

## RIESGOS Y CUANTIFICACIÓN DE DAÑOS POR INUNDACIÓN

Alex Gracia, Lluís Godé, Eva Crego<sup>1</sup>, Miguel A. Arrabal<sup>2</sup>, Víctor Guirado<sup>3</sup>,  
Guillermo García<sup>4</sup>, Cristina Lobera, Sonsoles González, Elena Martínez<sup>5</sup>,

Palabras clave: **Daños, inundaciones, riesgo, peligrosidad, vulnerabilidad**

### 1.- RESUMEN

Un 15 % del territorio urbanizado de Cataluña se encuentra expuesto a riesgo de inundación, hecho agravado si se tiene en cuenta la alta densidad de infraestructuras y la elevada concentración de población –la segunda de España- en la zona costera y principalmente en el área metropolitana de Barcelona. Desde hace diez años la Agencia Catalana del Agua elabora estudios y planes, a distintas escalas y con diferentes objetivos, que conformaran la base para la elaboración de los *planes de gestión del riesgo* que deberán obligatoriamente llevarse a cabo de acuerdo con la normativa sectorial (Directivas 2000/60/CE y 2007/60/CE y sus correspondientes trasposiciones). Durante este período la metodología empleada ha ido evolucionando con la mejora de la información base, de los datos de inundabilidad y usos del suelo y de las herramientas informáticas optimizando la consecución de los objetivos previstos en relación a la evaluación y cuantificación del riesgo de inundación y el desarrollo de metodologías para el estudio coste beneficio de las medidas de mitigación. Los primeros pasos se invirtieron en definir los conceptos, formatos, delimitación y escalas de trabajo y en valorar la vulnerabilidad. Se clasificaron los elementos territoriales en función de su uso y de los problemas asociados que sufrirían en caso de inundación y en varios niveles: clase, subclase, tipo, subtipo, elemento, subelemento. Esto permite la reclasificación de la información disponible independientemente del nivel de agregación que tenga en origen y su homogenización dependiendo de la escala de trabajo que se desee. Los datos actualizados de usos del suelo se encuentran en formato ráster y vectorial con una resolución máxima de 0,05 ha. En cada elemento se valora por unidad de superficie el coste de estructura y de contenido. El grado de afección se puede cuantificar a partir de los cinco niveles de peligrosidad en los que se zonifica la zona inundable aplicando el peso 1 de destrucción total al valor de estructura y contenido. Estos pesos dependen del uso del suelo, ya que un mismo nivel de peligrosidad produce porcentajes de pérdidas distintos. La estimación de la pérdida de vidas humanas se ha determinado a partir de la densidad de población asignada a cada tipología de uso del suelo, la vulnerabilidad de las personas atendiendo a su movilidad o capacidad de respuesta, el grado de exposición y todo ello ponderado por coeficientes asociados a los distintos niveles de peligrosidad. El resultado de este cálculo se multiplica por un coste de indemnización legalmente previsto para la pérdida de vidas humanas. En resumen para obtener el ráster de costes el proceso es: determinación del nivel de la peligrosidad en la zona inundable, obtención de los elementos vulnerables a partir del mapa de cubiertas del suelo, definición el nivel deseado de análisis de estos datos, asignación de costes en función de la categoría del elemento, e intersección entre la cobertura de peligrosidad y la de cubiertas del suelo. De esta forma se obtiene un mapa continuo de daños potenciales. Esta información generada es la base que se utiliza en el análisis coste beneficio de las medidas para garantizar que esta base comparativa sea la misma.

---

<sup>1</sup> Jefe de la Unidad de Planificación del Espacio Fluvial, [agracia@gencat.cat](mailto:agracia@gencat.cat), Jefe del Dep. Planificación y Ordenación del Espacio Fluvial, [lxgode@gencat.cat](mailto:lxgode@gencat.cat), Técnica de la Unidad de Planificación del Espacio Fluvial, [ecrego@gencat.cat](mailto:ecrego@gencat.cat), Agencia Catalana del Agua, Barcelona, España

<sup>2</sup> Director de Proyectos, [marrabal@hqasl.com](mailto:marrabal@hqasl.com), HQA, Barcelona, España

<sup>3</sup> Jefe de Proyectos, KV Consultores, [vguirado@kvconsultores.es](mailto:vguirado@kvconsultores.es), Barcelona, España

<sup>4</sup> Director Técnico, MN Consultors, [ggarcia@mnconsultors.com](mailto:ggarcia@mnconsultors.com), Tarragona, España

<sup>5</sup> Ing. de Montes, [cristina.lobera@inclam.com](mailto:cristina.lobera@inclam.com), Jefe de Proyecto [sonsoles.gonzalez@inclam.com](mailto:sonsoles.gonzalez@inclam.com), Responsable del Área de Consultoría, [elena.martinez@inclam.com](mailto:elena.martinez@inclam.com), Inclam, Madrid, España

## 2.- INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL ESTUDIO

Las inundaciones en Cataluña suponen un problema social y económico por lo que la necesidad de convivir con los fenómenos de Gota Fría y flash flood habituales en esta zona ha hecho que las Administraciones competentes inviertan primero en soluciones estructurales y después, y de manera conjunta, en medidas de gestión que incluyen estudios de riesgos, zonificaciones, gestión de la emergencia, Sistemas de Alerta Temprana y revisión en la Ley del Suelo. En 2008, la Agencia Catalana del Agua emprende la elaboración del Plan de gestión específico de Prevención de Inundaciones con el objetivo en primera instancia de cumplir lo dispuesto en la Directiva 2000/60/CE (en adelante DMA) respecto a mitigación de los efectos de las inundaciones incluyendo dicho programa como uno más dentro del Plan de Distrito Fluvial, y en segunda de servir como documento base para elaboración del Plan de Gestión del Riesgo de Inundación que prevé la Directiva 2007/60/CE.

La elaboración de este primer Plan se cimentó con la base de la experiencia acumulada, tanto en conocimiento como en metodologías, fruto de la Planificación de los Espacios Fluviales de Cataluña (PEFCAT) donde la Agencia Catalana del Agua ha destinado un gran número de recursos en caracterizar, diagnosticar y elaborar propuestas de actuación destinadas a alcanzar el doble objetivo de reducir el riesgo de inundación y recuperar los espacios fluviales. Gracias a este plan se ha podido estudiar de forma holística la red fluvial principal de Cataluña obteniendo un inventario de zonas del territorio expuestas los efectos nocivos de una posible inundación. A estos ámbitos se les llama puntos singulares.

Dentro de las evoluciones metodológicas del programa PEFCAT, y siguiendo la línea de la Directiva 2007/60/CE se destaca el análisis de Riesgos y cuantificación del daño que se expone en esta comunicación.

El objeto de este trabajo ha sido analizar los daños ocasionados por una posible avenida realizando una evaluación del riesgo asociado a una inundación de forma objetiva. Así los objetivos parciales dentro del proceso son:

- Análisis de la peligrosidad integrando criterios de frecuencia, calado y velocidad en un solo ráster
- Clasificación de los elementos vulnerables o puntos singulares según la terminología PEFCAT. Obtención de un ráster en todo el territorio
- Valoración de los daños dependiendo del grado de afección de la inundación en cada elemento
- Cuantificación de los riesgos obteniendo un mapa de Euros/píxel

El interés de este estudio se apoya en la novedad de cuantificar los daños debidos a inundaciones de una manera global distribuida en todo el territorio mediante términos económicos que aportan un punto esencial en la toma de decisiones de planificación ya que facilita el análisis coste beneficio en toda la cuenca y podría participar como criterio de prioridad en la asignación de presupuestos para medidas de mitigación. El intento de incluir los costes ambientales y personales se hace cada vez más notable en la legislación y la planificación. El proceso contrario, aquel que estudia los problemas de forma discreta, analizándolos por separado, lleva consigo una pérdida de visión de conjunto y por consiguiente, de homogeneidad en los resultados.

El análisis económico del riesgo es relevante ya que aplica una metodología que aporta unos resultados que pueden intervenir en distintas fases de la elaboración del Plan de Gestión del Riesgo. En concreto según la Directiva 2007/60/CE “es conveniente reducir el riesgo de consecuencias negativas” entre ellas, la vida humana, la actividad económica y cultural y las infraestructuras asociadas. De la misma forma, se especifica que “las medidas dirigidas a reducir dichos riesgos, para ser efectivas, tienen que coordinarse en la medida de lo posible en toda una cuenca hidrográfica”. En el Capítulo IV de Planes de Gestión del Riesgo de Inundación

se puntualiza que los mismos deben tener en cuenta aspectos como la evaluación coste-beneficio, y es este motivo por el que se ha realizado el análisis de riesgos bajo una perspectiva económica..

### **3.- DATOS**

Los datos de partida son los siguientes:

- Ráster de calados y velocidades para los periodos de retorno de 10, 50, 100 y 500 años. Formatos estándar del programa PEFCAT, paso de malla 1m x 1m, derivado de la precisión en el modelo digital del terreno empleado para el cálculo hidráulico (LIDAR).
- Mapa de cubiertas. Los datos actualizados de usos del suelo se encuentran en formato ráster y vectorial con una resolución máxima de 0,05 ha
- Protocolos de la Agencia catalana del Agua (ACA)
  - Criterios para la evaluación del grado de afección de los puntos singulares. En este protocolo se incluye una primera metodología para el análisis de la peligrosidad y una valoración de los puntos singulares mediante la asignación de una puntuación.
  - Repercusión de costes en el Espacio Fluvial . La ACA elaboró en julio de 2008 el documento “Repercussió del costos dels espais fluvials” en el que se definen los criterios de análisis económico y la repercusión de los costes asociados a actuaciones en el espacio fluvial. El objetivo final de este documento es obtener un orden de magnitud económica que sirva de referencia de los costes y beneficios. La metodología de este documento ha sido modificada en función de nuevos datos y clasificaciones, pero ha servido para fijar los precios base en función de su carácter urbano, agrario o industrial.
- El Plan de Acción Territorial de Carácter Sectorial sobre prevención del Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana (PATRICOVA). Este Plan es uno de los instrumentos de ordenación del territorio previsto en la Ley 6/1989 de Ordenación del Territorio de la Comunidad Valenciana. Ha proporcionado información para la valoración de los elementos vulnerables y la asignación de daños según la peligrosidad de la avenida por la que son potencialmente afectados.
- Guía: Understanding your Risk. FEMA (Federal Emergency Management Agency, EEUU). Es una Guía para elaborar un Plan de Gestión del Riesgo. Se recopilaron datos sobre valor de ciertos usos de suelo como hospitales, colegios, teatros u valores de referencia.
- Criterios marcados por el Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra)

### **4.- PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS**

La metodología propuesta en este estudio sigue el siguiente esquema:

1. Determinación de la peligrosidad
2. Obtención de los elementos vulnerables a partir de los usos del suelo
3. Valoración unitaria de los elementos vulnerables
4. Valoración unitaria de daños
5. Cuantificación del daño por inundación según el grado de afección

#### **4.1. Determinación de la peligrosidad**

La peligrosidad relacionada con una inundación se determina teniendo en cuenta determinados criterios de la gravedad de las características del flujo en relación a la seguridad de las personas y los bienes materiales. Esta gravedad está directamente relacionada con la capacidad de empuje o arrastre que muestra el flujo, la cual se puede definir por el calado y la velocidad que presenta el agua en la zona inundada.

En función de estos dos parámetros -calado y velocidad- se determina la gravedad de la inundación que se está estudiando. A mayor calado y velocidad la gravedad aumenta. En este sentido la Agencia Catalana del Agua discrimina la gravedad de una posible inundación utilizando los criterios que se describen en la tabla 1 y cuyos rangos de aplicación se pueden observar en la figura 1.

Los criterios de clasificación de la gravedad no difieren de los utilizados habitualmente, a excepción del rango más alto el cual se ha subdividido en tres con la finalidad de evaluar de forma más apropiada los daños y las incertidumbres en el cálculo de los posibles efectos que puede ocasionar una inundación.

Gravedad	Descripción	Rango	Factor de Gravedad
Extrema	Zona donde las condiciones hidráulicas presentan un calado superior a 4 metros, una velocidad mayor que 6 m/s o el producto de ambas superior a 2 m <sup>2</sup> /s	$c > 4m$ $v > 6 \text{ m/s}$ $c \cdot v > 2m^2/s$	6.0
Muy alta	Zona donde las condiciones hidráulicas presentan un calado entre 2 y 4 metros, una velocidad entre 3,5 y 6 m/s o el producto de ambas superior a 1 m <sup>2</sup> /s	$2 < c < 4m$ $3,5 < v < 6 \text{ m/s}$ $1 < c \cdot v < 2m^2/s$	4.0
Alta	Zona donde las condiciones hidráulicas presentan un calado entre 1 y 2 metros, una velocidad entre 1 y 3,5 m/s o el producto de ambas superior a 0,5 m <sup>2</sup> /s	$1 < c < 2m$ $1 < v < 3,5 \text{ m/s}$ $0,5 < c \cdot v < 1m^2/s$	2.0
Moderada	Zona donde las condiciones hidráulicas presentan un calado superior a 0,4 metros, una velocidad mayor a 0,4 m/s y el producto de ambas superior a 0,08 m <sup>2</sup> /s	$0,4 < c < 1m$ $0,4 < v < 1 \text{ m/s}$ $0,08 < c \cdot v < 0,5m^2/s$	1.0
Baja	Zona donde las condiciones hidráulicas presentan un calado inferior a 0,4 metros, una velocidad menor a 0,4 m/s y el producto de ambas menor que 0,08 m <sup>2</sup> /s	$c \leq 0,4m$ $v \leq 0,4 \text{ m/s}$ $c \cdot v \leq 0,08m^2/s$	0.5

Tabla 1: Factor de Gravedad para el cálculo de la peligrosidad.

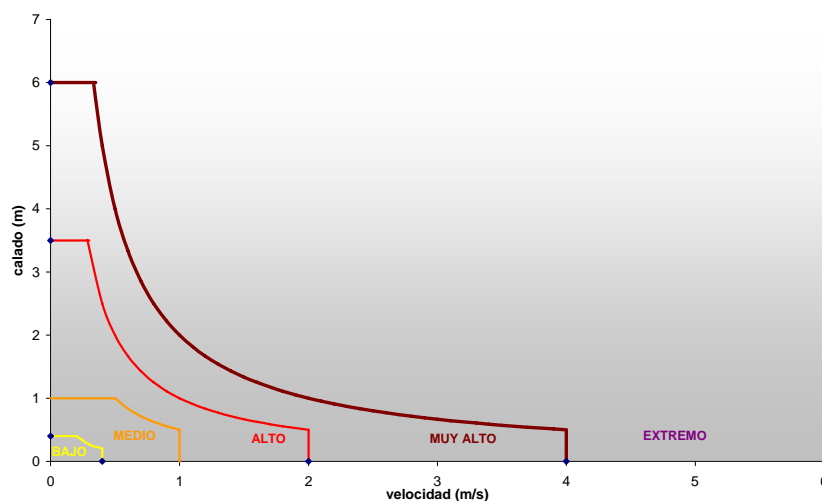


Figura 1: Factor de Gravedad para el cálculo de la peligrosidad.

Pero, para poder determinar la peligrosidad, al cálculo de gravedad de la inundación se le debe añadir la frecuencia en la que es probable que un evento de determinadas características en relación al calado y a la velocidad se pueda producir; por tanto, la peligrosidad viene fijada por la gravedad de una inundación y la probabilidad de que esta ocurra.

$$\text{PELIGROSIDAD} = f(\text{gravedad, probabilidad de ocurrencia})$$

En este sentido, la Agencia Catalana del Agua aplica los factores que se muestran en la tabla 2; los cuales multiplicados a la velocidad y a los calados correspondientes al período de retorno en cuestión, permiten ponderar la gravedad de la inundación en función de la probabilidad de ocurrencia. A estos valores ponderados se le aplica los criterios de clasificación de gravedad expuestos en la tabla 1.

Siglas	Nombre	Factor
T10	Período de retorno de 10 años	2
T50	Período de retorno de 50 años	1.5
T100	Período de retorno de 100 años	1.0
T500	Período de retorno de 500 años	0.5

Tabla 2.- Factor en función de la probabilidad de ocurrencia

Por último, el valor de peligrosidad es resultado de calcular la envolvente de la peligrosidad de cada uno de los períodos de retorno estudiados.

$$\text{PELIGROSIDAD} = \text{máx}(\text{peligrosidad T10}, \dots, \text{peligrosidad T500})$$

#### 4.2.- Obtención de los elementos vulnerables a partir del mapa de cubiertas del suelo

Durante los trabajos integrados en el programa PEFCAT se desarrolló una clasificación de los elementos territoriales atendiendo su valor económico, estratégico o su especial vulnerabilidad. Esta clasificación se estructura como una gran matriz con varios niveles de integración que proporciona homogeneidad de criterios cuando se trabaja a distinta escala. Se clasifican: Zona urbana, Viviendas aisladas, Comercio, Educación, Salud y Asistencia, Alojamientos, Servicios de emergencia, Comunicaciones y transporte, Recreo y Deportes, Medioambientales, Religión, Cultura y Otros servicios, Complejos administrativos, Industria peligrosa afecta a la población, Industria Peligrosa que no afecta a población, Industria no peligrosa pero que afecta la población, Industria no peligrosa y que no afecta la población, Regadío, Secano, Huertos, Construcciones agrícolas, Aprovechamientos forestales, Masas forestales con aprovechamiento silvícola, Industria agropecuaria contaminantes y no contaminante, Glaciares, Lagos y lagunas continentales, Lagunas litorales, Ríos, Embalses, Mar, Vías de tráfico rodado y tren, Infraestructura de abastecimiento y saneamiento de agua, Infraestructura de Telecomunicaciones, Cobertura de cauces, Encauzamientos y obras de defensa, Infraestructura de regadío, Patrimonio.

Los niveles son: clase y subclase para trabajar a macroescala, tipo y subtipo para hacerlo a mesoescala y elemento y subelemento para microescala.

Estas categorías se relacionan de forma directa con las categorías definidas el mapa de cubiertas del suelo de Cataluña. Este mapa contiene digitalizados todos aquellos elementos que tienen una superficie mayor a 500m<sup>2</sup> y que actualizado periódicamente por el Departament de Medio Ambiente y Vivienda de la Generalitat de Catalunya. Como el mapa de cubiertas permite trabajar también en 5 niveles de agregación se analizó el más desagregado que mayoritariamente equivale al nivel elemento de la matriz.

Se reclasificó el mapa de cubiertas estableciendo equivalencia entre el nivel 5 del mapa y el nivel elemento de la matriz. La equivalencia entre esta clasificación y la desarrollada en la matriz de puntos singulares no es biunívoca, no solo porque el número no sea el mismo sino también porque el objetivo de una información y otra no era el mismo. Así la cobertura de usos del suelo incluye mucha información acerca de aprovechamientos y explotaciones forestales y agrícolas y sin embargo no distingue entre distintos equipamientos urbanos. Por este motivo se establecieron una serie de criterios de equivalencia considerando el objetivo que es la asignación económica para establecer un nivel de riesgo y posteriormente realizar un coste beneficio de las medidas de mitigación propuestas para la reducción de este riesgo.

#### **4.3.- Asignación de valor unitario a los elementos vulnerables**

La vulnerabilidad de cada elemento viene definida por el coste económico que se le asigna a cada elemento respecto a la pérdida de bienes materiales y la pérdida de vidas humanas. Todo el análisis se ha realizado por unidad de superficie (m<sup>2</sup>).

Se han establecido una serie de valores de referencia asignados a unos elementos claramente identificables obtenidos de un estudio previo realizado por la Agencia Catalana del Agua e incluidos en el Protocolo de Repercusión de Costes en el Espacio Fluvial. Estos precios corresponden a un análisis elaborado a partir de las indemnizaciones que el Consorcio de Compensación de Seguros ha otorgado en el caso de daños por inundación. Para el resto, el valor se establece ponderando este valor con distintas fuentes (FEMA; Patricova, Plan de Defensa de Tenerife,...) o bien a partir de costes medios de construcción y mantenimiento. Esta metodología es la que se ha seguido tanto para la estructura como para el contenido de ese uso del suelo, cuando proceda. Los valores de referencia son precio base urbano de 434 euros/m<sup>2</sup> y precio base de suelo industrial de 458 euros/m<sup>2</sup>. Para el contenido la metodología es análoga a partir de los precios base del contenido del suelo urbano y del industrial siendo estos respectivamente 102 euros/m<sup>2</sup> y 152 euros/m<sup>2</sup>.

Debe aclararse que la diferencia de estructura territorial de Estados Unidos y Cataluña ha invalidado algunos datos de la información obtenida de la FEMA pero otros se han podido utilizar con ligeras modificaciones.

Por último, ordenado de mayor a menor se comprueba que la relación tenga una cierta lógica apareciendo los elementos mayor valor en primer lugar con el precio más alto (EDARs, puentes en autovías y carreteras o desaladoras) y los de menor valor los últimos (masas forestales y cultivos agrícolas).

La estimación de los costes asociados a la posible pérdida de vidas humanas es uno de los aspectos más complejos abordados en este artículo, debido a la gran variabilidad de circunstancias que pueden incidir en el número de personas que pueden perder la vida a causa de una inundación. Factores como la franja horaria en la que se produce el evento, la tipología de inundación, la formación de la población en relación a como actuar frente una emergencia, son aspectos importantes que pueden incidir en esta estimación pero que son difícilmente evaluables. En este sentido, en el presente artículo se explica como se ha abordado este problema partiendo de aquellos datos objetivos que son fácilmente consultables; a partir de ellos la metodología utilizada para estimar la pérdida de vidas es la siguiente:

- Cálculo de la población que reside en la zona posiblemente afectada
- Determinación de la vulnerabilidad de dichas personas
- Asignación del grado de exposición
- Cálculo del número de fallecidos durante de un evento

La estimación de la población que reside en una zona posiblemente afectada se ha realizado asignando una densidad de población característica en función de la categoría de punto de singular. En el cálculo de la densidad se han supuesto una serie de criterios de edificabilidad, tamaño de vivienda media, tamaño de familia media aplicado a las diferentes tipologías de construcción residencial o su valor equivalente en otros usos de suelo. Por ejemplo:

Bloques de pisos: 5 plantas, 4 habitantes/vivienda, 80m<sup>2</sup>/vivienda

Viviendas unifamiliares: 1 planta, 4 habitantes/vivienda, 500m<sup>2</sup>/vivienda

La vulnerabilidad de las personas se ha determinado siguiendo los criterios marcados por el Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra) en el que se determina la vulnerabilidad de las personas calculando el porcentaje de la población posiblemente afectada que presenta problemas de movilidad. Este parámetro se ha extraído de la consulta de la encuesta demográfica realizada por el Institut d'Estadística de Catalunya (IDESCAT) en el año 2007, obteniendo como resultado que alrededor del 22% de la población de Cataluña tiene una edad superior a 65 años y que el 6% de la población restante tiene limitadas las actividades habituales.

$$VP = \% \text{ personas } >65 \text{ años} + \% \text{ personas con capacidad disminuida}$$

Por otro lado, en función de las características constructivas de las edificaciones donde habita la población, casas de una única planta, edificaciones de pisos, las personas están más o menos expuestas a los efectos de una posible inundación, por este motivo se ha previsto un factor que pondera en función de dicha exposición.

El valor de la pérdida de vidas humanas como coste asociado a la pérdida de una vida se obtuvo de los datos de la Ley 30/1995 de ordenación de los seguros privados, que establece indemnizaciones en función de unos baremos. Inicialmente son de aplicación en el ámbito de accidentes de coches. Un estudio de la Agencia incluido dentro del Protocolo de Repercusión de Costes en el Espacio Fluvial comparó estos valores con las recientes indemnizaciones al accidente del Yak42, Biescas y atentado de Madrid 11M y a la vista de los resultados se aplicó el valor de la Ley 30/1995.

La obtención de los costes relacionados con la pérdida de vidas humanas, lleva consigo la aplicación de una serie de factores de difícil cálculo y evaluación, por ese motivo todos los criterios establecidos son aquellos que resulten viables o adecuados para trabajar en planificación.

#### **4.4.- Asignación de valor unitario de coste del daño por inundación según su grado de afección**

Este cálculo determina la pérdida de bienes materiales en relación a la vulnerabilidad del elemento territorial y a la peligrosidad de la inundación asociada. Se han tenido en cuenta los 5 niveles en que se clasifica la peligrosidad, asignando en general un peso porcentualmente muy bajo a la afección clasificada de peligrosidad baja y la destrucción total a la afección en una zona inundable de peligrosidad extrema.

Los costes asociados a la pérdida de bienes materiales se calculan a partir del coste de cada elemento ponderado por un factor en función de la peligrosidad de la inundación. En general el peso que se aplica se obtiene de la gráfica incluida en las guías de la FEMA y en el Patricova

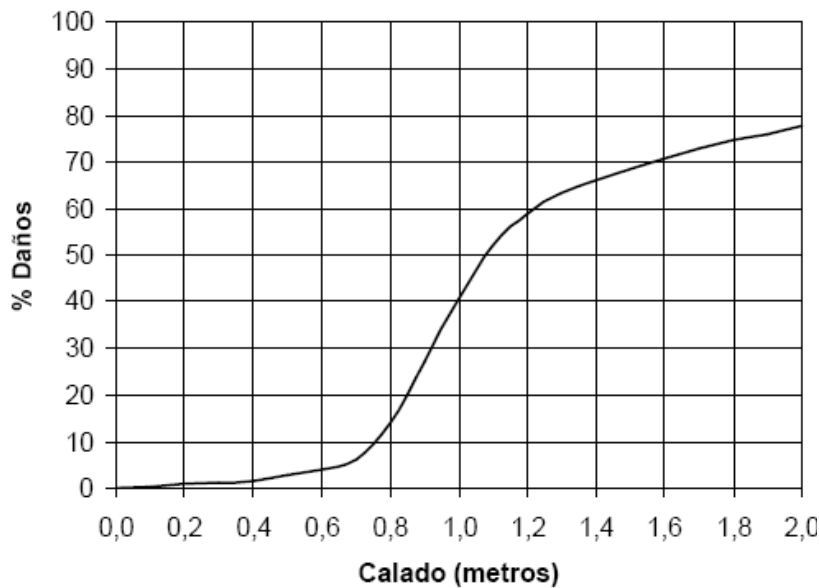


Figura 2: Porcentaje de daños según calado. Fuente: Patricova

La asignación por niveles discretos es la siguiente, obtenida a partir de la gráfica anterior:

Nivel de Peligrosidad	Factor
Extrema	1.00
Muy alta	0.80
Alta	0.60
Moderada	0.35
Baja	0.10

Tabla 3: Porcentaje de daños según peligrosidad

Estos pesos dependen del uso del suelo, ya que un mismo nivel de peligrosidad produce porcentajes de pérdidas distintos. Por ejemplo en algunos elementos como son las explotaciones agrícolas, algunos equipamientos e infraestructuras donde una peligrosidad de moderada ya puede significar prácticamente la pérdida económica total los porcentajes cambian respecto esta regla general. Estas variaciones se han obtenido aplicando los resultados del estudio anterior realizado por la Agencia Catalana del Agua e incluido en el Protocolo de Repercusión de Costes en el Espacio Fluvial.

La estimación de la pérdida de vidas humanas se ha determinado a partir de la densidad de población asignada a cada tipología de uso del suelo, la vulnerabilidad de las personas atendiendo a su movilidad o capacidad de respuesta, el grado de exposición y todo ello ponderado por coeficientes asociados a los distintos niveles de peligrosidad.

En este proceso queda explicar la metodología de la determinación de los posibles fallecimientos que va ligada a la peligrosidad que presenta el flujo. En función de dicha peligrosidad se determina que porcentaje de las personas vulnerables fallecería si se reprodujera la inundación que se está estudiando. Este número de fallecidos en función de la peligrosidad se ha obtenido de la publicación *Assessing and Valuing the Risk to Life from Flooding for Use in Appraisal of Risk Management Measures*, Defra, 2008. Los distintos porcentajes, dependiendo



de la peligrosidad fueron determinados mediante el estudio de diversas inundaciones acaecidas en el Reino Unido.

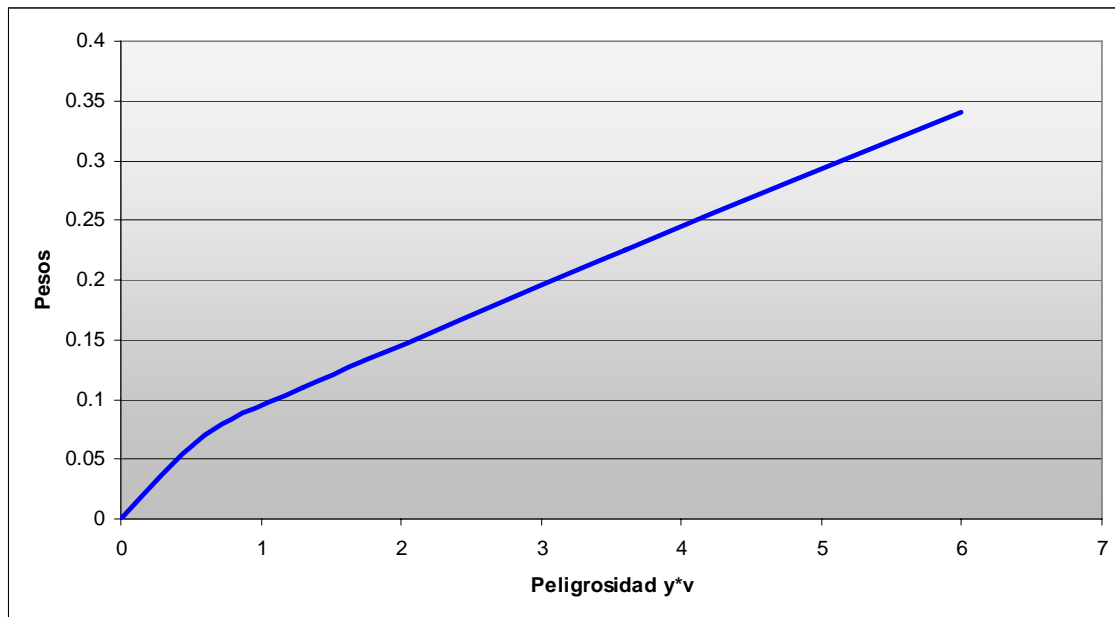


Figura 3: Porcentaje de daños a vidas humanas según peligrosidad

El coste final, es el resultado de aplicar un coste unitario por fallecido multiplicado por el número de fallecidos calculado en el paso anterior.

#### 4.5.- Cuantificación de los daños potenciales en la zona inundable

A partir del ráster de elementos vulnerables obtenido de la reclasificación del mapa de cubiertas del suelo singulares se asignan los precios unitarios a cada píxel dependiendo del elemento singular que se trate, tanto de bienes materiales como afección directa a personas. Para obtener el coste de daño el valor del precio del elemento se pondera por el coeficiente que depende del nivel de peligrosidad de la zona inundable en ese píxel. Esta operación se realiza mediante un cálculo GIS cruzando ambos rásters y obteniendo otro con los costes por píxel.

La obtención del grid con los costes asociados a cada píxel de la malla lleva consigo prestar una especial atención en el tratamiento de la misma (Redimensionamiento)

### 5.- RESULTADOS

#### 5.1. Ráster de peligrosidad

El primer resultado es la obtención de la cobertura que clasifica la zona inundable en función del nivel de peligrosidad. La escala de trabajo es 1m x 1m, ya que el cálculo hidráulico se realiza a partir de Modelos Digitales del Terreno de esta precisión y 0.15cm en altimetría (LIDAR). Este terreno es el que permite calcular calados y velocidades con el suficiente grado de confianza como para incluir ambos en el análisis.

La siguiente imagen muestra el grid calculado en la zona inundable del río Foix, incluido dentro del programa PEFCAT.

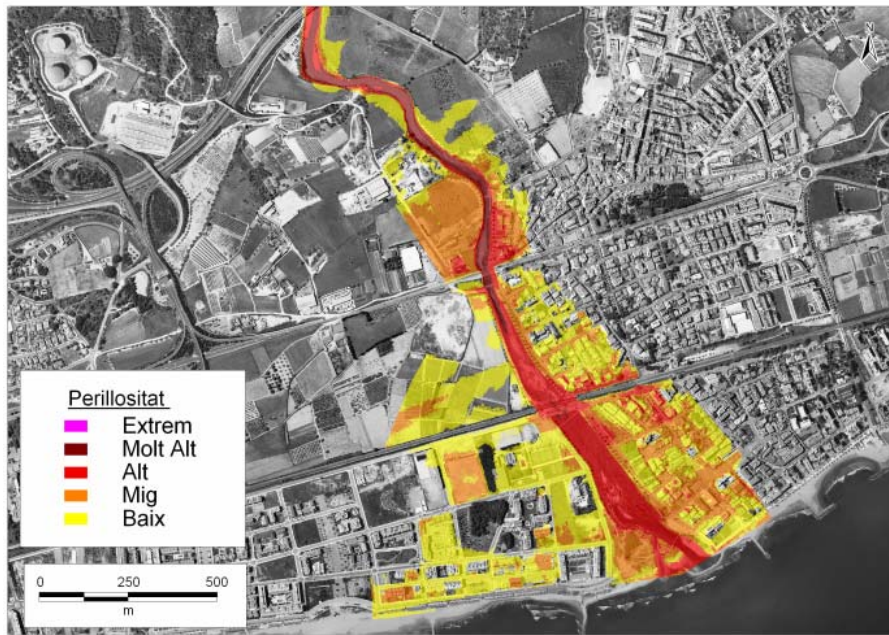


Figura 4: Raster de peligrosidad en el río Foix

## 5.2. Valor unitario de los elementos vulnerables (puntos singulares)

El resultado de la clasificación de los elementos territoriales fue la matriz de puntos singulares. Dicha matriz en su nivel de subclase incluye 55 categorías que se desagregan a nivel de elemento en 328. Por ejemplo para unas viviendas unifamiliares, para un camping y para un puesto de bomberos la clasificación sería la siguiente:

<b>CLASE</b>	Hidráulico	Hidráulico	Hidráulico
<b>SUBCLASE</b>	Zonas Edificadas	Zonas Edificadas	Zonas Edificadas
<b>TIPO</b>	Viviendas	Equipamientos	Equipamientos
<b>SUBTIPO</b>	Zona Urbana	Alojamiento	Emergencia
<b>ELEMENTO</b>	Viviendas Unifamiliares	Camping	Bomberos

Tabla 4: Ejemplo de agregación en la clasificación de un elemento vulnerable

La cobertura de los usos del suelo en el nivel de máxima disgregación divide el territorio en 233 categorías. A estas 233 categorías se les asignó un elemento de la matriz de clasificación de puntos singulares. A continuación se muestra una tabla parcial de estas equivalencias:

<b>ELEMENT</b>	<b>Cat_niv_5</b>
Bloques de pisos	Zonas urbanas en construcción
Bloques de pisos	Centro urbano
Bloques de pisos	Ensanche
Viviendas plurifamiliares en hilera	Urbanizaciones
Viviendas unifamiliares	Viviendas unifamiliares
Masías	Asentamiento agrícola residencial
Centros comerciales	Complejos comerciales y de oficinas
Centros de enseñanza secundaria y FP	Equipamientos educativos
Hospitales	Equipamientos sanitarios

<b>ELEMENT</b>	<b>Cat_niv_5</b>
Hoteles	Complejos hoteleros
Casas rurales	Casas aisladas
Casas de colonias	Colonias y núcleos aislados
Camping	Camping
Aeropuertos	Aeropuertos
Puertos de mercancías	Zonas portuarias
Espectáculos	Centros culturales
Iglesias	Centros religiosos
Centras penitenciarios	Centros penitenciarios
Complejos administrativos	Complejos administrativos
Central Nuclear	Centrales nucleares
Central Térmica	Centrales térmicas
Centrales eléctricas	Centrales solares
Centrales eléctricas	Centrales eólicas
Subestaciones y centrales transformadoras	Infraestructuras eléctricas
Industrias importantes por su valor económico	Polígono industrial sin ordenar
Industrias importantes por su valor económico	Polígono industrial ordenado
FFCC Larga distancia	Vías de ferrocarril
Autopista	Autopistas y autovías
Carretera Nacional	Carreteras
ETAPs	Depuradoras y potabilizadoras

Tabla 5: Ejemplo de reclasificación del mapa de usos del suelo

### 5.3.- Valoración unitaria del daño por inundación

#### 5.3.1.- Costes asociados a los daños a bienes materiales

Como resultado de los precios unitarios ( $m^2$ ) y de la valoración del daño por nivel de peligrosidad se ha obtenido una matriz con dichos valores por elemento vulnerable. La siguiente tabla muestra parte de dicha matriz:

<b>ELEMENTO</b>	<b>Valor Estructura (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Valor Contenido (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>P Extrema</b>	<b>P Muy grave</b>	<b>P Grave</b>	<b>P Moderada</b>	<b>P Leve</b>
Bloques de pisos	434	102	1	0.8	0.6	0.35	0.1
Masías	244	57	1	0.8	0.6	0.35	0.1
Centros comerciales	367	367	1	0.8	0.6	0.35	0.1
Centres de enseñanza secundaria	403	605	1	0.8	0.6	0.35	0.1
Aeropuertos	1500	1500	1	0.8	0.6	0.35	0.1
Zonas verdes	225	112	1	1	1	1	0.5
Zonas deportivas	225	112	1	1	1	1	0.5
Campos de golf	18	9	1	1	1	1	0.5
Cereales	1.48	1.48	1	1	1	0.5	0.25
Frutales	3.60	3.60	1	1	1	0.5	0.25
Viña	3.60	3.60	1	1	1	0.5	0.25

ELEMENTO	Valor Estructura (€m2)	Valor Contenido (€m2)	P Extrema	P Muy grave	P Grave	P Moderada	P Leve
Cultivos herbáceos de regadío	1.48	1.48	1	1	1	0.5	0.25
Cultivos herbáceos de seco	1.48	1.48	1	1	1	0.7	0.4
Cereales	1.48	1.48	1	1	1	1	1
Huertas	3.86	3.86	1	1	1	1	1
Invernaderos	30	30	1	1	1	0.7	0.4

Tabla 5: Ejemplo de valoración y ponderación por daño material

### 5.3.2.- Costes asociados a la pérdida de vidas humanas

Análogamente se presenta una tabla parcial con algunos elementos de uso residencial y la cuantificación del daño directo a víctimas potenciales de la inundación

ELEMENTO	Densidad	Vulnerab	Exposic	Valor (€p)	P Extrema	P Muy grave	P Grave	P Moder.	P Leve
Bloques de pisos	0.08	0.31	0.25	155000	0.34	0.225	0.11	0.07	0
Masías	0.0004	0.31	1.00	155000	0.34	0.225	0.11	0.07	0
Centros comerciales	0.08	0.31	0.25	155000	0.34	0.225	0.11	0.07	0
Centros de enseñanza secundaria	0.25	0.09	0.20	155000	0.34	0.225	0.11	0.07	0
Aeropuertos	0	0.31	0.00	155000	0.34	0.225	0.11	0.07	0

Tabla 5: Ejemplo de valoración y ponderación por pérdidas de vidas humanas

Esta información se vuelca en el ráster de usos del suelo reclasificado. La imagen siguiente muestra el nivel de información en la desembocadura de la cuenca piloto donde se ha efectuado este análisis.

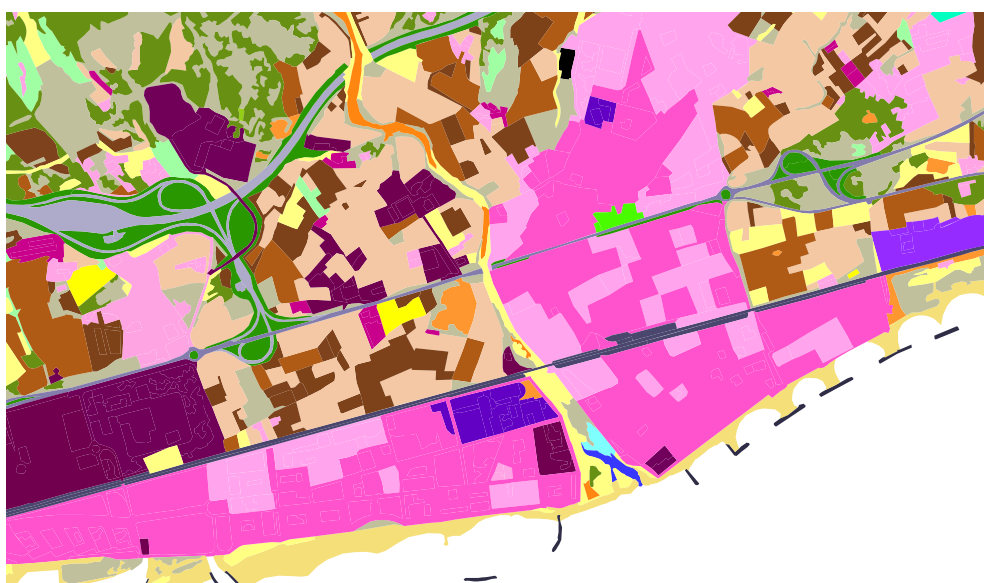


Figura 4: Ráster de usos del suelo reclasificados y valorados en el río Foix

#### 5.4.- Cuantificación del daño por inundación según el grado de afección

El resultado final es un ráster de costes, tal y como muestra la figura 4. Por un lado el color verde, amarillo, naranja y rojo de los píxel indica el valor de las afecciones por m<sup>2</sup> y por otro las cifras en cartel muestran el valor agregado de las zonas más conflictivas divididas por márgenes del río.

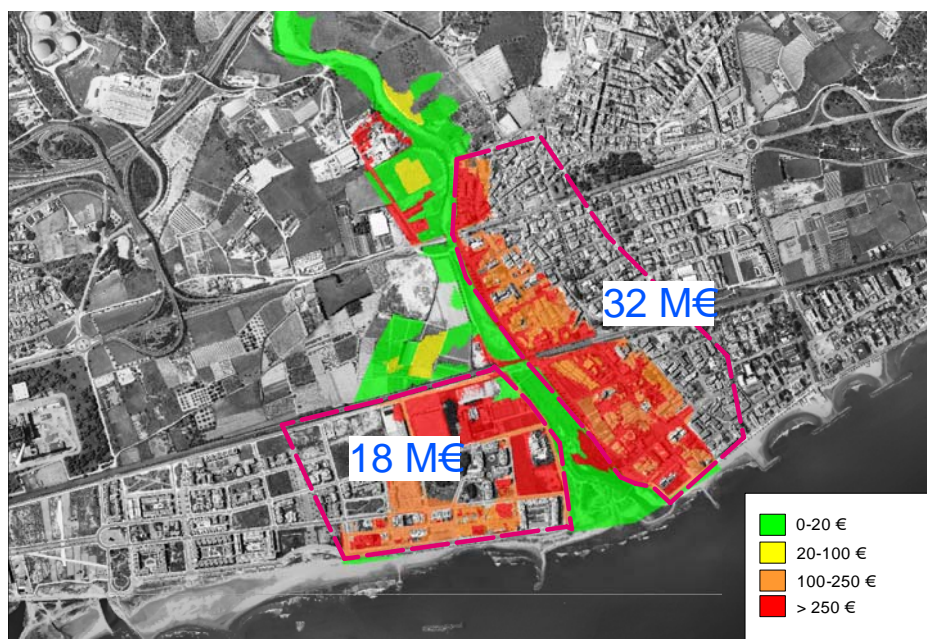


Figura 4: Ráster de valoración de daños potenciales en la zona inundable del río Foix

#### 6.- CONSIDERACIONES FINALES

Analizando los resultados parciales se puede concluir que:

- La gradación de la peligrosidad en 5 rangos, en vez de los 3 clásicos, ayuda a evaluar mejor el daño que puede ocasionar una inundación y a visualizar incertidumbres.
- La correspondencia entre categorías del mapa de usos del suelo y la matriz de puntos singulares permite trabajar de forma independiente a la asignación que se realice desde los organismos que generan la cobertura del mapa de cubiertas del suelo. La reclasificación de la información de usos del suelo a partir de la matriz elaborada teniendo en cuenta unidad de coste y el posterior análisis de riesgo homogeneiza los resultados independientemente de las fuentes utilizadas, sus posibles actualizaciones, y del nivel de agregación que tenga en origen. De la misma manera a partir de su asignación al nivel de elemento se unifica para trabajar en la escala adecuada.
- La aplicación de esta metodología asegura la determinación del riesgo potencial por inundaciones de forma objetiva, así como su análisis y evaluación. El uso de esta metodología sin aplicar el factor corrector de la probabilidad de ocurrencia permite tener un primer análisis del coste beneficio de las medidas correctoras, ayudando a la toma de decisiones, a escoger mejor la solución óptima y a dar prioridad a las actuaciones.
- En la validación territorial que se está llevando a cabo, se ha detectado que en determinados casos es conveniente utilizar factores adicionales, como por ejemplo en el caso de flujos hiperconcentrados, que permiten incorporar otros aspectos importantes



que intervienen en la peligrosidad. Aún así se espera poder acabar de calibrar la metodología durante la aplicación de la evaluación preliminar del riesgo

- Ha sido necesario establecer criterios sencillos de equivalencia y agregación de la información para poder comparar a nivel homogéneo entre territorios. La mayor incertidumbre se centra en la valoración de la afección a personas.
- La información base de cubiertas del suelo es uno de los factores que mas inciden en los resultados finales; además es necesario en muchas ocasiones tener en cuenta el planeamiento urbanístico, que en el caso de el suelo urbanizable no suele ser fiable a nivel de calificación.
- La metodología no permite evaluar la afección a puentes. Esta debe ser analizada de forma independiente e integrada en el resultado final.

Como conclusiones finales

- La obtención de un mapa de Euros/píxel para poder identificar aquellos ámbitos con mayor riesgo potencial permite delinear, agregar y representar la información de manera sencilla y intuitiva para los usuarios.
- El mapa de coste por píxel permite analizar el efecto de determinadas actuaciones en el espacio fluvial y comparar las afecciones en caso de nuevas ocupaciones.
- La información generada permite la comparativa territorial y la suma de las problemáticas tanto por ámbito como por tipo de ocupación, de forma que se garantiza que la base comparativa sea la misma.

Conviene por tanto no olvidar que el principal activo en la planificación es el espacio, siendo el PEFCAT una de las herramientas que se encarga de su preservación y delimitación. La preservación del espacio fluvial no ocupado es el activo prioritario y el uso de metodologías que ayudan a la visualización del peligro que suponen y del incremento de riesgo que pueden comportar nuevas ocupaciones respecto a las existentes es básico para poder hacer una planificación participativa.

## **7.- BIBLIOGRAFÍA**

- PROGRAMA DE PREVENCIÓN DE INUNDACIONES. Agencia Catalana del Agua 2010
- PROTOCOLO: “Repercussió del costos dels espais fluvials, 2008. Agencia Catalana del Agua
- PROTOCOLO: Conceptes bàsics de definició, classificació i representació dels Punts Singulares, 2010 Agencia Catalana del Agua
- PROTOCOLO: Criteris per a l’avaluació del grau d’afecció dels punts singulars, 2008. Agencia Catalana del Agua.
- REVISIÓN Y NUEVA PROPUESTA DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE PUNTOS SINGULARES HIDRÁULICOS. (Agencia Catalana del Agua). 2007
- PLANIFICACIÓ DE L’ESPAI FLUVIAL DE LA CONCA DEL RIU FOIX. (Agencia Catalana del Agua). 2007
- REDACCIÓN DE LOS ESTUDIOS DE INUNDABILIDAD DE DETALLES BÁSICOS DE LOS CAMPING EXISTENTES EN LA PROVINCIA DE LÉRIDA CON EL FIN DE DETERMINAR LA SITUACIÓN DE LOS ESTABLECIMIENTOS ANTE EL RIESGO DE INUNDACIÓN, (Agencia Catalana del Agua). 2007
- DIRECTIVA 2000/60/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

- DIRECTIVA 2007/60/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de de 23 de octubre de 2007 relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación.
- DIRECTRIZ BÁSICA DE PLANIFICACIÓN DE PROTECCIÓN CIVIL ANTE EL RIESGO DE INUNDACIONES, resolución de 31 de enero de 1995, de la Secretaria del Estado de Interior.
- Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el REGLAMENTO DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril
- Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS DE INUNDACIÓN.
- ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN FLUVIAL DE LA CUENCA DEL RÍO DUERNA (LEÓN), Confederación Hidrográfica del Duero, 2008
- Decret 305/2006, de 18 de juliol, pel qual s'aprova el REGLAMENT DE LA LLEI D'URBANISME
- CONDE, GEMMA, Análisis de la Repercusión de Costes, 2008,
- HANDBOOK ON GOOD PRACTICES FOR FLOOD MAPPING IN EUROPE, 2007, EXCIMAP
- ASSESSING AND VALUING THE RISK TO LIFE FROM FLOODING FOR USE IN APPRAISAL OF RISK MANAGEMENT MEASURES, Defra, 2008
- GUÍA 2: UNDERSTANDING YOUR RISKS: IDENTIFYING HAZARDS AND ESTIMATING LOSSES , 2001, FEMA, USA
- INFORME DE LA COMISIÓN TÉCNICA DE EMERGENCIA POR INUNDACIONES, 1985, Ministerio del Interior
- PLAN DE ACCIÓN TERRITORIAL DE CARÁCTER SECTORIAL SOBRE PREVENCIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN LA COMUNIDAD VALENCIANA (PATRICOVA), 2002, Generalitat Valenciana
- PLAN ESPECIAL DE DEFENSA FRENTE A AVENIDAS DE TENERIFE, 2005. Cabildo Insular de Aguas de Tenerife
- PLAN DE PREVENCIÓN DE AVENIDAS E INUNDACIONES EN CAUCES URBANOS ANDALUCES, aprobado por Decreto 189/2002, de 2 de julio (BOJA de 9 de noviembre de 2004). Junta de Andalucía
- GUÍA TÉCNICA DE CLASIFICACIÓN DE PRESAS EN FUNCIÓN DE SU RIESGO POTENCIAL, 1996, Ministerio de Medio Ambiente.