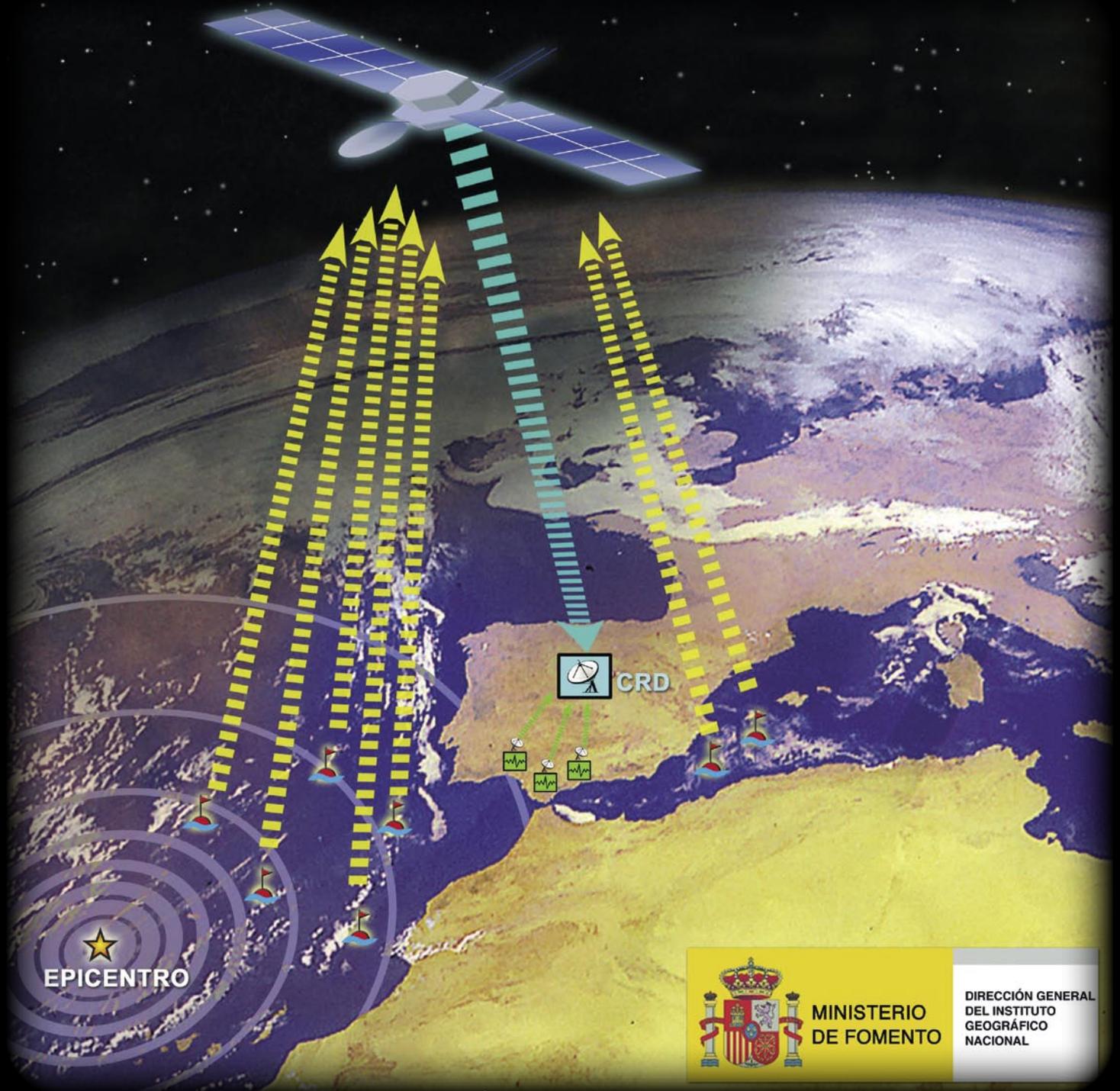


En España se han producido 24, con especial riesgo en la zona atlántica



# ¿QUÉ ES UN TSWAMI?

*Texto: Emilio Carreño. Coordinador Jefe de la Red Sísmica Nacional del Instituto Geográfico Nacional*

**E**l tsunami es un fenómeno costero que se produce como consecuencia de la ocurrencia de terremotos con epicentro submarino o bien por erupción volcánica, por deslizamientos de tierra bajo el mar, caída de bloques de hielo de un glaciar sobre el mar, caída de grandes meteoritos o por una explosión artificial bajo la superficie marina. En todos estos supuestos, no siempre se produce tsunami.

En el caso de origen sísmico, su generación depende del tipo de falla tectónica (fallas de componente normal), de la profundidad focal (en torno a 10 km), de la magnitud (superior a 5.5 de la escala Richter) y de la profundidad del agua.

Como consecuencia del desplazamiento tectónico, se produce un desplazamiento de grandes extensiones del fondo oceánico. En el reciente terremoto de Indonesia ( $M_w = 8.9$ ) de 26 de diciembre de 2004, por ejemplo, la longitud de ruptura fue de 1.300 km, con una anchura de 200 km (Borges et al. 2005) y un posible desplazamiento de 12 metros. Todo ello a una velocidad de ruptura de 3.0 km/s y durante 240 segundos.

Una vez producido este desplazamiento, se ocasiona una perturbación en la superficie del agua, generándose un grupo de ondas de largo período, con una primera de longitud de onda proporcional a las dimensiones de la fuente. Esta onda se propaga a velocidad de  $\sqrt{gh}$ , donde  $h$  es la profundidad del agua. Velocidades en torno a 700 km/h son habituales. La amplitud de esta onda es apenas de unos centímetros en el mar, pero al acercarse a la costa, disminuye la profundidad, aumenta la amplitud y disminuye la longitud de onda.

El hecho de que la costa esté muy alejada del epicentro sísmico no significa que no podamos tener grandes destrucciones, ya que la energía no se disipa con la distancia pues, al contrario, aumenta al acercarse a la costa y la propia batimetría puede incrementar la energía.

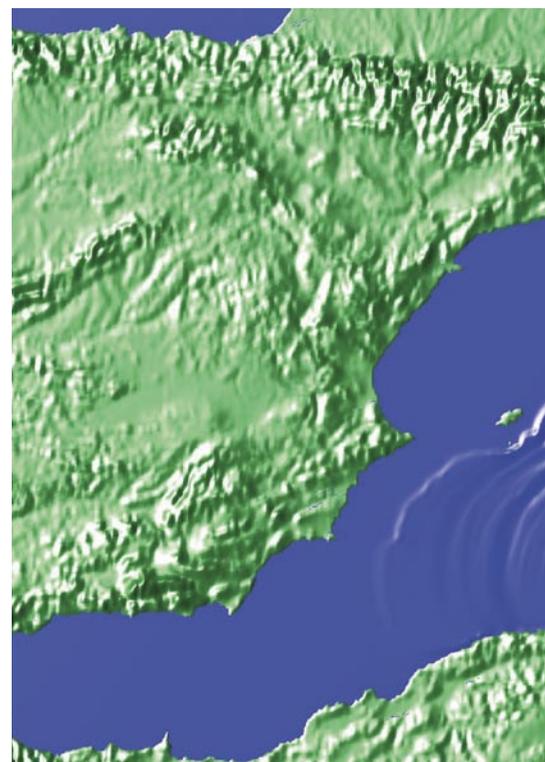
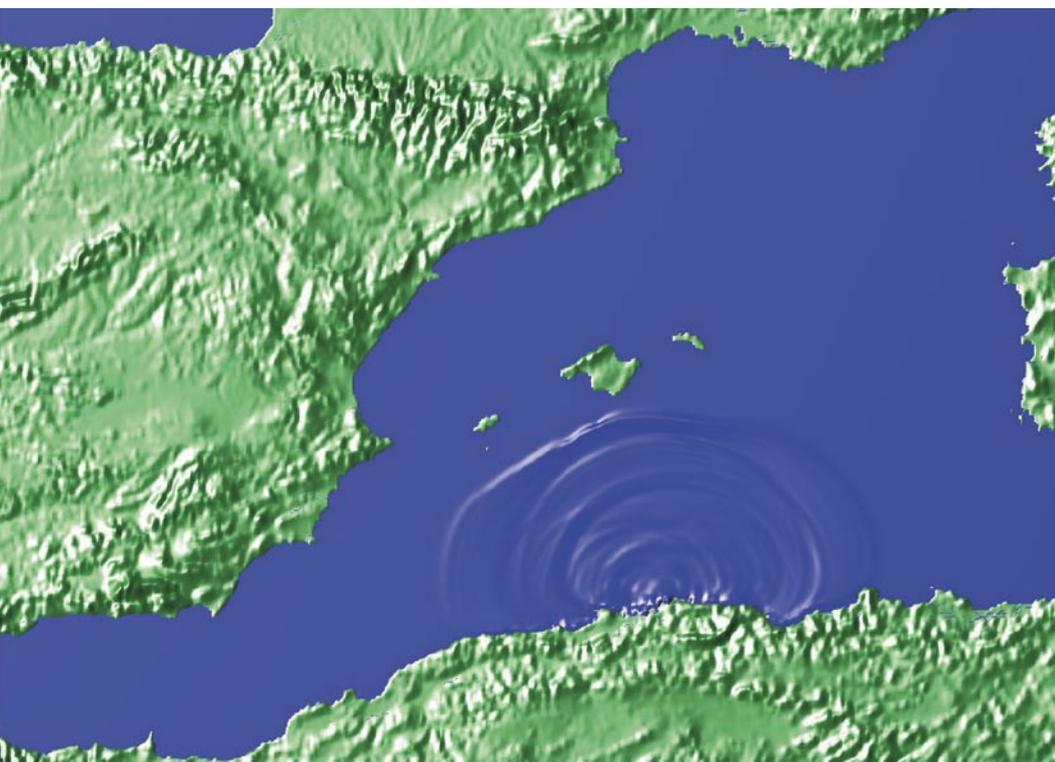
Los tsunamis debidos a deslizamiento de grandes masas de sedimentos no consolidados en la costa, son también frecuentes. El desencadenante puede ser un terremoto costero. Este es un tipo de mecanismo que, por ejemplo, se puede dar en la costa argelina. Son de menor intensidad que los puramente sísmicos pues sólo un 2% de la energía de la masa en movimiento con una cierta pendiente se puede transformar en energía que genere ondas de gravedad (González y Medina, 1998).

Cuando el tsunami alcanza la costa, se producen diversos fenómenos de los que destacamos la inundación de la misma y la resonancia portuaria. La inundación causa daños al actuar sobre las estructuras, por el arrastre de materiales y la acción hidrostática de la inundación. La resonancia se produce al coincidir el período de oscilación del mar con el de la propia masa de agua del puerto.

### Áreas del planeta donde se producen los tsunamis

La zona del planeta que sufre más tsunamis corresponde al Océano Pacífico, generándose como consecuencia de los terremotos de las Islas Aleutianas, Kuriles, Japón y Alaska. Igualmente, las costas de Colombia, Perú y Chile. En el Océano Índico, son las costas de Indonesia la que más y mayores tsunamis ha sufrido. Como curiosidad, diremos en relación con esta área tsunamigénica que, algunos historiadores han interpretado el acontecimiento bíblico del diluvio universal como un tremendo tsunami producido sobre la desembocadura del Éufrates como consecuencia de un gran terremoto en el Golfo Pérsico. La tercera zona tsunamigénica es la Atlántica como consecuencia de la actividad de la gran dorsal submarina que la atraviesa de norte a sur y en su punto más occidental, el Caribe y en el oriental, los sistemas de fallas Azores-Gibraltar. En el Mediterráneo, los tsunamis afectan al sur de la Península Ibérica, norte de África y las costas Adriáticas y Egeas.

**La predicción de terremotos es una meta inalcanzable hoy por hoy para los sismólogos. Por eso, se apuesta por la prevención, que se traduce fundamentalmente en la aplicación de normas sismorresistentes y que está dando excelentes resultados**



*Simulación del terremoto de 21 de mayo de 2003 con epicentro en Boumerdes (Argelia), de magnitud 6.8. La secuencia muestra la situación a los 30, 50 y 60 minutos de producirse el terremoto. La simulación la ha realizado el IGN en colaboración con el Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria.*

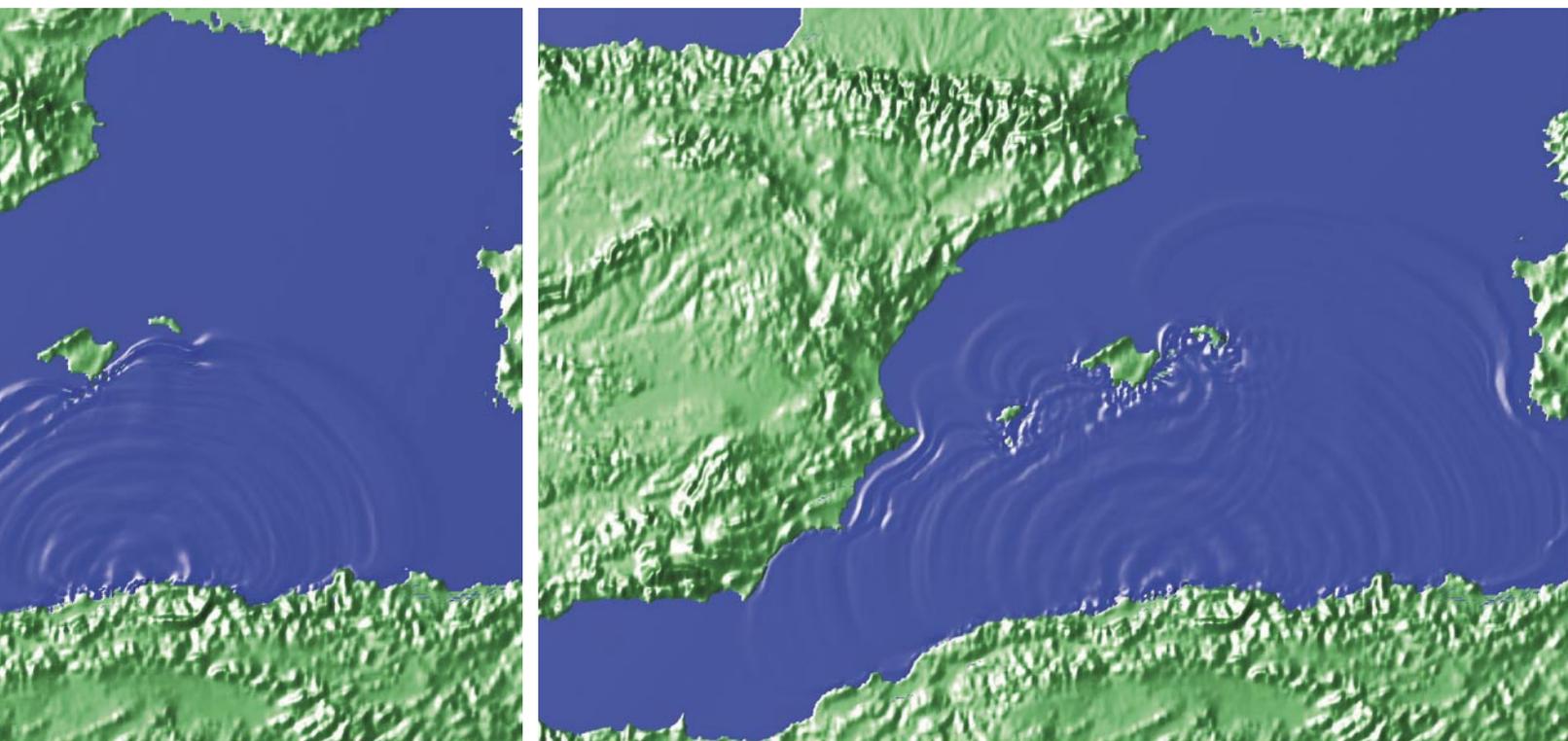
## Escalas de magnitud e intensidad

Existen escalas que representan la energía del tsunami y los efectos en las costas, que son escalas de magnitud y de intensidad, respectivamente, de forma semejante a los terremotos. Aunque existen muchas escalas, las más conocidas son, para la magnitud, la de Imara-Lida en la que la magnitud del tsunami es proporcional al logaritmo en base 2, de la altura máxima de la inundación en la costa, en metros. También de magnitud se usa la escala de Murty-Loomis que viene definida como  $ML=2(\log E-19)$ , siendo E la energía potencial total en ergios de las ondas del agua en el momento de la generación del tsunami.

Una de las escalas de intensidad más usadas es la de Soloviev, que consta de cinco grados definidos en función de la altura alcanzada por las aguas en metros y del comportamiento del tsunami y sus efectos. La escala de intensidad de Ambroseys, es de cuatro grados que van desde muy ligero a fuerte, mediante la descripción de los efectos.

## ¿Es predecible un tsunami?

La predicción de terremotos es una meta inalcanzable hoy por hoy para los sismólogos. Son muchos los fenómenos observados que se asocian con la proximidad de ocurrencia de un terremoto. Uno de los problemas es que, son muchos los parámetros a observar y no siempre se producen estos fenómenos. La sismología apostó entonces por la prevención, que se traduce fundamentalmente en el aplicación de normas sismorresistentes. Con ello se han obtenido excelentes resultados. Al menos, en los países más desarrollados se evitan muchas víctimas aunque los daños materiales sean elevados. Por el contrario, en los países que se encuentran en vías de desarrollo, el número de víctimas sigue siendo muy elevado. El caso de la alerta del tsunami es diferente ya que existen sistemas que en la actualidad están funcionando con eficacia y permiten advertir de la aproximación de un tsunami, estimando la altura de ola en la costa y áreas geográficas que se verán afectadas.



## Sistemas de alerta de tsunamis

Se puede establecer una clasificación en función de la distancia de las fuentes tsunamigénicas y por tanto del tiempo de que se dispone para dar la alerta. Por un lado, los sistemas regionales, para casos de fuentes situadas entre los 100 y los 750 km y por otro, los sistemas locales para distancias menores.

El más conocido y con mayor prestigio por su operatividad es el Centro de Alerta de Tsunamis del Pacífico (PTWC), establecido por la agencia National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Este centro actúa como sede de sistemas de alerta locales. La infraestructura necesaria de una red de alerta de tsunami está apoyada básicamente en aspectos simológicos pero también son indispensables otros medios técnicos e informáticos. Consta esencialmente de los siguientes elementos:

- Una red sísmica digital de banda ancha y tres componentes con transmisión de datos en tiempo real.

Se precisa una red digital que permita el tratamiento informáti-

co rápido de la información, con suficiente rango dinámico para que no se pierda información en terremotos de gran magnitud.

- Un sistema automático de detección de eventos.

Proporciona una solución automática del epicentro y la magnitud del terremoto. Es preciso un potentísimo software que sea rápido y que proporcione un hipocentro fiable y un valor de magnitud provisional, muy aproximado.

- Servicio de vigilancia sísmica de 24 horas.

El personal de control de la alerta debe estar formado en los aspectos sísmicos del análisis y con capacidad de reacción ante una alerta.

- Cálculo rápido automático del tensor momento sísmico.

Permite tener información del mecanismo focal. Es preciso un sistema que automáticamente nos facilite con fiabilidad, el tipo de mecanismo focal que ha producido el sismo. Es esencial para conocer la existencia de posibilidades de que se haya producido tsunami.

- Boyas de presión en alta mar.

Son indispensables para confirmar la existencia de tsunamis. Actualmente no se dispone en nuestro país de esta instrumentación.

- Simulación de escenarios de tsunami.

Son necesarios para estimar el posible alcance del tsunami. Nos proporcionan una idea rápida de las zonas de costa que se pueden ver afectadas, lo que puede penetrar el agua en el interior y la altura de la ola.

- Infraestructura integradora de todos los dispositivos.

Puede suceder que no todas las anteriores fases de la alerta estén en el mismo centro. Es preciso definir un organismo que asuma estas funciones.

- Dispositivo rápido de transmisión de la alerta.

Está en función de los planes de emergencia de los servicios de Protección Civil y debe incluir una preparación a la ciudadanía que incluyan ensayos de evacuación.

## Los tsunamis en España

Existe un catálogo de tsunamis en España del Instituto Geográfico Nacional, que se ha realizado en base al anteriormente existente de Campos (1992), y fue actualizado, corregido y ampliado a partir de la participación en el Unified Catalogue of European Tsunamis realizado dentro del proyecto europeo GITEC (1995).

Hay catalogados 24 tsunamis que se han registrado en costas españolas desde el año 218 a.C., pero el de mayor importancia corresponde al originado como consecuencia del terremoto de 1 de noviembre de 1775. Existe una extensa bibliografía sobre este evento que afectó a las costas de Huelva y Cádiz, fundamentalmente. El último tsunami sufrido corresponde al que se produjo con el sismo de 21 de mayo de 2003 en Boumerdes (Argelia) de magnitud 6.8. El tipo de mecanismo focal, la superficialidad del hipocentro y la longitud de ruptura (50 km), hizo que se originara un pequeño tsunami que alcanzó la costa Balear unos 45 minutos después de la hora origen del terremoto. Produjo cuantiosos daños materiales, especialmente en embarcaciones y dársenas.

Las dos zonas con mayor riesgo de tsunami para las costas españolas son las correspondientes al Mediterráneo y al Atlántico, siendo esta última la de mayor peligrosidad.

### Bibliografía

Borges, J.F., B. Caldeira and M. Bezzeghoud (2005). Source Rupture Process of the Great Sumatra, Indonesia Earthquake (Mw = 8.9) of 26 December 2004. preliminary Results. Public. Tén. Universidad de Évora ( inamarce).

González, M. And R. Medina (1998). Probabilistic Model dor Tsunami-wave Elevation along the Alborán Sea. Proc. 26th. International Coastal Eng. Conference. A.S.C.E.. Vol.2, pp.1168-1181. Copenhagen, Dinamarca.

Campos, L. (1992). El Riesgo de Tsunamis en España. Análisis y Valoración Geográfica. Monografías, 9. Instituto Geográfico Nacional. Madrid.

GITEC (1995). "Genesis and Impact of Tsunamis on the European Coasts: Tsunami Warning and Observations" (ENV4-CT96-0297).

## La zona del planeta que sufre más tsunamis corresponde al Océano Pacífico, generándose como consecuencia de los terremotos de las Islas Aleutianas, Kuriles, Japón y Alaska

### Los tsunamis más conocidos de épocas históricas

AÑO	REGIÓN
1755	Portugal-España
1883	Indonesia
1896	Japón
1906	Ecuador-Colombia
1933	Japón
1944	Japón
1946	Japón
1952	Rusia
1960	Chile-Hawaii-Japón
1976	Filipinas
1992	Indonesia
1998	Papúa-Nueva Guinéa
2004	Indonesia-Sri Lanka-India

### Equivalencias en la escala de magnitud de Imamura-Lida

Magnitud	Altura de inundación
-2	30 cm
1	2-3 cm
5	32 m

### Escala de intensidad de Soloviev

Grado	Clasificación
-1	Muy ligero
0	Ligero
1	Bastante fuerte
2	Grande
3	Muy grande
4	Desastroso