

**LA PELIGROSIDAD DE TSUNAMIS EN LAS COSTAS ESPAÑOLAS. SIMULACIONES***Tsunami Hazard in the Spanish Coasts. Flooding Scenario*

Emilio Carreño Herrero (\*)

**RESUMEN**

*La peligrosidad de tsunami en las costas españolas afecta al área atlántica y a la mediterránea. En la primera cabe esperar tsunamis muy fuertes pero menos frecuentes que en el Mediterráneo, donde existe mayor probabilidad de ocurrencia pero con un impacto mucho menor. Se han realizado en España simulaciones numéricas del efecto de los tsunamis en las costas y supuestos escenarios de inundación como consecuencia de un sismo similar al de Lisboa de 1755.*

**ABSTRACT**

*The tsunami hazard in the Spanish coast have effects over the Atlantic and Mediterranean areas. In the Atlantic zone, the tsunamis are not common but probably very damaging. In the Mediterranean area exists more probability, but with a short impact over the coast. Haven been developed different numerical simulations and flooding scenarios with similar parameters than the 1755 Lisbon earthquake.*

**Palabras clave:** *Tsunami, Peligrosidad, Península Ibérica, Escenarios*

**Keywords:** *Tsunami, Hazard, Iberian Peninsula, Scenario*

**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 Lourdes Campos publicado en 1992, y que fue actualizado, corregido y ampliado a partir de la participación en el *Unified Catalogue of European Tsunamis* realizado dentro del proyecto europeo GITEC (*Genesis and Impact of Tsunamis on the European Coasts*) en 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.

**ZONAS TSUNAMIGÉNICAS QUE PUEDEN AFECTAR A LAS COSTAS ESPAÑOLAS**

El litoral español se encuentra expuesto a dos distintas fuentes de generación de *tsunamis*. Se identifican como zonas tsunamigénicas que pueden afectar a las costas españolas las siguientes:

**Zona correspondiente a la vertiente Atlántica**

Relacionada con la dorsal centro-oceánica, se distinguen dos áreas, una situada en la mitad occidental del océano a partir de la dorsal media, que es la parte activa del Caribe, Cuba y Antillas y la segunda, en la mitad oriental del Atlántico que se extiende a través de la fractura Azores-Gibraltar en dirección a la Península Ibérica, y teniendo especial interés la parte suroeste del Cabo de San Vicente. Esta segunda es la más importante y en ella se han localizado las fuentes de importantes maremotos que han afectado a las costas de la Península Ibérica.

En general la fuente tsunamigénica de la vertiente Atlántica (Gorridge), afecta principalmente a la costa sur-occidental española, y una franja situada al norte del Banco de Gorringe.

Los *tsunamis* generados en esta zona del Atlántico, aunque no son frecuentes, al menos si han demostrado ser desastrosos. Una importante recopilación de *tsunamis* históricos ocurridos en las costas europeas ha sido llevada a cabo en el Nuevo Catálogo de Tsunamis Europeos, dentro del marco del GTECTWO (1996-98). En estos proyectos el Instituto Geográfico Nacional (IGN) participó recopilando eventos de *tsunamis* que afectaron las costas españolas, y el cual incluye eventos desde el 60 A.C.(Figura 1). El catálogo recoge *tsunamis* muy destructivos en el 26.01.1531, el 27.12.1722 y el *tsunami* regional de Lisboa de 1.11.1755 el cual causó severos daños, con un alto número de pérdidas de vidas humanas a lo largo de la península Ibérica y costa de Marruecos. Por otro lado, anti-

(\*) Instituto Geográfico Nacional. C/ General Ibáñez Ibero 3.28003Madrid. Echerrero@fomento.es.

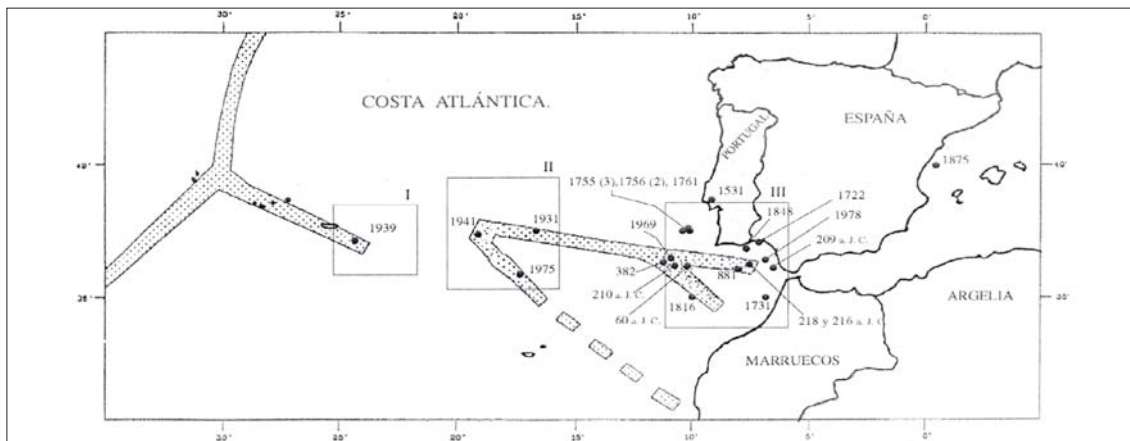


Fig. 1. Las franjas representan las zonas potencialmente generadoras de tsunamis. Se indican en el dibujo los focos de los tsunamis más importantes generados en la zona. Los puntos indican el epicentro aproximado de los eventos que han generado tsunamis junto con el año de ocurrencia. Las zonas marcadas como I, II y III representan las zonas activas de menor a mayor importancia. (Univ. de Cantabria, 1997)

guos documentos escritos, hacen referencia a eventos anteriores al siglo XIV, siendo todavía necesaria una labor investigadora para determinar las fuentes de generación. Datos a partir de estudios de sedimentos muestran otros eventos, y en particular la ocurrencia de un *tsunami* de gran magnitud en el 300 A.C. que afectó de forma importante a la zona del Golfo de Cádiz.

#### Zona correspondiente a la vertiente Mediterránea

Relacionada con el contacto de placas Africana y Euroasiática. Presenta una zona de moderada sismicidad que es el Mar de Alborán y la costa Norte-Africana de elevada actividad (Figura 2). Fuente también generadora de tsunamis en el Mediterráneo es la costa de Argelia, concretamente las proximidades de las ciudades de Argel y Boumerdes.

Los *tsunamis* que afectan el litoral mediterráneo español, son en general de origen cercano (norte de África y Mar de Alborán), éstos aunque cuentan con una mayor probabilidad de ocurrencia comparados con los generados en el Atlántico, no se clasifican como desastrosos. Sin embargo, entre otros, generan problemas de operación en algunas zonas

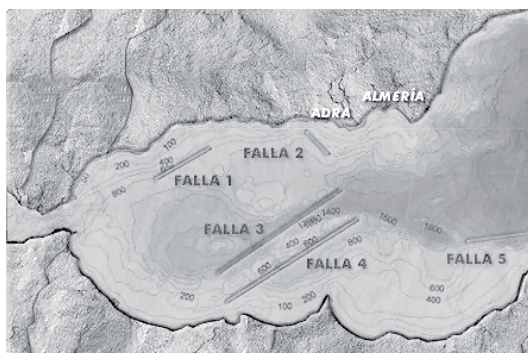


Fig. 2. Principales fallas potencialmente generadoras de tsunamis en el mar de Alborán. (González y Medina, 1998).

portuarias, incrementando el riesgo de contaminación ambiental como es el caso de las terminales petroleras y de carburantes. A esto hay que añadir la inundación de zonas bajas del litoral, como son las zonas de playas, donde se pueden generar elevaciones del nivel del mar y sistemas de corrientes peligrosas para los bañistas.

#### TIEMPOS DE LLEGADA Y PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE TSUNAMIS EN EL LITORAL ESPAÑOL

El estudio de los *tsunamis* que han afectado a las costas españolas hasta ahora, muestran un tiempo de llegada de la ola que se aproxima a los 60 minutos para el caso de fuentes tsunamigénicas de Gorridge (tsunami de 1755) y para sismos como el de Argelia de mayo de 2003, de aproximadamente, 45 minutos. El tiempo sería sensiblemente menor para posibles fuentes del mar de Alborán. En cualquier caso, el tiempo podría ser suficiente para, al menos, tomar alguna medida preventiva o de alerta, en algunos casos (playas, puertos, interrupción de operaciones peligrosas). De ello se deduce el posible interés y utilidad que puede tener la búsqueda de una alerta de *tsunami*.

De acuerdo con el catálogo Nacional de Riesgos Geológicos (I.T.G.E. 1988), las comunidades que presentan la mayoría de los registros por riesgo de maremotos son, Andalucía (70%) y Galicia (14,8%). Se observa la existencia de tres zonas dentro de las costas peninsulares, tanto españolas como portuguesas, con distinta probabilidad de verse afectadas por algún *tsunami*, y cuyas fuentes se encuentran localizadas, fundamentalmente, en el interior de la extensa región sísmica que se extiende desde la Azores hasta Gibraltar y su prolongación en el Mediterráneo. Estas zonas son de mayor a menor importancia, el Estrecho de Gibraltar en el ángulo suroeste peninsular, la costa atlántica desde Lisboa hasta el Estrecho y finalmente, el sudeste y sur mediterráneo.

En cuanto a la frecuencia de ocurrencia, una primera aproximación en la costa atlántica es estudiar la ocurrencia de grandes terremotos en la margen Ibérica SW, y convertir períodos de recurrencia de grandes terremotos en períodos de recurrencia de tsunamis, bajo esta hipótesis, se obtendría una frecuencia de 8 tsunamis cada 450 años, con magnitud de terremoto de 8. Respecto a la zona mediterránea (mar de Alborán), hay estudios que proponen como frecuencia media de ocurrencia en dicha zona, la de un tsunami de baja intensidad cada 25 años.

### EFFECTOS DESTRUCTIVOS EN LA COSTA

Cuando un *tsunami* inunda la costa con gran velocidad, los efectos destructivos en tierra firme se deben a los siguientes factores:

- 1.- Efectos hidrostáticos que provocan el levantamiento y arrastre de algunas estructuras ligeras (tejados, puentes de madera)
- 2.- Efectos hidrodinámicos del agua que causan la destrucción de edificios, arrastre de tierras, vegetación, automóviles, barcos, etc.).
- 3.- Fuerzas de impacto debido a la onda líder del *tsunami*, la cual presenta una forma de cuña alargada y su fuerza por inundación se incrementa gradualmente sobre la estructura.
- 4.- Fuerzas de impacto causadas por edificios, botes, vehículos, tanques de combustible, árboles, o cualquier elemento arrastrado por el agua.

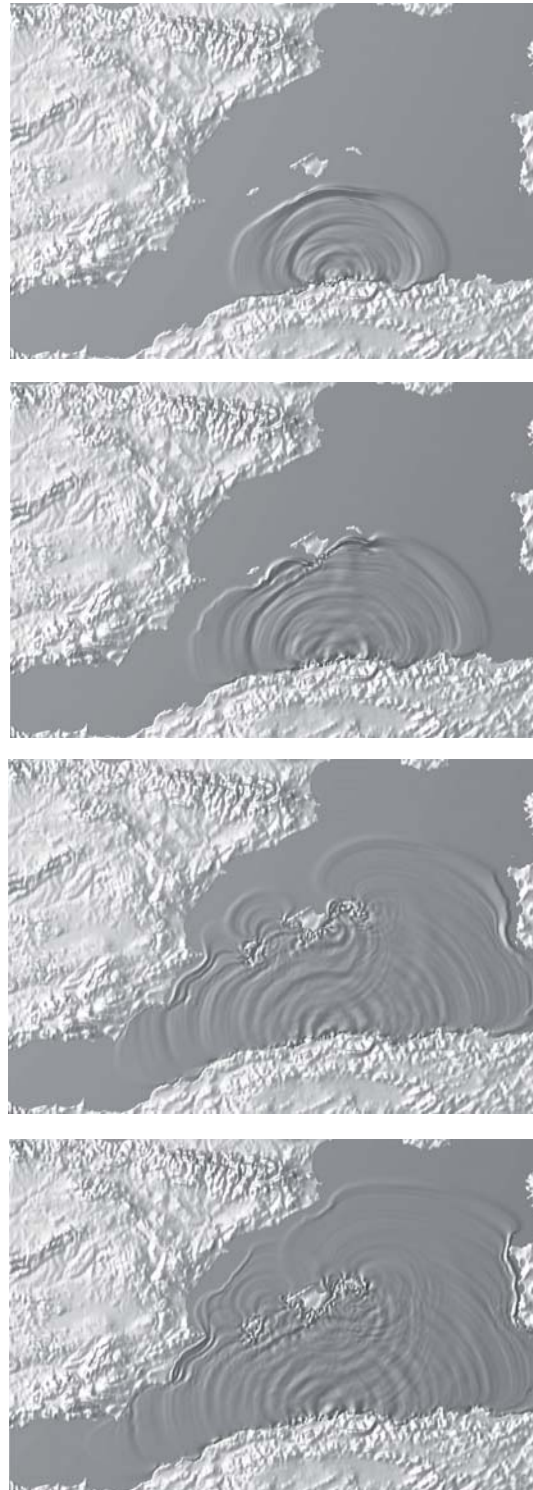
Con ensayos realizados a pequeña escala, la extensión de la zona inundada puede disminuir entre un 20% a un 30% cuando hay transporte de material no consolidado. La mayor parte de los estudios realizados en Japón y Hawai, muestran que los edificios sufren daños parciales cuando el nivel del agua alcanza 1 metro. Con un nivel de agua entre 1 y 2 metros, los edificios de madera que no están firmemente anclados a sus cimientos, comienzan a flotar. Con un nivel de 2 o más metros, la planta baja es arrastrada por el agua y se derrumba el piso superior.

### LA SIMULACION DE EVENTOS DE *TSUNAMIS*

Una de las fases necesarias para establecer una alerta de *tsunamis*, y en algunos países la única, consiste en la simulación numérica del fenómeno. Es necesario conocer las fuentes potencialmente generadoras del *tsunami*, tanto en localización, profundidad como en tipo de mecanismo focal, para después, con conocimiento de la batimetría, morfología costera y con varios patrones de dirección, hacer una estimación de la altura de ola en diversos puntos costeros. Para esto se requiere por tanto en el caso español:

- Determinar potenciales fuentes de generación de *tsunamis* que puedan afectar las costas españolas.
- Caracterizar los posibles mecanismos focales de generación.
- Determinar los posibles eventos de simulación.
- Simular numéricamente estos eventos.
- Generar una base de datos con los resultados de las simulaciones.

A este respecto hay que citar que organismos en nuestro país, como el Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria, cuentan con los modelos y experiencia necesaria para la generación de ésta base de datos. Un ejemplo que podemos ver representado en las imágenes siguientes es el correspondiente a la simulación del *tsunami* de 21 de mayo de 2003, que afectó a las costas de las Islas Baleares. (Figuras 3,4,5,6)



Figuras 3,4,5,6

Otro tipo de estudios es el de simulación de escenarios del impacto de *tsunamis* en una costa y que puede acometerse desde el punto de vista del riesgo, es decir, teniendo en cuenta la peligrosidad, la vulnerabilidad y el valor económico de lo expuesto. Un ejemplo de ello es el trabajo realizado en el Instituto Geográfico Nacional sobre el impacto de un *tsunami* de las características del ocurrido el 1 de noviembre de 1755 sobre gran parte de Huelva.

El se ha llevado a cabo a partir de los fondos documentales del Instituto Geográfico Nacional (IGN), y de resultados de los estudios sobre *tsunamis* realizados por el propio centro dentro de proyectos internacionales en los que ha participado. Se ha realizado mediante una recopilación de datos de Internet, trabajos de tele-detección, el uso de modelos digitales del terreno del IGN y la colaboración en los aspectos económicos, del Consorcio de Compensación de Seguros.

La valoración de los posibles daños se ha efectuado en forma económica para aquellos elementos de los que se dispone de información en 2000. Para aquellos otros de los que no se dispone de esa información, solamente se ha evaluado la superficie afectada o las unidades de diversa índole que podrían sufrir daño y su gravedad.

En el estudio, se ha llevado a cabo una evaluación de los posibles daños que produciría un *tsunami* de características similares al ocurrido en 1755, como consecuencia del llamado sismo de Lisboa, sobre la costa occidental de la provincia de Huelva. El área considerada en este trabajo comprende, desde la frontera con Portugal, hasta la propia ciudad de Huelva, con una longitud de costa aproximada de 50 km.

De los datos históricos sobre el terremoto de 1755, se deduce una altura de ola de 12 metros para la ciudad de Cádiz. Estudios de modelización recientes (GITEC TWO, 1999), dan como resultado para esta ciudad una altura máxima de ola de 6 metros, valor que coincide con la única reseña existente en la ciudad y que corresponde a la curva de nivel de 6 metros. Ahora bien, estos últimos estudios suponen el hipocentro del terremoto en el Banco de Gorrige con lo que tienen en cuenta una determinada batimetría local. El foco del terremoto está recientemente cuestionado y diversos autores (Baptista *et al.*, 1998; Zitellini *et al.* 1999) lo sitúan en un lugar más próximo a la costa portuguesa. Siendo conservadores en este estudio, se ha considerado una altura de ola de 10 metros aplicando este valor a la provincia de Huelva, donde no existen datos precisos al respecto.

Posteriormente y una vez delimitados los tres tipos de zonas, mediante sus curvas de nivel correspondientes, estas se han georeferenciado con el mapa de usos de suelo, Corine (Corine, 1991) donde cada polígono figura con un color representando un tipo de uso de suelo diferente. Con este procedimiento se obtiene un gran número de polígonos para cada zona comprendida entre las anteriores alturas, de los que se determinó su superficie, obteniendo así la superficie de cada tipo de uso de suelo en cada zona de inundación y, dependiendo de su altitud, darle una ponderación.

Se presentan aquí las figuras correspondientes al mapa Corine de usos del suelo y el mapa resultante de la simulación de la inundación.

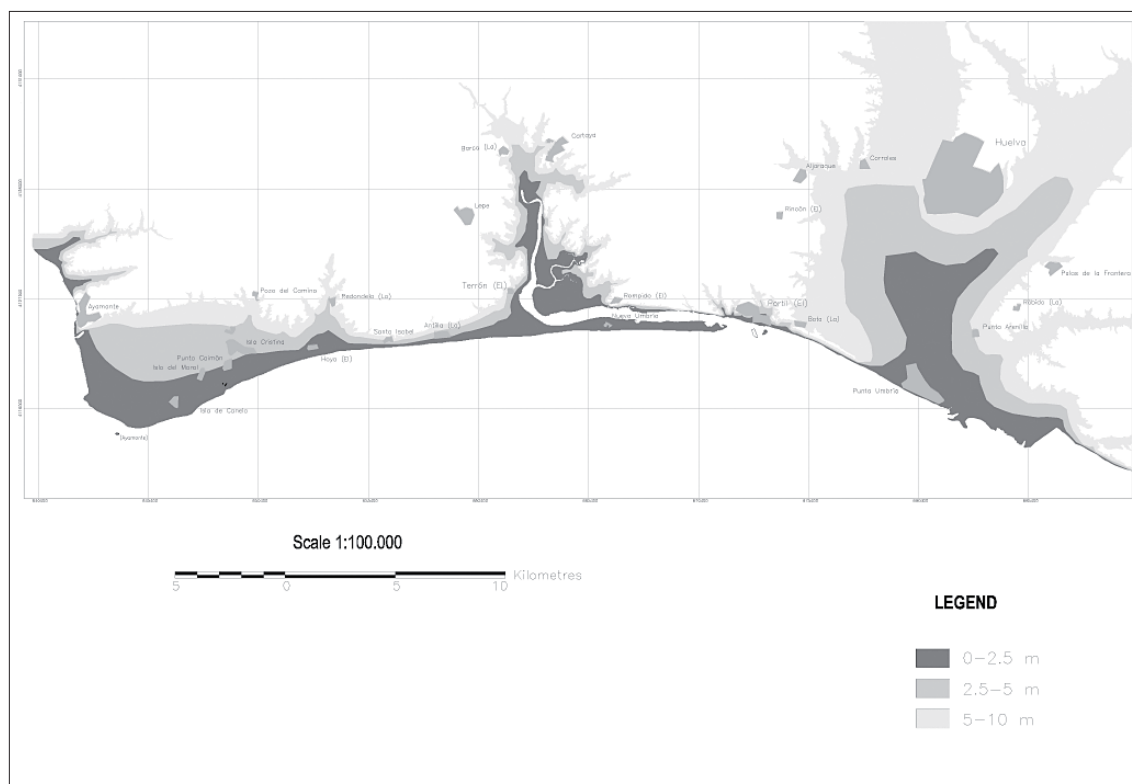


Fig. 7. Riesgo de Tsunami en la costa oeste de la provincia de Huelva. Mapa de zonas inundables.

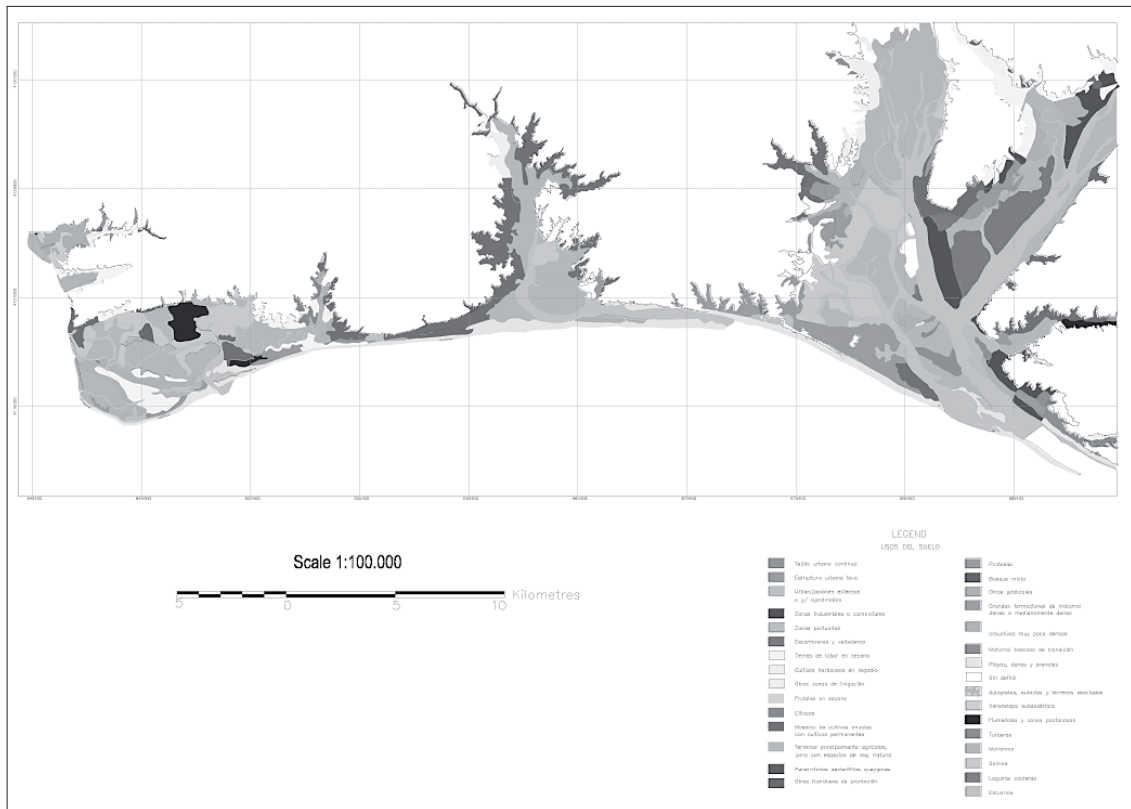


Fig. 8. Riesgo de Tsunami en la costa oeste de la provincia de Huelva. Mapa de usos del suelo.

## CONCLUSIONES

La mayor catástrofe natural que ha sufrido España ha sido el *tsunami* generado por el sismo de 1 de noviembre de 1755. La zona donde se generó este *tsunami* sigue siendo sísmicamente activa y aunque presente aparentemente periodos de recurrencia de 450 años, no deja de ser una zona potencialmente muy peligrosa en este sentido. Cabe esperar también *tsunamis* en el Mediterráneo, de menor intensidad, pero probablemente con fuentes generadoras en la costa de Argelia. A pesar de que las simulaciones del impacto del *tsunami* en España muestran un daño potencial enorme, no existe de momento ninguna institución encargada de la vigilancia y alerta de *tsunamis*, ni la infraestructura necesaria y coordinada para la alerta.

## BIBLIOGRAFÍA

Baptista, M.A., Miranda, D.M.A., Miranda, J.M. y L. Mendes Victor (1998). *Constraints on the source of the*

*1755 Lisbon tsunami inferred from numerical modelling of historical data on the source of the 1755 Lisbon earthquake*. J.Geodynamics vol. 25. N° 2 pp.159-174.

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

Corine (1991): *Base de Datos*. Agencia Europea de Medio Ambiente/Instituto Geográfico Nacional

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

González, M y R. Medina (1998). Probabilistic model for Tsunami-Wave Elevation Along the Alborán Sea. Proc. 26<sup>th</sup>. Int. Coastal Eng. Conference. ASCE. (pp.1168-1181)

Universidad de Cantabria (1997). Estudio de Riesgo por Inundación y Evaluación de Daños por Acción de Maremotos en el Litoral Sureste Español (Mar de Alborán). Estudio para el Ministerio de Medio Ambiente.

Zitellini, N., Chierici, F., Sartoni, R. Y L. Torelli (1999). *The tectonic source of the and the 1755 Lisbon earthquake and tsunami*. Annali di Geofisica, Vol. 42. N° 1. Pp. 49-54. ■