

# Aplicación de la Directiva de Inundaciones en las zonas costeras



## Mª Dolores Ortiz Sánchez

Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos.  
Subdirectora General Adjunta. Subdirección  
General para la Protección de la Costa.  
Ministerio de Agricultura, Alimentación y  
Medio Ambiente

### Resumen

La Comisión Europea aprobó la Directiva 2007/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación. Tiene como objetivo generar nuevos instrumentos a nivel comunitario para reducir las posibles consecuencias de las inundaciones mediante la gestión del riesgo, apoyada en cartografía de peligrosidad y de riesgo. Para la implantación de la segunda fase de la Directiva en la costa española se va a utilizar una novedosa metodología generada a partir de un trabajo de I+D+i para la Oficina Española de Cambio Climático.

### Palabras clave

Inundación, oleaje, cambio climático, riesgos, peligrosidad, directiva

### Abstract

*The European Commission passed Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks, with the objective of establishing new instruments at a community level to reduce the potential consequences of floods through flood risk management, based on flood hazard maps and flood risk maps. In order to implement the second stage of this Directive on the Spanish coastline, an innovative method shall be employed based on R&D work conducted for the Spanish Office of Climate Change.*

### Keywords

*Floods, waves, climate change, risks, hazards, directive*

Las inundaciones constituyen el fenómeno natural que mayor incidencia tiene en la sociedad española. Según los datos del Consorcio de Compensación de Seguros y el Instituto Geológico y Minero de España, en nuestro país, los daños por inundaciones se estiman en total en una media en 800 millones de euros anuales. Las estadísticas del Consorcio para el período 1971-2009 revelan que el 62,80 % de la siniestralidad total corresponden a inundaciones, seguido de un 19,29 % a tempestades ciclónicas y un 7,44 % al terrorismo (Fig. 1).



Fig. 1. Ejemplos de inundaciones

Las competencias en gestión y defensa frente a los efectos adversos de las inundaciones afectan a todas las administraciones, desde la Local en las labores de planeamiento urbanístico y protección civil, la Autonómica, en material de ordenación del territorio, protección civil y gestión del dominio público hidráulico en las cuencas intracomunitarias y la Estatal, en relación con protección civil, la gestión del dominio público hidráulico en las cuencas intercomunitarias y la gestión del dominio público marítimo terrestre en las inundaciones causadas en las zonas de transición y las debidas a la elevación del nivel del mar (Fig. 2).

La Comisión Europea aprobó la Directiva 2007/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación (en adelante, Directiva de inundaciones), cuya transposición al ordenamiento jurídico español es el objeto del Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación, publicado en el BOE N<sup>º</sup> 171, de 15 de julio de 2010, que tiene como objetivo generar nuevos instrumentos a nivel comunitario para reducir las posibles consecuencias de las inundaciones mediante la

gestión del riesgo, apoyada en cartografía de peligrosidad y de riesgo.

La implantación de esta Directiva supone una oportunidad para mejorar la coordinación de todas las administraciones a la hora de reducir estos daños, centrándose fundamentalmente en las zonas con mayor riesgo de inundación, llamadas Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs).

El enfoque tradicional al abordar este riesgo ha sido el de plantear soluciones estructurales (construcción de presas, encauzamientos, motas de defensa, etc.). Sin embargo, éstas medidas han resultado, en determinados casos, insuficientes además de producir impactos ambientales significativos. Por ello, de acuerdo con lo establecido en la Directiva, resulta necesario profundizar aún más en las medidas de gestión del riesgo y la ordenación del territorio como instrumentos fundamentales.

La implantación de la Directiva prevé tres fases, una primera consiste en la elaboración de evaluación preliminar de los riesgos de inundación (EPRI) con la definición de las



Fig. 2. Ejemplo de inundación por oleaje



Fig. 3. Visor de cartografías de zonas inundables del MAGRAMA

áreas previsible con riesgo de inundación (APRSI's). Esta primera fase se acabó siguiendo lo indicado en la Directiva de Inundaciones en marzo del pasado año y se elevó a la Comisión Europea. Los resultados de esta primera fase se pueden consultar en la página web del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en el Sistema Nacional de cartografías de Zonas Inundables (<http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/snczi/>).

El eje central del SNCZI es el visor cartográfico de zonas inundables, que permite a todos los interesados visualizar los estudios de delimitación del Dominio Público Hidráulico (DPH) y los estudios de cartografía de zonas inundables,

elaborados por el Ministerio y aquellos que han aportado las Comunidades Autónomas.

El visor sirve de ayuda a los organismos de cuenca en la emisión de informes sobre autorizaciones en el Dominio Público Hidráulico y zona de policía, en la gestión de avenidas en conexión con el S.A.I.H. (Sistema Automático de Información Hidrológica) y en la planificación de las actuaciones de defensa frente a inundaciones; agiliza la planificación y gestión de inundaciones por los servicios de Protección Civil; facilita la transmisión de información sobre zonas inundables a las administraciones competentes en planificación territorial y empresas promotoras; y permite a los ciudadanos conocer la peligrosidad de una zona determinada (Fig. 3).

La segunda fase, que consiste en la elaboración de los mapas de peligrosidad y riesgo de cada una de las APRSI's definidas en la primera fase, tiene como fecha de entrega a la Comisión Europea diciembre de 2013. Para la elaboración de esta segunda fase la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar lanzó la licitación de un Contrato de servicios por un importe de 1.702.060,15 € a finales del año pasado. Durante este año se tiene previsto elaborar los mapas de peligrosidad y riesgo de inundación por oleaje y elevarlos a la Comisión Europea a finales de año, tal y como se indica en la Directiva. La tercera fase consiste en el desarrollo de los Planes de Gestión y tienen como fecha límite de entrega diciembre de 2015. Para esta tercera fase se está trabajando en la elaboración de los pliegos para la contratación de estos trabajos (Fig. 4).

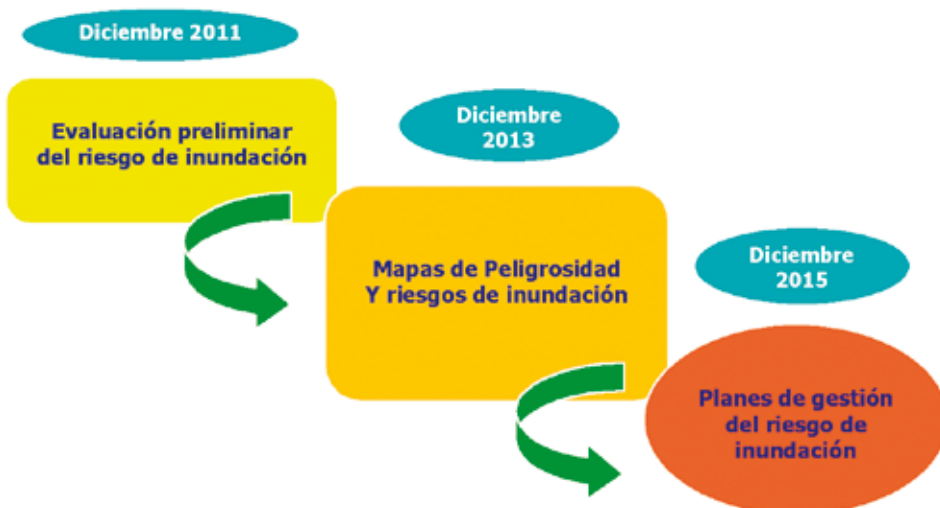


Fig. 4. Calendario de implantación de la Directiva de Inundaciones

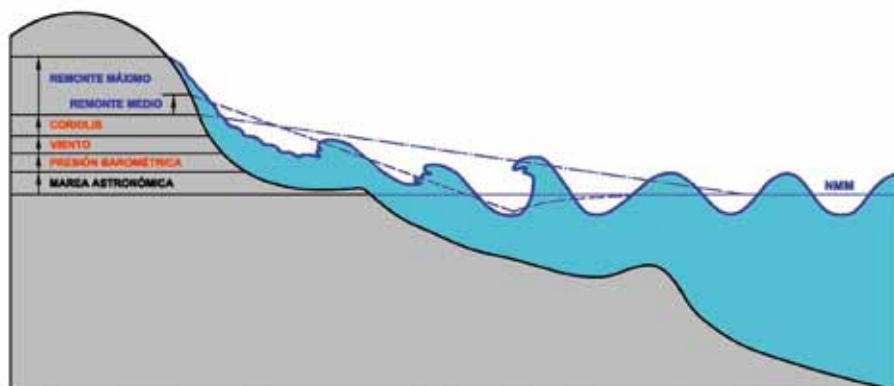


Fig. 5. Sobreelevaciones que determinan el nivel de inundación en la costa

La primera fase, la elaboración de las áreas previsible con riesgo de inundación fue desarrollada para el Ministerio por el Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPyC) del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

Para ello, en primer lugar se analizó la información histórica sobre inundaciones costeras. Se constató que esta información es escasa y se refiere sobre todo a inundaciones por desbordamientos del tramo final de ríos por lluvias intensas en zonas llanas con poca capacidad de desagüe, no a inundaciones de origen marítimo.

Por otra parte, la aplicación de métodos geomorfológicos para identificar indicios de inundaciones pasadas en zonas costeras resulta poco eficaz porque, si la costa es elevada, no se han producido inundaciones, y si la costa es baja, el intenso desarrollo urbanístico y las numerosas regeneraciones de playas que se han llevado a cabo durante las últimas décadas han hecho que, por un lado, hayan desaparecido dichos indicios y, por otro, que la topografía y las características hidráulicas (permeabilidad, rugosidad y pendiente) del terreno se hayan modificado sustancialmente.

En consecuencia, la Evaluación Preliminar de los Riesgos de Inundación en las zonas costeras se ha hecho fundamentalmente comparando los niveles del mar excepcionalmente elevados (periodo de retorno de 500 años) con las cotas actuales del terreno.

Las causas principales de la inundación marítima son por un lado la marea astronómica, la marea meteorológica, el oleaje y el *run-up* (Fig. 5).

La marea astronómica se produce por la atracción que ejercen los astros (fundamentalmente la Luna, porque está cerca, y el Sol, porque tiene una gran masa) sobre los océanos. El efecto combinado de esta atracción con la rotación de la Tierra hace que en latitudes medias como las de España se manifieste como una sucesión de oscilaciones del nivel del mar con un máximo (pleamar) y un mínimo (bajamar) en cada ciclo. El periodo medio de oscilación es de aproximadamente doce horas y media. La carrera de marea (diferencia de cotas entre una pleamar y una bajamar sucesivas) en una localización determinada es mayor cuando los tres astros están alineados (Luna Nueva y Luna Llena), lo que se denomina marea viva. En la costa atlántica las mareas vivas son del orden de 3,5 metros, con pequeñas variaciones locales que dependen de la forma de la costa. En el Mediterráneo, sin embargo, son del orden de 0,3 metros. La diferencia se debe a que en la costa Atlántica se acumula el efecto que la fuerza atractiva va ejerciendo a lo largo de todo el océano atlántico, mientras que en el Mediterráneo, esta acumulación se nota poco por el tamaño relativamente pequeño de su cuenca.

La marea meteorológica se produce porque en el mar existe una diferencia de presión barométrica, se produce una fuerza que tiene a mover la masa de agua desde el punto de mayor presión hasta el de menor presión hasta que el desnivel compensa la diferencia de presión ejercida por la atmósfera. El resultado es que las depresiones barométricas producen una sobreelevación del nivel del mar de una magnitud que es aproximadamente igual a 1 cm por cada hectopascal.

Además se han considerado el viento de mar hacia tierra y el efecto Coriolis. Pero sin duda el elemento que puede causar las mayores inundaciones es el oleaje.

La presencia del oleaje representa un flujo de energía que se dirige hacia la costa, cuando esta es abrupta y el mar tiene suficiente calado, las olas se reflejan sin romper pero su amplitud se duplica. En caso contrario, las olas rompen y tras la rotura, la lámina de agua que posee una cierta energía cinética, se desplaza sobre la playa hasta alcanzar un nivel máximo. La cota del nivel máximo que alcanza la lámina de agua para una ola determinada tomando como referencia el nivel medio del mar se llama remonte (*run-up*) y varía de forma aleatoria. Para el estudio de las zonas inundables se han considerado las expresiones de *run-up* de Guza y Thornton.

Otros efectos que se pueden considerar causas de sobreelevación son los tsunamis y los efectos locales en las desembocaduras de ríos y estuarios. Con respecto a los tsunamis, están registrados decenas de ellos que han afectado a algún punto del territorio español durante los últimos 200 años, lo que da un período de retorno inferior a 500 años si se toma como unidad geográfica de referencia el país en su conjunto. Sin embargo, la probabilidad de que un punto determinado cualquiera del país sea inundado por efecto de un tsunami es muy inferior (período de retorno superior a 500 años), por lo que no se ha tenido en cuenta esta causa de sobreelevación. Los efectos locales de desembocadura se consideran al estudiar las inundaciones

fluviales suponiendo como condición de contorno un nivel del mar sobreelevado.

Los datos utilizados en esta primera fase para caracterizar la dinámica litoral de toda la costa española se han obtenido de la página web de puertos del Estado, en donde se puede encontrar datos de oleaje, mareas, etc. ([http://www.puertos.es/oceanografia\\_y\\_meteorologia/redes\\_de\\_medida/index.html](http://www.puertos.es/oceanografia_y_meteorologia/redes_de_medida/index.html)).

Como base de trabajo se ha utilizado un Modelo Digital del Terreno (MDT) proporcionado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Se delimitaron zonas de inundación por oleaje y zonas de inundación por marea para un periodo de retorno de 500 años para el 2012. Como resultado final después de un análisis en GIS se obtuvieron una capa de zonas potencialmente inundables por marea y otra de zonas potencialmente inundables por oleaje. Finalmente la ARPSI's se definieron en gráficos como el de la figura 6.

La segunda fase consiste como se ha comentado anteriormente en la elaboración de los mapas de peligrosidad y riesgo de las áreas que han sido definidas como APRSI's.



Fig. 6. Ejemplo de ARPSI's

En este sentido, la Directiva Europea exige que el contenido mínimo de los mapas de peligrosidad sea:

- a) Extensión previsible de la inundación y calados del agua o nivel de agua, según proceda.
- b) En aquellos casos en que se considere necesario, se podrá incluir también información adicional relevante como los caudales y/o velocidades máximas alcanzadas por la corriente en la zona inundable.
- c) En las inundaciones causadas por las aguas costeras y de transición se reflejará el régimen de oleaje y de mareas, así como las zonas sometidas a procesos erosivos y las

tendencias en la subida del nivel medio del mar como consecuencia del cambio climático.

Y el contenido de los mapas de riesgo:

- a) Número indicativo de habitantes afectados.
- b) Tipo de actividad económica que puede verse afectada.
- c) Instalaciones industriales a que se refiere el anejo I de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de Prevención y Control Integrado de la Contaminación que puedan ocasionar contaminación accidental en caso de inundación así como las estaciones depuradoras de aguas residuales.

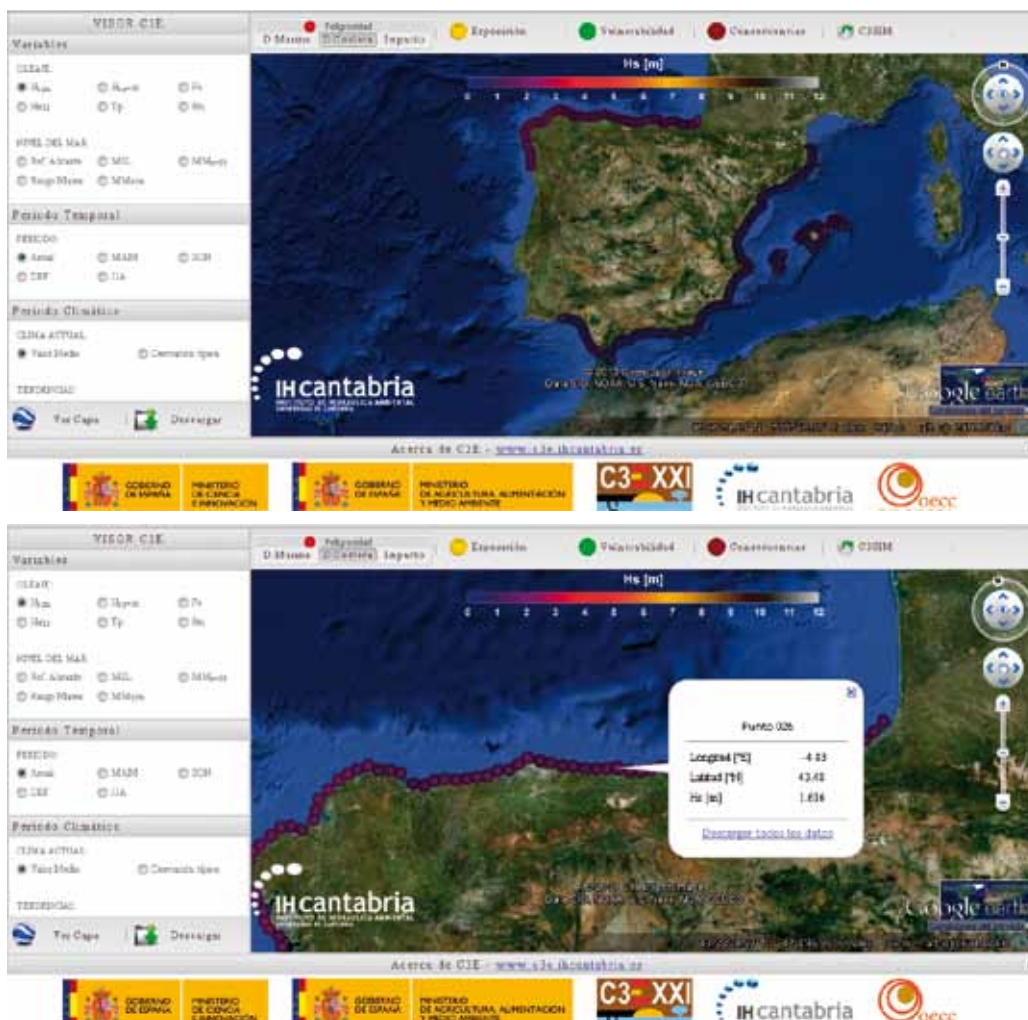


Fig. 7. Vista principal del visor C3E

Fig. 8. Selección de un punto en el visor C3E

Fig. 9. Tabla de datos descargados del visor C3E

d) Zonas protegidas para la captación de aguas destinadas al consumo humano, masas de agua de uso recreativo y zonas para la protección de hábitats o especies que pueden resultar afectadas.

e) Cualquier otra información que se considere útil, como la indicación de zonas en las que puedan producirse inundaciones con alto contenido de sedimentos transportados y flujos de derrubios e información sobre otras fuentes importantes de contaminación, pudiendo también analizarse la infraestructura viaria o de otro tipo que pueda verse afectada por la inundación.

Para poder definir con suficiente detalle estos mapas de peligrosidad y riesgo, se requiere de la realización de rigurosos estudios y modelados matemáticos, así como de la disponibilidad de extensas y fiables bases de datos referentes a las variables atmosféricas que generan esas inundaciones.

En este sentido, y en el marco de un proyecto del Plan Nacional de I+D+i (2008-2011) denominado “Cambio Climático en la Costa Española, C3E N° Ref: 20080050084091”, realizado por el Instituto de Hidráulica Ambiental y financiado por la Secretaría de Estado de Cambio Climático del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente; se ha elaborado una extensa base de datos de variables meteo-oceánicas a lo largo de toda la costa española. En concreto se han obtenido los datos de clima marítimo, oleaje, marea astronómica, meteorológica y *run-up* a lo largo del litoral español cada 200 m.

Esto supone una revolución en cuanto a la información oceanográfica disponible en nuestro país y de forma totalmente gratuita. Para obtener esta información tan solo hay que acceder al visor C3E a través de la siguiente página: [www.c3e.ihcantabria.com](http://www.c3e.ihcantabria.com) (Figs. 7 y 8).

Todos los datos se pueden descargar y son de acceso público. El visor no solo analiza las variables oceanográficas, sino también analiza la vulnerabilidad de la costa frente a las acciones de cambio climático, exposición e incluso hay un simulador el C3SIM que analiza los efectos en la costa derivados de las acciones de cambio climático (Fig. 9).

Si bien esta herramienta fue desarrollada para otro fin, tal y como se ha expuesto, y dentro de un trabajo de I+D+i para Cambio Climático, su adaptación para su uso en el caso de inundación costera permite, no solo un gran ahorro en lo que se refiere a los trabajos de estudios y modelado matemático requeridos para dar cumplimiento a las exigencias de la Directiva de Inundaciones, sino también un alto grado de precisión en la evaluación de los riesgos asociados a las inundaciones difícilmente obtenibles de otra manera. Todo esto redundará en un gran ahorro económico para la Administración lo cual supone un gran beneficio tanto para las administraciones públicas como para la sociedad en general.

Partiendo de esta información, se ha desarrollado una metodología y herramientas que permiten elaborar los mapas de peligrosidad y riesgo de inundación, de forma eficiente y con suficiente precisión a lo largo del litoral español, fun-



**Fig. 10. Ejemplo de Mapa de Peligrosidad en la Bahía de Santander**

damentalmente gracias a la combinación de los siguientes cuatro aspectos:

1- La base de datos Downscaled Ocean Waves, DOW (Camus et al., 2013), generada en el marco del proyecto C3E, permite caracterizar correctamente el oleaje en el litoral español con una resolución espacial de al menos 200 m. DOW es una base de datos de oleaje con resolución temporal horaria, homogénea y continua de más de 60 años de duración, calibrada, propagada y validada con información instrumental de boyas y satélites.

2- El modelo numérico bidimensional IH-2VOF, que resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes, es uno de los más avanzados en su clase, debido fundamentalmente a su versatilidad, robustez y su extensa validación tanto para el cálculo de la estabilidad y funcionalidad de todo tipo estructuras costeras, como para reproducir la hidrodinámica en la zona de rompientes (Torres-Freyermuth et al., 2007). Debido a esto, se utiliza para simular los procesos de inundación costeros.

3- La gran cantidad de información utilizada se administra mediante técnicas estadísticas de clasificación y selección de variables de alta dimensionalidad (Camus et al., 2011), de forma que se elige el número óptimo de estados de mar y perfiles del terreno representativos de todo el litoral español, para ser simulados numéricamente con el modelo IH-2VOF.

4- Se integra toda la información generada mediante Sistemas de Información Geográfica, creando mapas de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo de inundación. De esta forma se favorece la gestión coordinada de toda la información, por parte de las administraciones públicas y de la sociedad en general.

Cabe señalar que dicha metodología permite incorporar los efectos del cambio climático en las dinámicas actuantes, tanto del nivel del mar como del oleaje, así como la evolución de la línea de costa; lo que permite estimar la influencia de dichos cambios en los mapas de peligrosidad y de riesgo de inundación.

A modo de ejemplo, en la figura 10, se muestra un mapa de peligrosidad en la Bahía de Santander, señalando las zonas inundadas para distintitos periodos de retorno (10, 100 y 500 años).

Con la aplicación de esta novedosa metodología, se prevé que para finales de año se puedan tener definidos los mapas de peligrosidad y riesgo de toda la costa española y poder someterlos al trámite de información pública de tres meses que exige la Directiva Comunitaria. Superado el trámite de información Pública y con las correcciones que se consideren oportunas se elevarán los resultados a la Comisión Europea tratando por tanto de cumplir con los plazos de la Directiva. **ROP**