la población si se dispone de un sistema de alerta de tsunamis, cuya misión fundamental es minimizar al máximo el número de víctimas y los daños materiales.

Desde un punto de vista técnico, dicho sistema se compone de sensores sísmicos, que son los primeros en entrar en acción al detectar el terremoto y localizar su epicentro, modelos numéricos de cómo se propaga la onda, que permiten calcular los tiempos de llegada a la costa con precisiones de hasta 2 minutos, sensores de presión ubicados en el fondo del mar, que sirven fundamentalmente para confirmar la existencia del tsunami, y, por último, mareógrafos o sensores de nivel en costa, empleados también para confirmación y para complementar la información de los modelos en cuanto a la amplitud de la onda. Todos estos instrumentos han de funcionar en tiempo real y transmitir los datos a un centro de control y distribución de la información. Este centro genera boletines informativos destinados a las distintas autoridades nacionales, regionales y locales que ponen en marcha los planes de emergencia establecidos y la distribución de información a través de los distintos medios de comunicación. Evidentemente, desde un punto de vista social y político, un sistema de alerta requiere una formación adecuada de la población y las distintas autoridades, algo para lo que pocos países están realmente preparados.

En 1949 la NOAA puso en marcha el Sistema de Alerta de Tsunamis del Pacífico, con base en Ewa Beach (Hawái), para la detección y alerta de teletsunamis. Todos los países que bordean este océano, con una gran actividad sísmica debido a la existencia del "anillo de fuego", forman parte de este sistema y están preparados para recibir el aviso y actuar en cuestión de una o varias horas. Cuando el tsunami es local el tiempo de respuesta es muchísimo menor, para lo cual algunos países disponen a su vez de un sistema más sofisticado de alerta a nivel nacional o regional; tal es el caso de Japón, que está en condiciones de dar una alerta entre 3 y 5 minutos después de producirse el terremoto, o el Sistema de Alerta de Alaska en la costa oeste de Estados Unidos. El Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile también dispone de un sistema de alerta de tsunamis (Sistema Nacional de Alerta de Maremotos, SNAM).

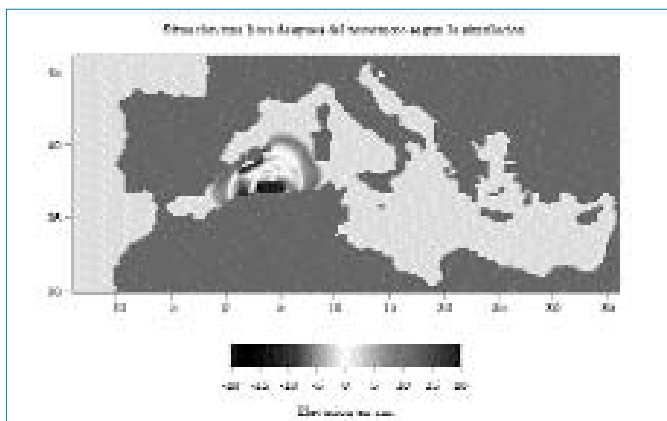
En general, los sistemas locales requieren para su eficacia una serie de estudios exhaustivos previos. Normalmente se elaboran a priori una serie de situaciones tipo simuladas con modelos numéricos, conocidas las posibles posiciones de las fuentes, que permiten conocer con mayor precisión cuáles van a ser los puntos de costa más afectados y con qué magnitud, permitiendo la elaboración de mapas de inundación, imprescindibles para planificar y determinar correctamente las áreas de evacuación. Este conjunto de resultados teóricos permitirán complementar el sistema de transmisión de datos en tiempo real y reaccionar, gracias al conocimiento del fenómeno, con mayor rapidez en caso de evento.

### Acuerdos y actuaciones para la prevención

En el poco tiempo transcurrido tras el terrible tsunami del Sudeste

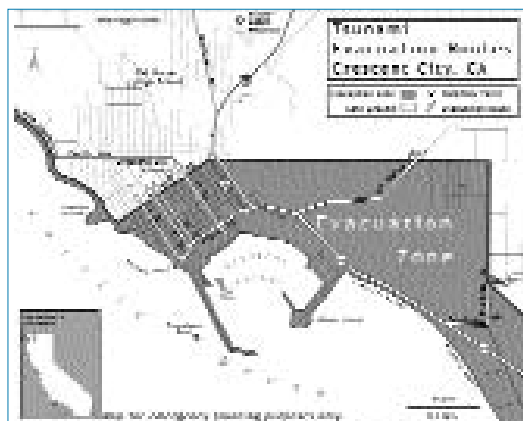
Ejemplo de una simulación del tsunami de Argelia en Mayo de 2003, realizada con el modelo de circulación utilizado por Puertos del Estado para su sistema de previsión de nivel del mar

Example of a simulation of the Algerian tsunami in May 2003, made with the circulation model used by Puertos del Estado for its sea level forecast system



Ejemplo de un mapa de evacuación y emergencia para la ciudad de Crescent City (California). Mapa: Lort Dengler, Jay Patton; cartografía: Sebastián Araya. (Geography and Geology Humboldt State University, June, 2001. <http://www.humboldt.edu>)

Example of an evacuation and emergency map for Crescent City, California. Map: Lort Dengler, Jay Patton; cartography: Sebastián Araya. (Geography and Geology Humboldt State University, June, 2001. <http://www.humboldt.edu>)



En el Sudeste Asiático se han producido varias reuniones internacionales, tanto a nivel político como científico, con el objetivo no sólo de paliar y ayudar a los países afectados por el desastre, sino de estudiar la forma de evitar tantas víctimas humanas en futuros eventos. Todas ellas son unánimes en sus conclusiones fundamentales.

En la Conferencia Mundial de las Naciones Unidas para la Reducción de Desastres Naturales, que tuvo lugar en Kobe, Japón, del 18 al 22 de Enero de 2005, se llegó al acuerdo de que existe una necesidad urgente de expandir el Sistema de Alerta de Tsunamis existente en el Pacífico a nivel global, y de manera muy especial para el Sudeste Asiático, por donde empezará esta expansión. Las ofertas para la creación de este sistema fueron variadas: la UNESCO pretende que esté en funcionamiento en Junio de 2006. Los países con experiencia en la predicción de tsunamis ofrecieron sus conocimientos y su contribución al mismo (Estados Unidos, Japón). Como consecuencia de esta reunión se ha puesto en marcha por tanto el Programa Nacional de Alerta Temprana de las Naciones Unidas (UN International Early Warning Program), cuya primera reunión de coordinación, a nivel técnico, tendrá lugar en París los días 3 a 8 de Marzo de 2005, y la segunda, de carácter más político con el fin de distribuir responsabilidades, a finales de Marzo en un país del Indico.

Dentro del futuro sistema de alerta está previsto incluir la cuenca Atlántica, considerada de riesgo por la presencia en la dorsal centro-oceánica de la fractura Azores-Gibraltar, situada al suroeste de la Península Ibérica y, por supuesto, el Mediterráneo. Esto afecta directamente a España, y da fuerza a la necesidad de incrementar los trabajos en este sentido por parte de las instituciones españolas, con el fin de contribuir adecuadamente al requerimiento no sólo de nuestra sociedad sino de las de los países circundantes y de las distintas organizaciones internacionales.

Uno de los objetivos de este Programa de Alerta Temprana es incrementar el número de estaciones de nivel del mar que transmiten datos en tiempo real; a pesar de la existencia de centenares de mareógrafos en todo el globo, muchos de ellos integrados en la red GLOSS (Global Sea Level Observing System), la finalidad de estos equipos ha estado más orientada al estudio de las evoluciones de nivel del mar a largo plazo y su relación con el cambio climático, o a aplicaciones locales o portuarias. Es obvio en este momento que existe una necesidad de mejorar muchas de estas estaciones en cuanto a la frecuencia y alcance de la transmisión de datos de nivel del mar. Se tiende a pensar en algunos países, como puede ser el caso de España, que el tsunami es una amenaza lejana, incluso exótica. Pero tras lo ocurrido no parece haber razones de peso para no avanzar en la generalización de estos sistemas de alerta por una razón fundamental: el gasto que suponen compensa sobradamente el daño humano y material que sobreviene tras una ola gigante. Además, desde un punto de vista técnico, gran parte de los elementos necesarios como las redes de mareógrafos, se están utilizando ya para otras finalidades, tanto prácticas como de investigación, esta última siempre con un interés muy aplicado sobre la vida en las costas.

#### Fuentes y direcciones de interés

##### Sources and Addresses of Interest

International Coordination Group for the Tsunami Warning System in the Pacific (ITSU): <http://ioc.unesco.org/itsu>  
 International Tsunami Information Center (IOC, UNESCO): [www.prh.noaa.gov/itic](http://www.prh.noaa.gov/itic)  
 Pacific Tsunami Warning Center (NOAA): [www.prh.noaa.gov/ptwc](http://www.prh.noaa.gov/ptwc)  
 West Coast and Alaska Warning Center (NOAA): [www.wcatwc.gov](http://www.wcatwc.gov)  
 Japan Meteorological Agency: [www.jma.go.jp/JMA\\_HP/jma/indexe.html](http://www.jma.go.jp/JMA_HP/jma/indexe.html)  
 Sistema Nacional de Maremotos de Chile (Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada): <http://www.shoa.cl>  
 GLOSS (Global Sea Level Observing System): [www.pol.ac.uk/psmsl/programmes/gloss.info.html](http://www.pol.ac.uk/psmsl/programmes/gloss.info.html)