# Riesgos Geológicos: Tsunamis

*Juan A. Morales y José Borrego Flores*

## *Introducción*

Los tsunamis son olas marinas inducidas por causas tectónicas y caracterizadas por longitudes de onda largas y altas velocidades. Éste fenómeno ha recibido en el pasado otros nombres como maremotos o marejadas, pero estos nombres han sido desechados por no describir adecuadamente el fenómeno. Desde un punto de vista dinámico un tsunami representa un evento de una gran energía con una poderosa capacidad de erosión y transporte de sedimentos costeros hacia el continente. Se trata de un fenómeno poco frecuente pero de gran espectacularidad y que causa eventualmente gran cantidad de víctimas. Está en el recuerdo de todos el tsunami generado en Indonesia, que afectó a las costas de todo el Océano Índico, el cual se estima que causó 280000 muertes (una cantidad enorme, que representaría el doble de la población de la ciudad de Huelva).

## *Mecanismos genéticos*

La génesis de tsunamis está relacionada con un desplazamiento súbito de un gran volumen de agua inducido a su vez por el movimiento rápido de una masa sólida. Este movimiento de masas puede tener varias causas posibles, así tsunamis de pequeñas dimensiones se generan durante el deshielo de frentes glaciales al desprenderse *icebergs*. También pueden originarse tsunamis por impactos de meteoritos. Sin embargo, su origen más frecuente viene asociado a los terremotos que se concentran (más del 90% del total) en los límites de placa, siendo los de mayor magnitud los asociados a zonas de subducción.

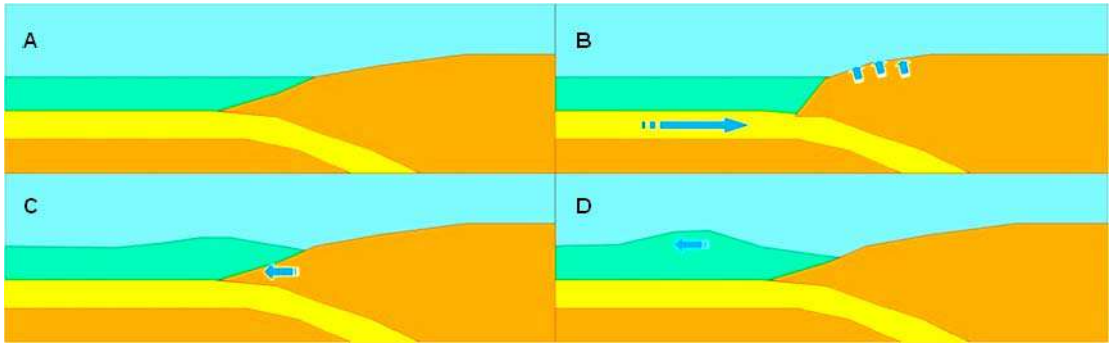


*Figura 1. Génesis de un tsunami asociado a un terremoto en una zona de subducción.*

En las zonas de subducción, el movimiento de la placa oceánica que subduce genera una acumulación de energía que se traduce en deformación elástica de la placa subducida (Fig.1 A y B). La liberación de esa energía durante un sismo provoca un rebote elástico de la placa superior, que se desplaza sobre la placa oceánica (Fig.1C). Este desplazamiento de terreno provoca un movimiento súbito de la masa de agua generando una gran ola que se propagará por la superficie del océano hasta llegar a las costas cercanas (Fig.1D).

Aunque este es el mecanismo más frecuente, es el que tuvo lugar en el caso de Indonesia, no es el único y se conocen otros casos en los que grandes deslizamientos gravitacionales de terreno en fondos oceánicos de gran pendiente (Storegga, Noruega, 5000 a.C.) o grandes explosiones en erupciones volcánicas (Krakatoa, 1883) han generado grandes tsunamis.

### *Desplazamiento de las olas de tsunami*

Desde el punto de vista de su desplazamiento en océano abierto una ola de tsunami responde a las propiedades de un movimiento ondulatorio progresivo. Sus longitudes de onda son superiores a los 50 km, esto implica que tocan el fondo oceánico a profundidades menores a los 25 km (la profundidad máxima del océano es de 11 km), por lo tanto provocan un desplazamiento de toda la masa de agua generando un rozamiento con el fondo.

De esta forma su velocidad es predecible y depende exclusivamente de la profundidad, de tal forma que para las profundidades medias del océano (4 km) se desplaza a más de 700 km/h.

### *El rompiente sobre la costa*

Cuando la ola llega a la costa las longitudes de onda se acortan y la ola se levanta produciéndose una succión del agua desde el frente de la primera ola, por ello el primer efecto en la costa es una bajada del nivel del agua. Posteriormente se produce el primer rompiente, sin embargo, debido a sus grandes dimensiones la batida no se produce a la altura de la cresta como en las olas comunes, sino en su frente. De este modo, cuando la ola rompe, la resaca no se produce inmediatamente, sino que el agua continúa entrando hacia la costa y subiendo de forma similar a como lo haría la marea (Fig. 2).

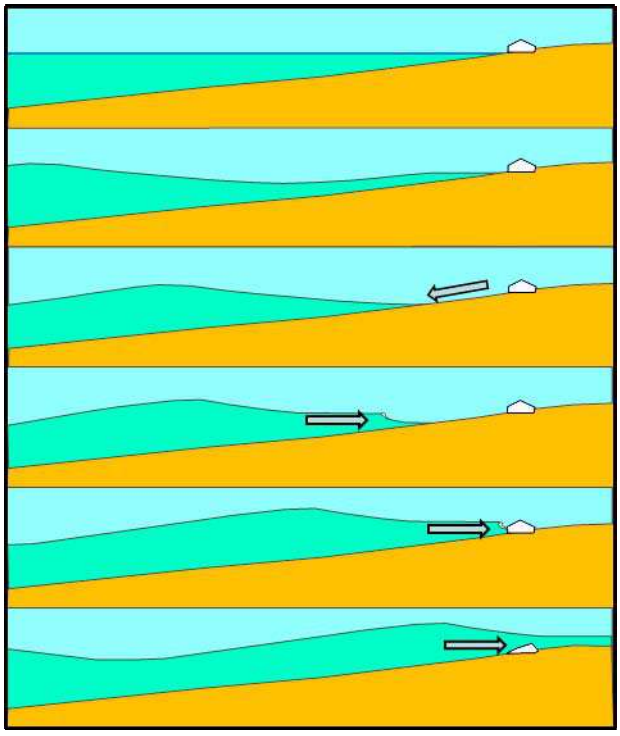

*Figura 2. Rompiente de un tsunami en la costa.*

### *El registro de un tsunami en el sedimento*

En bahías protegidas, como albuferas, estuarios o lagunas costeras, un tsunami genera normalmente una capa de sedimentos compleja pero bien reconocible, que es denominada tsunamita por los sedimentólogos. Autores japoneses han diferenciado tres tipos de capas generadas por tsunamis:

1.- Acumulaciones de conchas y fragmentos de conchas con matriz arenosa o fangosa, normalmente con base erosiva. Presentan como característica común un número alto de moluscos, incluyendo especies de mar abierto mezcladas con otras típicas de ambientes protegidos del oleaje.
2.- Capas de arenas que también presentan una base erosiva y normalmente contienen fragmentos de plantas y bolas de fango. En estas arenas, la abundancia de organismos también está presente en las asociaciones microfaunísticas, sobre todo de diatomeas y ostrácodos.
3.- Depósitos de mayor energía consistentes en acumulaciones o dispersiones de grandes bloques de roca sobre el fondo marino.

En todos los casos, los depósitos tsunamigénicos presentan un característico enriquecimiento en metales pesados (Pb, Cu, Ni, Fe y Cr). Los científicos justifican este hecho como una acumulación de minerales densos procedentes de la erosión de formaciones adyacentes a las áreas costeras.

### *Tsunamis en el entorno de Huelva*

Las costas del Golfo de Cádiz han sido afectadas históricamente por sucesivos tsunamis. Existe documentación histórica de, al menos 7 tsunamis catastróficos además de otros menores detectados instrumentalmente en los últimos 40 años.

El ejemplo mejor conocido ocurrió el 1 de noviembre de 1755, correspondiendo con el famoso Terremoto de Lisboa que fue uno del sismos más fuertes ocurridos en Europa. La magnitud estimada para este terremoto fue de 8,3 en la escala de Richter y su intensidad en el epicentro fue de XI-XII en la escala MSK. Asociado con el sismo, un gran tsunami destruyó amplias áreas costeras de la Península ibérica y Marruecos.

Varios autores localizaron el posible epicentro de este sismo por la comparación con terremotos más recientes en el Océano Atlántico Norte, cerca del Banco de Gorringe, 200 Km. al sudoeste del Cabo San Vicente. Recientemente los sismos se han relacionado a movimientos a lo largo de la falla Azores-Gibraltar (Fig.3) o a lo largo de fallas menores asociadas con ésta, como la falla Marques de Pombal.

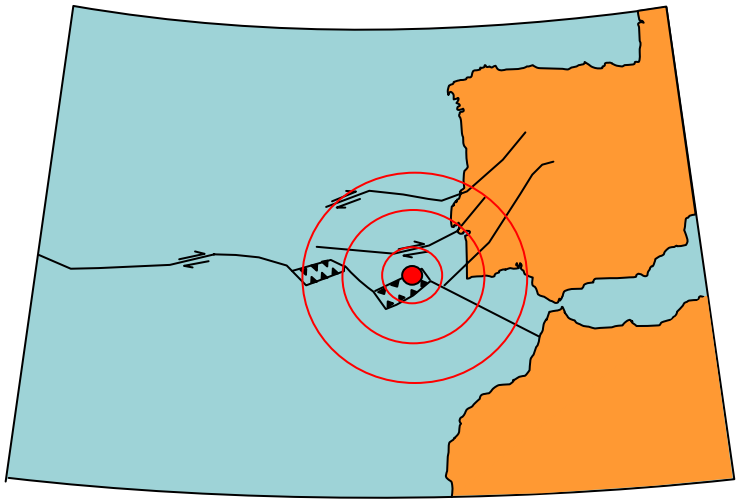

*Figura 3. Localización del epicentro del terremoto de Lisboa de 1755.*

### *El registro de tsunamis en la costa de Huelva*

Hasta 2003 no se habían descubierto en la Costa de Huelva niveles de conchas semejantes a los descritos en el apartado anterior. Los primeros niveles aparecieron en el Estuario del Odiel durante una bajamar extrema (Fig.4). Estos niveles han sido caracterizados como niveles del primer tipo, con base erosiva y acumulaciones de conchas y fragmentos (Fig.5) que incluyen ejemplares de berberechos (*Cerastoderma glaucum y Cerastoderma edule),* ostiones *(Crassostrea angulata)* chirlas *(Chamelea gallina),* longuerones *(Solen marginatus),* almejas finas *(Ruditapes decussatus)* y conchenas *(Glycimeris variabilis). S*obre estos niveles de conchas se desarrolla una capa de arenas negras correspondiente al periodo de decantación posterior al tsunami. Es curioso que algunos de los bivalvos descritos lograron sobrevivir al evento y escaparon de la acumulación de conchas horadando la capa de arenas que la recubre. Éstos fueron en su mayoría almejas, debido a su menor peso y a tener su hábitat dentro del estuario, así el transporte por el tsunami fue más corto y el desgaste menor.

*Figura 4. Fotografías de la tsunamita en el estuario del río Odiel.*

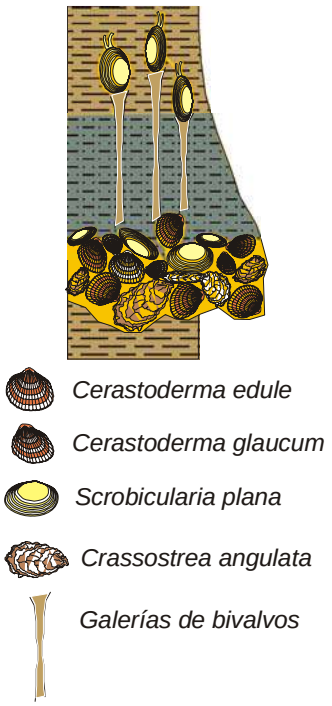


*Figura 5. Columna litológica de la tsunamita hallada en el estuario del río Odiel.*

Otras fechas registradas en las capas más antiguas son igualmente significativas, así existe una capa de conchas datada en torno al 550 antes de Cristo que podría corresponder con la fecha de finalización de la civilización tartessica, y otra anterior datada alrededor de 2500 antes de Cristo que coincide con el final de la civilización megalítica onubense (Fig. 7).

Una vez identificada en el estuario una tsunamita tipo, se buscaron en sondeos otras capas semejantes, habiéndose encontrado hasta un total de 14 en los últimos 8000 años. Dataciones con Carbono 14 (Fig.6) han demostrado que las más recientes de estas capas corresponden a los tsunamis de 1755, 1531, 949, 881 y 395 de nuestra era, todos ellos originados por sismos históricamente documentados.

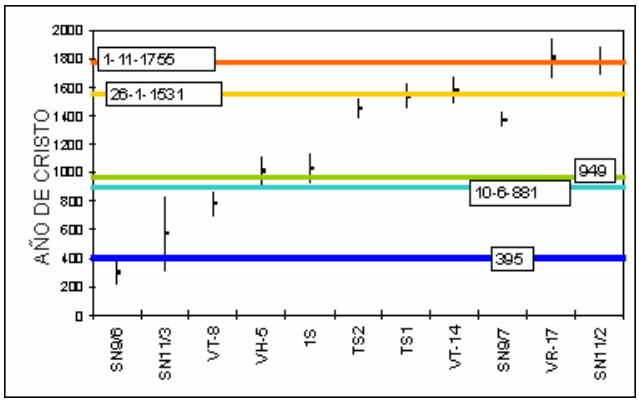


*Figura 6. Dataciones con carbono-14 en las tsunamitas más recientes.*

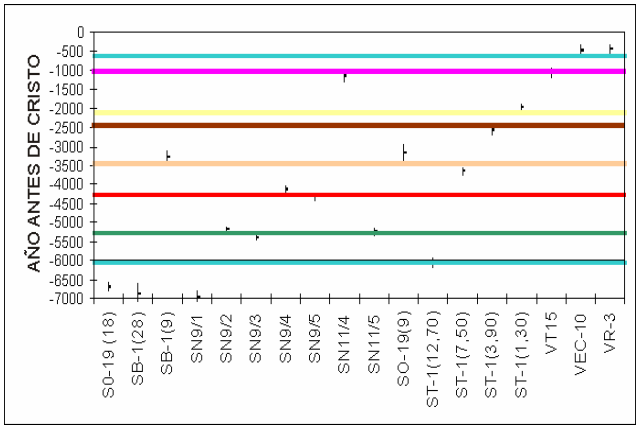


*Figura 7. Dataciones con carbono-14 en las tsunamitas más antiguas.*