



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL EBRO



SISTEMA NACIONAL DE
CARTOGRAFÍA DE
ZONAS INUNDABLES

SISTEMA NACIONAL DE CARTOGRAFÍA DE ZONAS INUNDABLES EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO



MEMORIA RESUMEN DE LOS MAPAS DE PELIGROSIDAD Y RIESGO DE INUNDACIÓN

DICIEMBRE 2013

En UTE:



ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	1
2.- ÁMBITO TERRITORIAL	4
3.- MAPAS DE PELIGROSIDAD	7
3.1.- GENERACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA	7
3.2.- HIDROLOGÍA	11
3.3.- HIDRÁULICA	14
3.3.1.- MODELO HIDRÁULICO UNIDIMENSIONAL.....	16
3.3.2.- MODELO HIDRÁULICO BIDIMENSIONAL	17
3.3.3.- CALIBRACIÓN	19
3.4.- GEOMORFOLOGÍA.....	21
3.5.- INFORMACIÓN GRÁFICA	27
4.- MAPAS DE RIESGO	29
4.1.- ESTIMACIÓN DE LA POBLACIÓN AFECTADA	29
4.2.- ESTIMACIÓN DE LA ACTIVIDAD ECONÓMICA AFECTADA.....	31
4.3.- ESTIMACIÓN DE LOS DAÑOS MEDIOAMBIENTALES.....	36
4.4.- INFORMACIÓN GRÁFICA	38

FIGURAS

Figura 1.- Tramos de cauce para los que se han elaborado los Mapas de Peligrosidad y los Mapas de Riesgo. En rojo tramos de Riesgo A1 Alto Significativo, en naranja Riesgo A2 Alto Importante, en marrón tramos de conexión.....	6
Figura 2.- Productos LIDAR generados para modelo del río Jerea en Cadiñanos (Burgos)	8
Figura 3.-A la izquierda, la ortofoto del PNOA de máxima actualidad en el entorno de Fraga (Huesca) y a la derecha, el fotograma del vuelo del 56 georreferenciado para la misma zona.	9
Figura 4.- Croquis del puente colgante de Amposta.....	10
Figura 5.- Distribución espacial del coeficiente de rugosidad de Manning a partir la cartografía de usos del suelo del SIOSE y su revisión con la ortofoto PNOA de Máxima Actualidad (imagen correspondiente al entorno de Fraga, Huesca).....	10
Figura 6.- Consultas de caudales en CAUMAX para cuencas superiores a 50 Km ² (método de ajuste foronómico) y para cuencas inferiores a 50 Km ² (método racional modificado).....	11
Figura 7.- Umbral de escorrentía (P ₀) en condiciones medias de humedad y características agrológicas (R).....	12
Figura 8.- Ejemplo de estudio hidrológico de detalle para la cuenca del Noguera Pallaresa	13
Figura 9.- Visión en 3D de la desembocadura de un cauce de pequeña entidad con líneas de rotura en la base del lecho.	18

Figura 10.- Distribución de velocidades en la entrada del modelo. Se aprecia la distribución del flujo desde la zona de entrada por la llanura de inundación. Estos valores no pueden considerarse válidos.19

Figura 11.- Arriba: marcas de humedad en las escuelas de Sádaba tras la avenida de octubre de 2012. Abajo: extensión de la lámina de agua obtenida a partir del modelo hidráulico para un caudal equivalente.20

Figura 12.- Ejemplo de evolución geomorfológica: Río Ebro al sur del casco urbano de Pina de Ebro .25

Figura 13.- Representación de una de las tendencias que pueden darse en la diferenciación de las opciones de DPHP, desde la década de los 50, arriba, hasta la actualidad, abajo. Fuente. Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables.26

Figura 14.- Ejemplo de definición geomorfológica del DPHP: río Gállego en Zuera (Zaragoza): tramo afectado por presiones Urbanísticas y labores extractivas.....27

Figura 15.- Distribución de calados para una avenida de 500 años de periodo de retorno en el tramo medio del Ebro.28

Figura 16.- Mapa de densidad de población empleado para la estimación de la población afectada.30

Figura 17.- Mapa de actividades económicas sin y con aportación de capa BTN-2533

Figura 18.- Mapa de actividades económicas final. Zaragoza.....34

Figura 19.- Mapa de actividades económicas clasificada según valor económico. Zaragoza. (€/m2)....36

Figura 20.- Imagen del SITEbro39

1.- INTRODUCCIÓN

Las inundaciones en España constituyen el riesgo natural que, a lo largo del tiempo, ha producido los mayores daños, tanto materiales como en pérdida de vidas humanas. Por otra parte, y desde un punto de vista legal, la seguridad de las personas y bienes frente a las inundaciones está recogida en textos fundamentales, como son tanto el Texto Refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, como la Ley 10/2001 de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, modificada por la Ley 11/2005, de 22 de junio.

Anteriormente más atrás en el tiempo, la Ley 2/1985, de 21 de enero, de Protección Civil, desarrollada mediante la Norma Básica de Protección Civil, aprobada por el Real Decreto 407/1992 de 24 de abril, incluye, entre los planes especiales de protección civil a elaborar por la Administración General del Estado y por las Comunidades Autónomas, los correspondientes al riesgo por inundación. En el marco de esta legislación destaca la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones, aprobada por acuerdo de Consejo de Ministros de 9 de diciembre de 1994, la cual establece el marco sobre el que se han desarrollado los planes especiales de protección civil ante el riesgo de inundaciones y que puede considerarse como la primera disposición que relaciona expresamente el nivel de riesgo de inundación del territorio con la planificación territorial y los usos del suelo.

El Real Decreto Legislativo 2/2008, de 20 de junio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley del Suelo, establece en su articulado la necesidad de incluir en los instrumentos de ordenación territorial mapas de riesgos naturales y de la realización de informes de las administraciones hidrológicas en relación con la protección del dominio público hidráulico.

En el ámbito europeo, la 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 Marco del Agua), incorporada a nuestro ordenamiento jurídico mediante el artículo 129 de la Ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social, incluye entre sus objetivos que el marco para la protección de las aguas debe contribuir a paliar los efectos de las inundaciones y sequías. Su transposición al derecho español se realizó a través del Texto refundido de la Ley de Aguas.

La Directiva 2007/60/CE de "Evaluación y Gestión del Riesgo de Inundación", que entró en vigor el 26 de noviembre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación (Directiva 2007/60/CE), obliga a los Estados Miembros, en su Capítulo II, a la realización de una Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (en adelante EPRI), en todo el ámbito territorial de la demarcación, según la cual se deben identificar las zonas en las que exista un riesgo potencial significativo de inundación.

En cumplimiento del artículo 7 del Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación, que traspone la Directiva 2007/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo,

de 23 de octubre de 2007, y tras el preceptivo periodo de consulta pública, la Confederación Hidrográfica del Ebro aprobó la EPRI en la demarcación del Ebro. En esta primera fase de los trabajos, se identifican mediante análisis histórico, hidráulico, geomorfológico, etc. las Áreas de Riesgo Potencial Significativo por Inundación (ARPSIs) dentro del ámbito referido. Estas áreas engloban la mayor parte del riesgo potencial del territorio asociado a los episodios de inundación con origen fluvial, tanto en lo relativo a posibles pérdidas de vidas humanas como en lo referente a daños económicos y a la afección al medio ambiente. En una segunda fase se elaboran los mapas de peligrosidad y riesgo, que son los que se desarrollan en este trabajo.

De acuerdo con la Directiva 2007/60/CE, para cada una de las ARPSIs identificadas debe realizarse un plan de gestión del riesgo (antes del 22 de diciembre de 2015) basado en la elaboración de mapas de peligrosidad y de riesgo. Esta es la tercera fase contemplada en la citada Directiva.

Como consecuencia de lo anterior, la Confederación Hidrográfica del Ebro, en colaboración con los órganos correspondientes de las CCAA afectadas, ha elaborado los citados mapas de peligrosidad y riesgo, que se presentan mediante este documento y se someten a consulta pública.

Los mapas de peligrosidad comprenden la delimitación gráfica de la superficie anegada por las aguas para la ocurrencia de avenidas con periodos de retorno de 10, 100 y 500 años, valores que se han convenido como referencia para los eventos de alta, media y baja probabilidad, respectivamente (en aplicación del artículo 8.1 del Real Decreto 903/2011). Esta información, acompañada de la estimación de las variables que caracterizan el efecto potencial adverso de las crecidas, permite establecer el grado de exposición al fenómeno de las distintas partes del territorio. Adicionalmente y en cumplimiento de Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, los mapas de peligrosidad incluyen también tanto la delimitación de la Zona de Flujo Preferente como la definición del Dominio Público Hidráulico estimado.

Adicionalmente, al cruzar la información anterior con la relativa a la vulnerabilidad del territorio en lo relativo a la salud humana, el medio ambiente y la actividad económica, se llega a determinar el riesgo por inundación y a elaborar los mapas asociados, que son los que deben servir de punto de partida para la posterior redacción de los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación.

Los **mapas de peligrosidad** que se han elaborado incluyen las láminas de inundación en los siguientes escenarios:

- a) Alta probabilidad de inundación (periodo de retorno mayor o igual a 10 años).
- b) Probabilidad media de inundación (periodo de retorno mayor o igual a 100 años).
- c) Baja probabilidad de inundación o escenario de eventos extremos (periodo de retorno igual a 500 años).

Adicionalmente, en los mapas de peligrosidad se representa la delimitación del Dominio Público Hidráulico estimado, de las zonas de servidumbre y policía que se le asocian, así como la zona de flujo preferente.

Por su parte, los **mapas de riesgo** incluyen:

- a) Número indicativo de habitantes que pueden verse afectados.
- b) Tipo de actividad económica de la zona 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.
- 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.

En conjunto, los mapas de peligrosidad y riesgo aquí presentados, al proporcionar una visión realista y precisa del problema, constituyen un instrumento eficaz para la gestión futura del riesgo de inundación asociado a las zonas más problemáticas del territorio, asegurando un eficiente empleo de los recursos económicos disponibles para la mitigación de los daños potenciales y una compatibilización más sostenible de las necesidades de desarrollo de la sociedad con los riesgos naturales del medio físico ocupado.

2.- ÁMBITO TERRITORIAL

El ámbito territorial es la Demarcación Hidrográfica del Ebro, que comprende el territorio español de la cuenca hidrográfica del río Ebro y sus aguas de transición, de la cuenca hidrográfica del río Garona y de las demás cuencas hidrográficas que vierten al océano Atlántico a través de la frontera con Francia (excepto las de los ríos Nive y Nivelle), además la cuenca endorreica de la Laguna de Gallocanta. Las aguas costeras tienen como límite sur la línea con orientación 122,5° que pasa por el extremo meridional de la playa de Alcanar y como límite norte la línea con orientación 90.º que pasa por el Cabo de Roig. Cuenta con una extensión de 85.534.2 km² en territorio español, que comparten nueve comunidades autónomas: Aragón, Cantabria, Castilla-La Mancha, Castilla y León, Cataluña, La Rioja, Navarra, País Vasco y Valencia. La pueblan unos tres millones de habitantes, de los que el 50% se encuentran en tan sólo nueve núcleos de población, entre los que destaca Zaragoza con la cuarta parte de la población de la demarcación. Fuera de estos ámbitos urbanos la población es escasa, de forma que casi el 40% del territorio se encuentra en el umbral de la despoblación, por debajo de 5 hab./km². Dentro del ámbito de estudio se identificaron 46 ARPSIs en el marco de la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación:

Área de Riesgo Potencial Significativo de Inundación			
01	HIJAR-EBRO	24	ÉSERA
02	ALTO EBRO	25	ALTO SEGRE
03	EBRO-LOGROÑO-CASTEJÓN	26	BAJO SEGRE
04	MEDIO EBRO	27	NOGUERA RIBAGORZANA
05	BAJO EBRO	28	NOGUERA PALLARESA
06	NELA-TREMA-TRUEBA-JEREA	29	GARONA
07	BAIAS	30	RUDRÓN
08	ZADORRA-AYUDA	31	OCA-HOMINO
09	EGA	32	ORONCILLO
10	ARAKIL	33	OJA
11	ALTO ARGÁ	34	BAJO NAJERILLA

Área de Riesgo Potencial Significativo de Inundación			
12	BAJO ARGÁ	35	CIDACOS
13	ARAGÓN-ARAGÓN SUBORDAN	36	LINARES-ALHAMA-AÑAMAZA
14	BAJO ARAGÓN	37	QUEILES
15	ESCÁ-VERAL	38	HUECHA
16	IRATI-SALAZAR	39	ALTO JALÓN
17	ZIDACOS	40	BAJO JALÓN
18	ONSELLA	41	JILOCA
19	ARBA	42	HUERVA
20	ALTO GÁLLEGO	43	AGUAS VIVAS
21	BAJO GÁLLEGO	44	MARTÍN
22	ALCANADRE	45	GUADALOPE
23	CINCA	46	MATARRAÑA

Dentro de estas ARPSIs están englobados todos aquellos tramos que presentan un Riesgo A1 Alto Significativo de inundación. De todos ellos se han elaborado los mapas de peligrosidad y los mapas de riesgo para su posterior remisión a Europa.

Además existen una serie de tramos con Riesgo A2 Alto Importante (de acuerdo con la metodología seguida en la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación) en los que también se han realizado mapas de peligrosidad y riesgo para dar continuidad a los distintos tramos con riesgo A1.

Por último, a raíz de los distintos episodios de inundación acaecidos en otoño de 2012 y primavera de 2013, se han incluido distintos tramos en los que se han registrado daños y que no habían sido identificados previamente en la EPRI como de riesgo A1.

De esta forma se han elaborado los mapas de peligrosidad y los mapas de riesgo de 1.344 km de tramos de cauces con nivel de riesgo A1 Alto Significativo y se han realizado estudios en un total de 3347 km de cauces , tal y como se muestra en la siguiente figura:

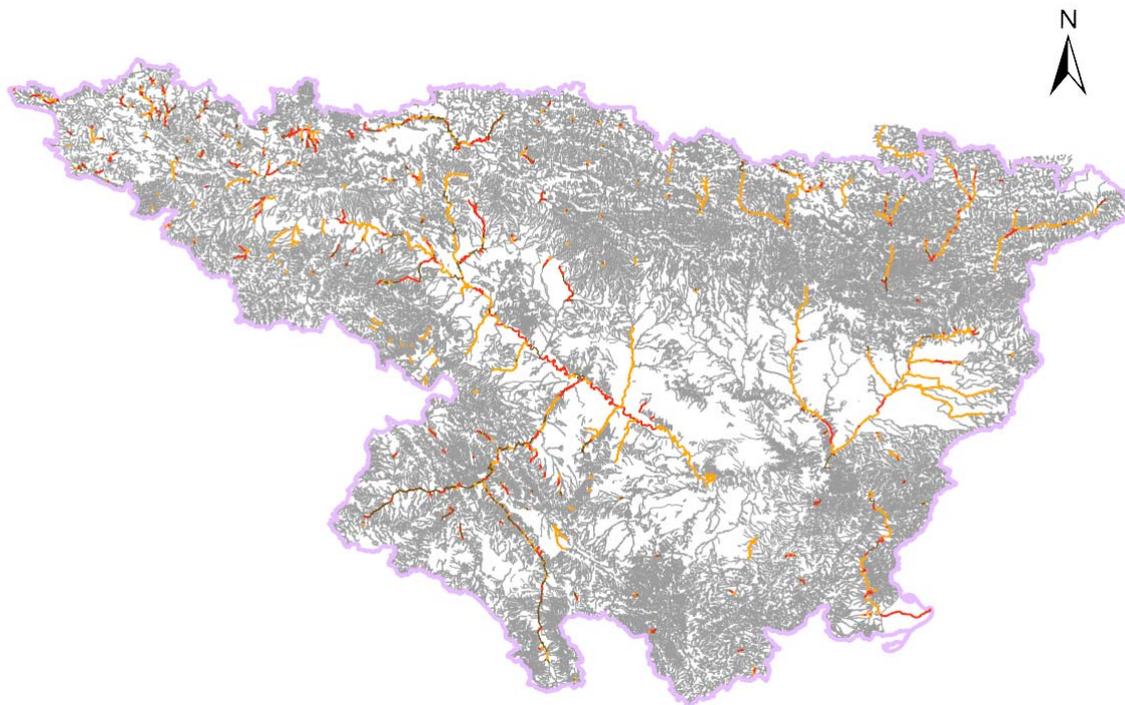


Figura 1.- Tramos de cauce para los que se han elaborado los Mapas de Peligrosidad y los Mapas de Riesgo. En rojo tramos de Riesgo A1 Alto Significativo, en naranja Riesgo A2 Alto Importante, en marrón tramos de conexión

3.- MAPAS DE PELIGROSIDAD

El segundo hito del proceso de implantación de la Directiva 2007/60 de evaluación y gestión de los riesgos de inundación, es la elaboración para cada ARPSI de los mapas de peligrosidad de inundación de acuerdo con lo establecido en los artículos 8, 9 y 10 del Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de los riesgos de inundación. Estos mapas de peligrosidad, complementan lo establecido en la legislación existente en materia de aguas, protección civil y ordenación del territorio sobre cartografía de zonas inundables y se podrán consultar en el visor cartográfico del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, así como en el SITebro (Sistema de Información Territorial del Ebro).

Los mapas de peligrosidad por inundación constituyen una herramienta eficaz de información y una base adecuada para el establecimiento de prioridades y la toma de decisiones adicionales de índole técnica, económica y política relativa a la gestión del riesgo de inundación.

Para la realización de estos mapas, se han acometido trabajos topográficos, hidrológicos, hidráulicos y geomorfológicos cuya descripción se presenta a continuación.

3.1.- Generación de la cartografía

La información de partida para la elaboración de los mapas de peligrosidad es fundamentalmente la cartográfica en los tramos de estudio; en especial se requieren los siguientes elementos:

- El modelo digital del terreno (MDT) de cada tramo fluvial a estudiar y de su cuenca con la mejor resolución disponible.
- Ortofoto actual de la zona de estudio a la mejor resolución posible.
- Fotografías aéreas históricas georreferenciadas. Si bien existen otros vuelos históricos, en general el vuelo de referencia es el vuelo americano 1956-57.
- Croquis de las dimensiones y las cotas de los elementos o infraestructuras localizadas en la zona de estudio que pueden afectar a la inundabilidad, como puentes, motas, encauzamientos, azudes, etc.
- Información sobre elementos localizados aguas arriba y abajo del tramo de estudio que ayude a definir las condiciones de contorno o de borde de la simulación, como por ejemplo niveles de embalses, niveles de marea, azudes, puentes, etc.
- Información sobre usos del suelo para determinar las pérdidas de energía del agua.

Para la realización de los estudios geomorfológicos e hidráulicos es necesario disponer de una cartografía de precisión que represente fielmente la realidad del terreno en el tramo de estudio. Para ello, se ha utilizado un modelo digital del terreno generado mediante la tecnología LiDAR (Laser Imaging Detection and Ranging), el cual ha sido tratado para eliminar los valores correspondientes a elementos diferenciados del terreno: vegetación, puentes, etc.

Se han utilizado vuelos LIDAR de distintas procedencias, en su mayoría corresponden a los realizados por el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), A pero también a las Comunidades Autónomas de Navarra, País Vasco y Cataluña, que los han puesto a disposición de los trabajos. La mayor parte del trabajo se ha realizado en ETRS89, basándose exclusivamente en vértices REGENTE de la Red Geodésica Nacional, con la única salvedad de los procedentes de la Generalitat de Cataluña, donde el sistema de referencia ha sido el ED1950. En todo el ámbito se ha dispuesto de una resolución cartográfica homogénea y alta (con una densidad media de 0,5 puntos referenciados por metro cuadrado), pudiéndose estimar la precisión en cota en 15 cm.

A partir de los vuelos se ha procedido a la elaboración de diferentes productos: el Modelo Digital de Superficies (MDS), el Modelo Digital de Intensidades (MDI) y diferentes Modelos Digitales del Terreno (MDT) en los que se eliminan los edificios, la vegetación y los puentes y otros en los que se modelizan los edificios. En la práctica totalidad del área se ha trabajado sobre malla 1x1 m² y en alguna zona ya estudiada se ha recurrido a un mallado 2x2 m². En la documentación generada asociada a los mapas se indica tanto la procedencia de la cartografía como el tamaño de malla.

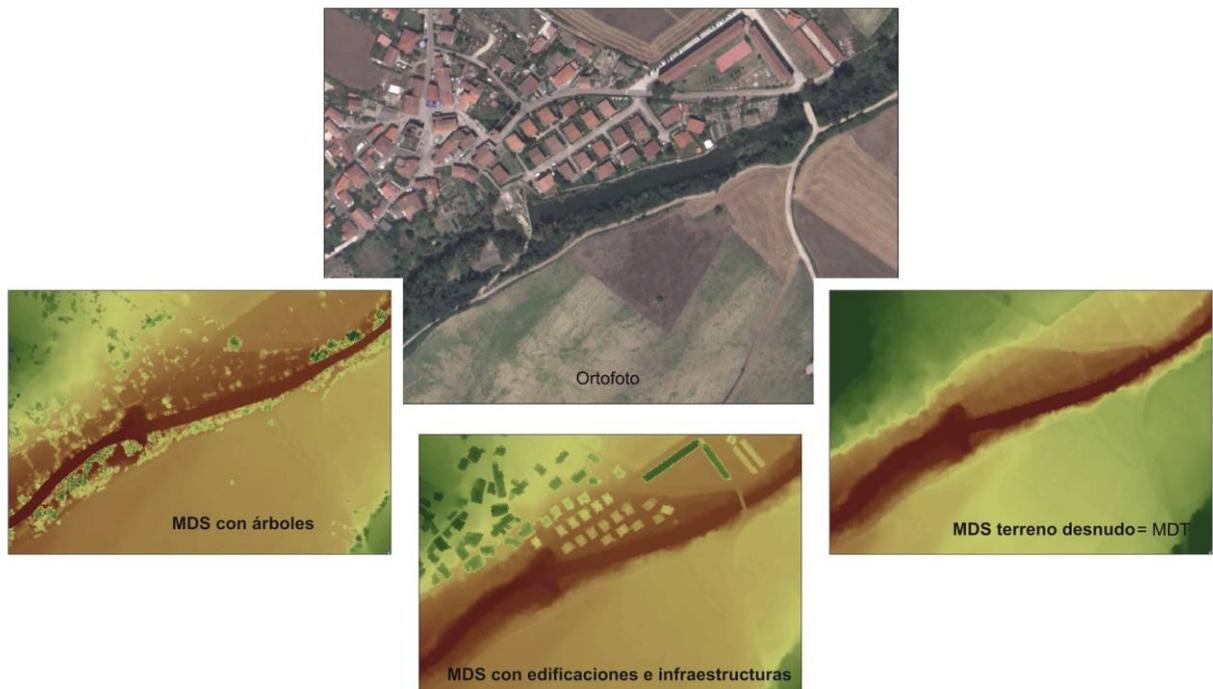


Figura 2.- Productos LIDAR generados para modelo del río Jerea en Cadiñanos (Burgos)

En cuanto a las ortofotos, se han utilizado las más recientes disponibles en el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), que es un proyecto de cooperación cofinanciado entre la Administración General del Estado (AGE) y las comunidades autónomas, enmarcado dentro del Plan Nacional de Observación del Territorio (PNOT) y coordinado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). Como fotografías históricas se han utilizado y georreferenciado las correspondientes al vuelo americano de 1956-57.



Figura 3.-A la izquierda, la ortofoto del PNOA de máxima actualidad en el entorno de Fraga (Huesca) y a la derecha, el fotograma del vuelo del 56 georreferenciado para la misma zona.

Como complemento a la cartografía general anterior se han desarrollado trabajos batimétricos consistentes en la obtención del lecho y márgenes del cauce en determinadas secciones transversales. También se han identificado los elementos que afectan a la inundabilidad (puentes, motas, encauzamientos, azudes, etc.) y de cada uno de ellos, por topografía clásica, se ha elaborado un croquis con sus características geométricas y cotas.

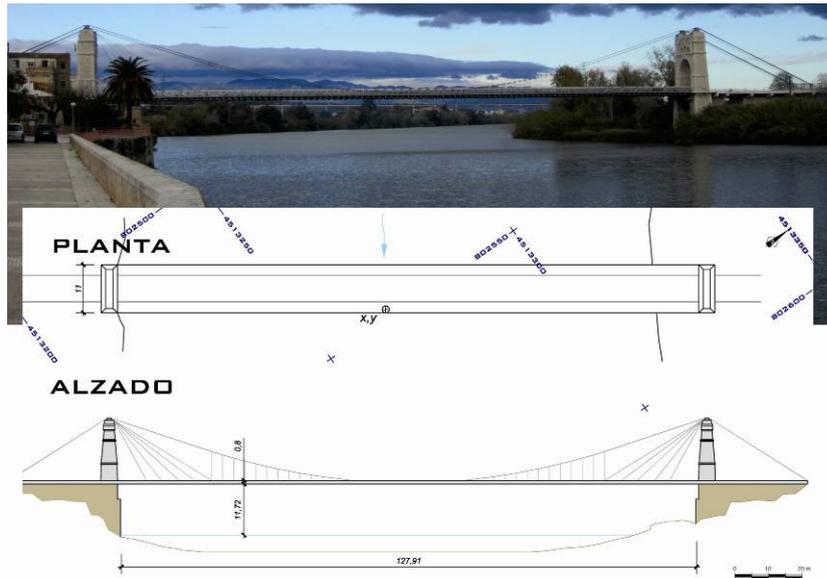


Figura 4.- Croquis del puente colgante de Amposta

Para la definición de las pérdidas de carga en la modelación hidráulica se ha obtenido toda la información disponible sobre usos del suelo en cada tramo de estudio. Se ha utilizado el mapa del SIOSE (Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España), combinado con las ortofotos del PNOA en aquellas zonas donde ha sido preciso abordar alguna corrección de dicha base cartográfica.



Figura 5.- Distribución espacial del coeficiente de rugosidad de Manning a partir la cartografía de usos del suelo del SIOSE y su revisión con la ortofoto PNOA de Máxima Actualidad (imagen correspondiente al entorno de Fraga, Huesca)

3.2.- Hidrología

Desde el punto de vista hidrológico, los datos de caudales requeridos en cada tramo se refieren a la Máxima Crecida Ordinaria (MCO), de acuerdo con la definición establecida en el Artículo 4 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico según la modificación de Real Decreto 9/2008, así como a las crecidas correspondientes a periodos de retorno de 10, 100 y 500 años, que, como se ha visto, caracterizan los eventos de alta, media y baja probabilidad, respectivamente.

Dentro del ámbito del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, encargó al CEDEX, mediante un Convenio de colaboración, la elaboración de un mapa de los caudales máximos asociados a distintas probabilidades de recurrencia en diferentes cuencas hidrográficas españolas. Este mapa ofrece datos de caudal para cada tramo en celdas de 500 m.

Este trabajo dio como resultado la aplicación CAUMAX, integrada en un sistema de información geográfica, en la que es posible consultar los caudales máximos instantáneos en régimen natural asociados a distintos periodos de retorno para los cauces con una cuenca superior a 50 km² y calcular estos caudales mediante el método racional modificado para cauces con cuencas inferiores a 50 km².

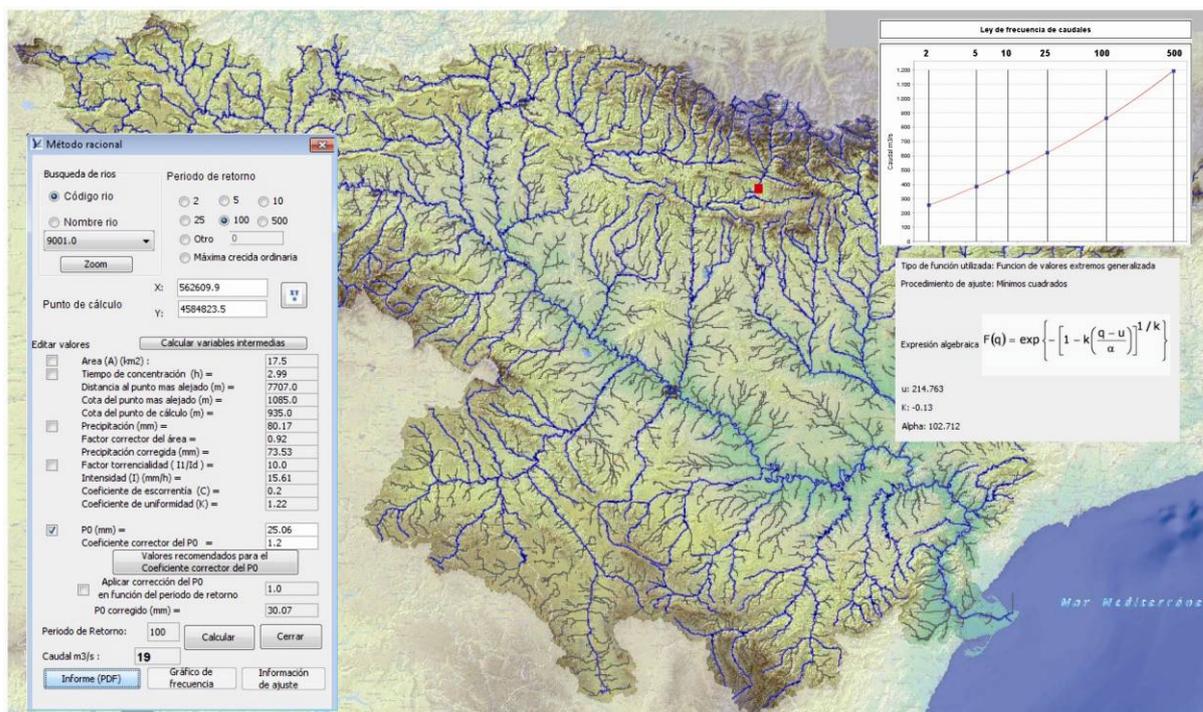


Figura 6.- Consultas de caudales en CAUMAX para cuencas superiores a 50 Km² (método de ajuste foronómico) y para cuencas inferiores a 50 Km² (método racional modificado)

Como es lógico, en el presente trabajo y como base de partida general se han utilizado los resultados proporcionados por CAUMAX, que corresponden al régimen natural en cuanto a régimen de caudales, esto es, sin tener en consideración las minoraciones en los caudales máximos que producen los embalses situados agua arriba de cada uno de los tramos estudiados.

Los resultados anteriores han sido contrastados con los derivados de otros trabajos, que ha producido excepciones al procedimiento general como las siguientes:

- En algún caso ha sido preciso trabajar sobre cuencas inferiores a 10 km². Estas cuencas no están tratadas en CAUMAX, por lo que se han resuelto por aplicación directa del método racional. En estos casos se sigue la misma propuesta de modificación del método racional que aplica la herramienta, pero se emplean capas de cálculo con mayor detalle a nivel de cuenca, fundamentalmente la relativa al umbral de escorrentía donde se recurre a un paso de malla de 25 metros, frente a los 500 m de CAUMAX.

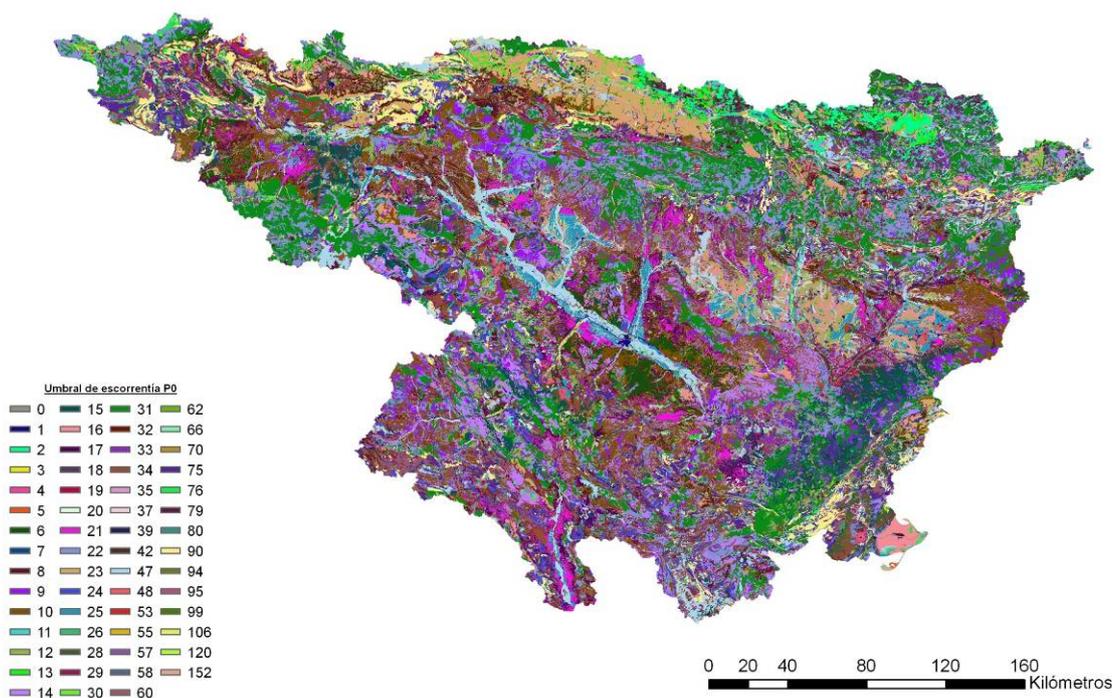


Figura 7.- Umbral de escorrentía (P_0) en condiciones medias de humedad y características agrológicas (R).

- En el tramo bajo del Ebro, la incidencia de las obras de regulación existentes en toda la cuenca es tan importante que la laminación de las avenidas es muy significativa. Ello ha hecho que en este tramo se haya trabajado con el régimen alterado, lo que reduce apreciablemente los caudales punta de cálculo respecto al régimen natural, asimilando el régimen de avenidas al que ahora se conoce.

- En algunas zonas existen trabajos distintos de CAUMAX que proporcionan mejores resultados que este. Se trata de estudios de detalle de un ámbito mucho más reducido y, por tanto, capaces de considerar las particularidades locales. En estos casos los resultados de la modelación hidráulica, se aproximan más a lo que indican las evidencias geomorfológicas, se han adoptado dichos caudales.

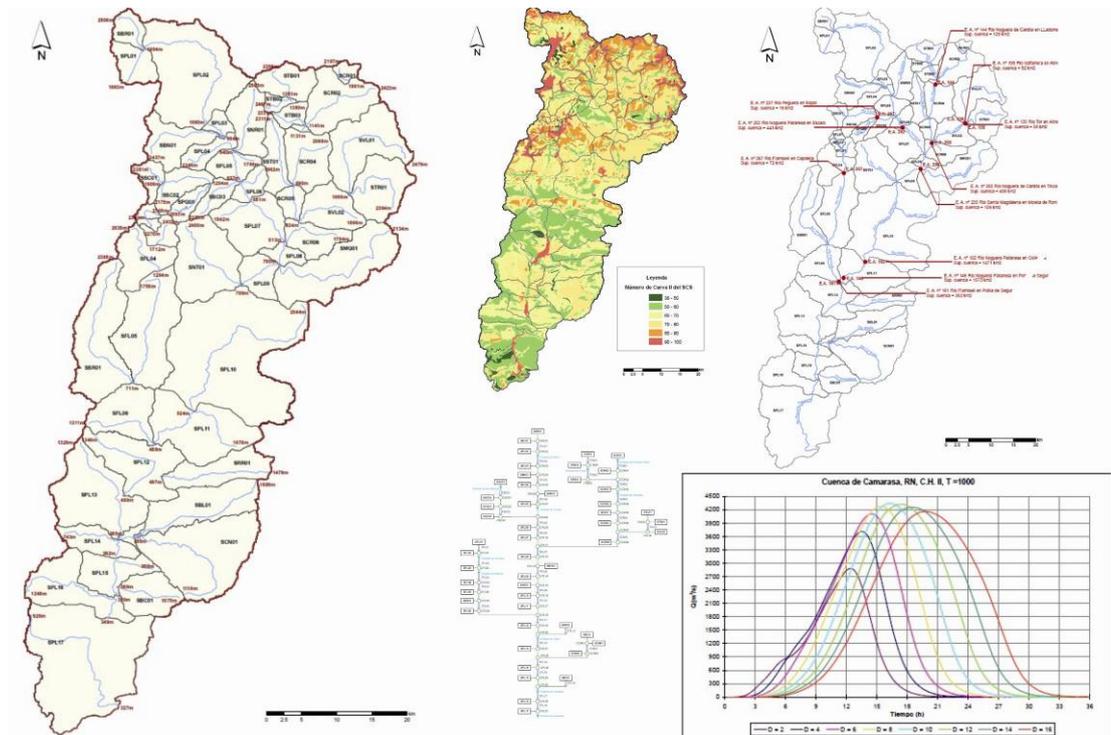


Figura 8.- Ejemplo de estudio hidrológico de detalle para la cuenca del Noguera Pallaresa

- Algunas CCAA han desarrollado también trabajos de ámbito general que cubren, cada uno de ellos, parcialmente la cuenca del Ebro y que, por su menor extensión territorial, pueden considerarse en principio como más ajustados al caso concreto. Los resultados de estos estudios han sido considerados y contrastados, en un proceso semejante al descrito en el párrafo anterior. También en este caso se ha optado por trabajar con los caudales que mejor representan las evidencias geomorfológicas, optando, en caso de duda, por los previamente utilizados.

El proceso anterior ha permitido mantener la coherencia territorial de los trabajos en todo el ámbito de la cuenca por una parte y, por otra, ha incorporado las singularidades locales cuando estas tienen incidencia práctica.

En cualquier caso, los valores de caudales finalmente adoptados y su procedencia han quedado reflejados en la documentación elaborada.

3.3.- Hidráulica

A la hora de abordar el estudio hidráulico se debe contar con una serie de datos básicos como la topografía, obtenida a partir de los modelos digitales del terreno ya comentados. En la modelación hidráulica de los tramos estudiados se ha utilizado el modelo digital del terreno sin edificios, que proporciona láminas de inundación continuas y permite aplicar la metodología para la obtención de los mapas de riesgo que se detallará más adelante. Sin embargo, en el caso de cauces de pequeña entidad y de carácter torrencial puede ser necesario tener en cuenta la desviación del flujo que pueden provocar los edificios. En estos casos se ha considerado dicho efecto mediante la introducción de muros (“obstrucciones” en el caso de los modelos unidimensionales) de poca altura que orienten el flujo de acuerdo a la realidad, pero que a su vez se vean desbordados para obtener una lámina de inundación continua.

La simulación hidráulica se ha llevado a cabo con caudales uniformes, ya que con un régimen permanente se obtienen resultados que quedan del lado de la seguridad.

Los coeficientes de rugosidad de Manning se han obtenido a partir de los usos del suelo del SIOSE de acuerdo con la siguiente tabla de equivalencias:

Cobertura simple	Etiqueta	Número de Manning propuesto
Arroz	CHA	0.040
Cultivos herbáceos distintos de arroz	CHL	0.040
Cítricos	LFC	0.060
Frutales no cítricos	LFN	0.060
Viñedo	LVI	0.050
Olivar	LOL	0.060
Otros cultivos leñosos	LOC	0.040
Prados	PRD	0.045

Cobertura simple	Etiqueta	Número de Manning propuesto
Pastizales	PST	0.045
Perennifolias	FDP	0.070
Caducifolias	FDC	0.070
Coníferas	CNF	0.070
Matorral	MTR	0.060
Playas, dunas y arenales	PDA	0.025
Ramblas	RMB	0.035
Roquedo	RQD	No existe
Acantilados marinos	ACM	0.025
Afloramientos rocosos y roquedos	ARR	0.035
Coladas lávicas cuaternarias	CLC	0.030
Canchales	CCH	0.035
Suelo desnudo	SDN	0.025
Zonas quemadas	ZQM	0.040
Glaciares y nieves permanentes	GNP	0.025
Edificación	EDF	Se propone distinguir entre 0,04 para el supuesto de modelización con edificios y 0,12 para modelización sin edificios
Zona verde artificial y arbolado urbano	ZAU	0.090
Lámina de agua artificial	LAA	0.015

Cobertura simple	Etiqueta	Número de Manning propuesto
Vial, aparcamiento, zona peatonal sin vegetación	VAP	0.040
Suelo no edificado	SNE	0.040
Otras construcciones	OCT	0.040
Zonas de extracción o vertido	ZEV	0.040
Zonas pantanosas	HPA	0.040
Turberas	HTU	0.040
Salinas continentales	HSA	0.040
Marismas	HMA	0.040
Salinas marinas	HSM	0.040
Cursos de agua	ACU	0.040
Lagos y lagunas	ALG	0.025
Embalses	AEM	0.025
Lagunas costeras	ALC	0.030
Estuarios	AES	0.030
Mares y océanos	AMO	0.025

3.3.1.- MODELO HIDRÁULICO UNIDIMENSIONAL.

En el caso de cauces relativamente encajados o cuando se ha querido contrastar y comparar estudios existentes se ha recurrido a modelos hidráulicos unidimensionales.

Como herramienta para la modelización de la propagación de avenidas en régimen unidimensional, se ha utilizado el programa HEC-RAS 4.0 desarrollado por el *Hidrologic Engineering Center* del *U.S.Army Corps of Engineers*, junto con la herramienta de pre- y postproceso HEC-GeoRAS.

Como norma general se han ubicado secciones cada 100 metros en zona rústica y cada 25 metros en zona urbana.

Condiciones de contorno.

Las condiciones de contorno empleadas son las siguientes:

- Hidrograma. Se ha introducido un caudal constante como condición de contorno aguas arriba.
- Pendiente uniforme. La pendiente uniforme se utiliza como condición de contorno de aguas abajo. Esta opción utiliza la ecuación de Manning para calcular el calado en función del caudal.

3.3.2.- MODELO HIDRÁULICO BIDIMENSIONAL

La utilización de modelos bidimensionales se hace indispensable en zonas en las que el campo de velocidades, tanto la componente en el sentido del flujo como en sentido transversal tienen importancia. Este es el caso grandes llanuras aluviales o zonas en las que se producen desbordamientos laterales significativos. Estos modelos proporcionan resultados más exactos desde el punto de vista de la distribución de velocidades.

Los modelos bidimensionales resuelven las ecuaciones de Saint-Venant en los nodos de una malla de cálculo generada a partir de la topografía, según el método de volúmenes finitos o el método de los elementos finitos, siguiendo distintos esquemas de cálculo.

Para el presente trabajo se ha utilizado el programa de cálculo hidráulico bidimensional INFOWORKS ICM.

Se ha realizado un mallado sensible al terreno, que permite una mejor adaptación de los elementos a la topografía. Cuando la anchura del cauce a modelizar es pequeña comparada con el tamaño mínimo de triángulo del mallado del modelo, se han introducido líneas de rotura (éstas definen por dónde

deben pasar las aristas de los elementos del mallado) en la base del mismo para conseguir una mejor representación.

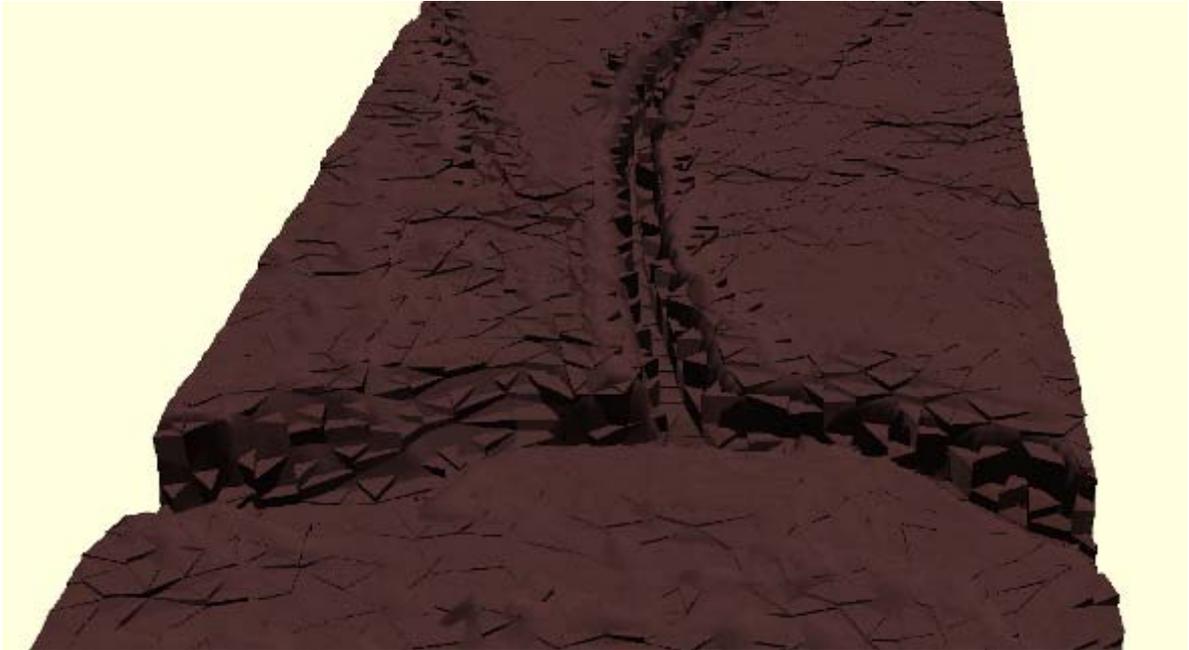


Figura 9.- Visión en 3D de la desembocadura de un cauce de pequeña entidad con líneas de rotura en la base del lecho.

Las condiciones de contorno de cada tramo son la de entrada, que es el caudal y la de salida. Para ésta última se ha adoptado como norma general la condición de “calado normal” (este calado se calcula considerando que la pendiente final del tramo se prolonga indefinidamente), si bien en tramos que desemboquen en embalses o en el mar se ha adoptado un nivel fijo para la lámina de agua.

En cualquier caso, para evitar efectos de contorno se han adoptado unas longitudes de acomodación que se han añadido en los extremos inicial y final del tramo a modelizar. Como longitud de acomodación en la entrada se ha adoptado la anchura de la llanura de inundación, de esta forma se permite una correcta distribución del flujo. En la salida, la longitud de acomodación es función de la pendiente al final del tramo para disipar los posibles errores al asumir la condición de “calado normal” a la salida del modelo.

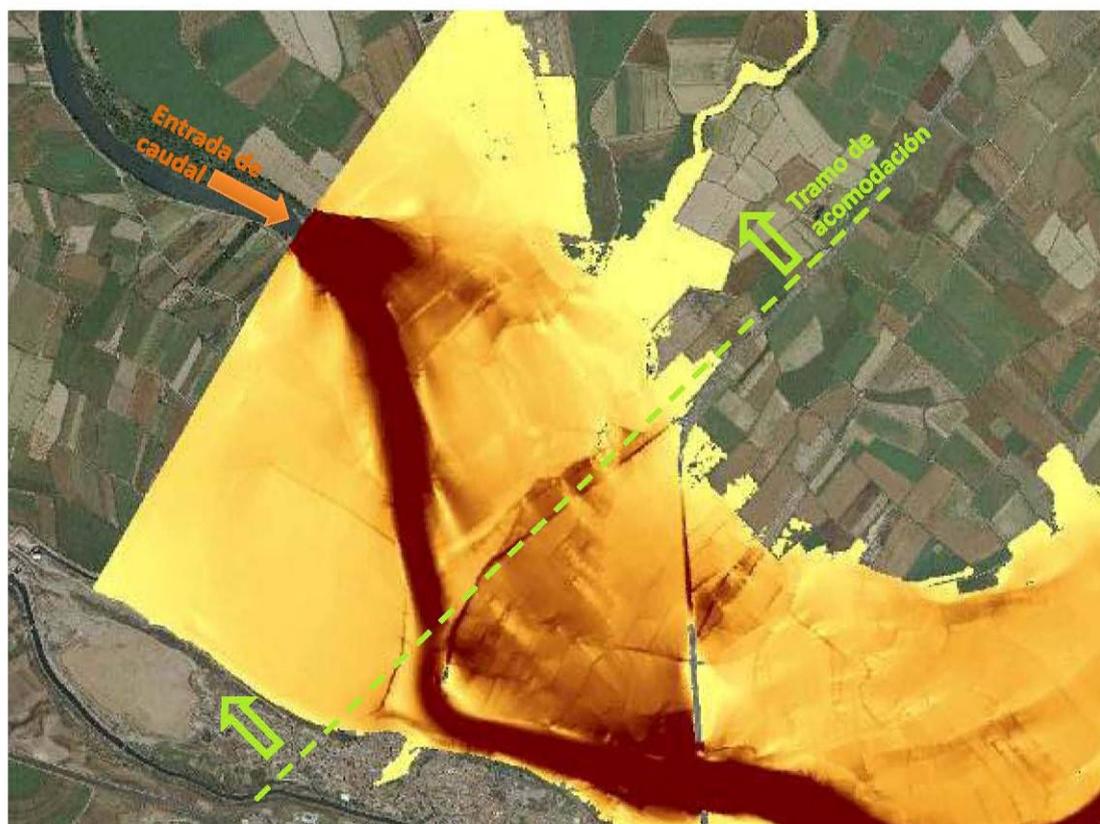


Figura 10.- Distribución de velocidades en la entrada del modelo. Se aprecia la distribución del flujo desde la zona de entrada por la llanura de inundación. Estos valores no pueden considerarse válidos.

3.3.3.- CALIBRACIÓN

Consiste en ajustar la superficie de inundación que obtiene el modelo hidráulico con las producidas en la realidad.

En aquellos casos en los que se disponía de información de detalle de inundaciones históricas se ha llevado a cabo una calibración del modelo bastante precisa. En este sentido resulta de gran ayuda disponer de fotografías aéreas de la inundación en las que se pueda apreciar la extensión de la misma. Se trata de una información de amplia extensión, por lo que no se ve influida por efectos locales.

En su defecto se ha recopilado información de niveles que han alcanzado las avenidas señalados en fachadas, por los sólidos flotantes, etc. Al contrario que en el caso anterior, esta información puede verse influida por efectos locales, como obstrucciones del cauce, rotura de motas, etc.



Figura 11.- Arriba: marcas de humedad en las escuelas de Sádaba tras la avenida de octubre de 2012. Abajo: extensión de la lámina de agua obtenida a partir del modelo hidráulico para un caudal equivalente.

En el proceso de calibración se han determinado los valores asignados a los coeficientes de rugosidad, mejorando las estimaciones realizadas inicialmente. En ocasiones, el ajuste del modelo unidimensional puede requerir la modificación de otros elementos como la ubicación de algunas secciones transversales, de zonas de flujo inefectivo, etc.

3.4.- Geomorfología

En las zonas emergidas terrestres, el principal agente del modelado es el agua, autora de forma directa o indirecta de buena parte de los principales rasgos morfológicos del terreno. En nuestras latitudes, son los cursos fluviales, entendidos éstos en su más amplia acepción, los responsables de dicho modelado, si bien buena parte de las formas ligadas a su acción resultan, a escala temporal humana, antiguas y, por tanto, no activas.

Dentro de los diferentes factores que intervienen en el desarrollo del modelado fluvial, uno de los aspectos a tener en cuenta son las consecuencias derivadas de las continuas variaciones que registra el volumen de agua circulante por sus cauces. En condiciones ordinarias, estos caudales ocupan una parte del cauce y su flujo es relativamente lento, con lo que los mecanismos de modelado predominantes son el transporte y la sedimentación de partículas finas arrastradas por las aguas, teniendo lugar estos fenómenos exclusivamente en el lecho fluvial. Cuando los caudales circulantes aumentan de forma significativa, el patrón de modelado cambia, disminuyendo la sedimentación primero, aumentando el transporte y apareciendo nuevos fenómenos de erosión, los cuales llegan a ser predominantes en situaciones de avenida y pueden conllevar una modificación efectiva del trazado del río por migración.

La migración fluvial puede representar desde un proceso lento, apenas perceptible a escala humana, hasta otro extraordinariamente rápido, de cambios en el trazado fluvial con resultados catastróficos.

Lógicamente, la intensidad de los cambios en el modelado y la extensión del área afectada dependen en todo momento de la energía disponible en el medio; es decir, son función del caudal circulante, el cual depende a su vez del calado y la velocidad a la que circula el agua.

Partiendo de esta premisa, parecería deducirse que serían las grandes avenidas, las de periodo de retorno muy elevado, las principales responsables del modelado y que, por tanto, los cambios morfológicos introducidos por ellas afectarían a la práctica totalidad del área inundada. Sin embargo, la mera observación desvela que son las zonas sujetas a crecidas frecuentes donde se registran las mayores alteraciones morfológicas. Esto último es consecuencia precisamente de la mayor reiteración de los fenómenos de crecida y del mayor calado y velocidad que tiene el agua fluyente en estas zonas.

Por tanto, en el entorno de los cauces se tiende a registrar repetidos **periodos de erosión**, seguidos siempre de **episodios de sedimentación** al disminuir el volumen de agua circulante, que suelen dejar huella de su existencia en las márgenes fluviales. Los ribazos escarpados, canales secundarios y surcos erosivos son evidencias de los primeros y las barras o dunas de arena y/o grava o playazos de los segundos. En cambio, en zonas más alejadas del cauce, en especial las situadas a una cota sensiblemente superior a la de éste, aun cuando la avenida sea muy importante y la zona inundada

muy extensa, el reducido calado de la lámina de agua y la moderada o escasa velocidad del flujo hace que no se registren (o sean de muy escasa entidad) los fenómenos erosivos, dándose tan sólo una cierta deposición de partículas, en general finas, arrastradas por el río, generándose delgados lechos limo-arenosos sin repercusión geomorfológica apreciable, puesto que con frecuencia tienden a confundirse con los suelos ya existentes y, cuando esto no ocurre, quedan difuminados por la vegetación o por las prácticas antrópicas habituales asociadas a la riberas fluviales.

Como resumen, puede afirmarse que las modificaciones geomorfológicas del entorno ligadas a la actividad fluvial tienden a concentrarse en las inmediaciones del cauce, en las zonas afectadas por las crecidas ordinarias y por avenidas de bajo periodo de retorno. Sin embargo, en zonas más alejadas del cauce, en especial las situadas a cotas sensiblemente superiores al lecho, su repercusión es mucho menor, incluso despreciable. Es decir, en avenidas y crecidas, las afecciones por el agua incluyen la modificación de los rasgos morfológicos preexistentes en el entorno del cauce en cuestión, mientras que en zonas alejadas la lámina de agua tiende a adaptarse a los rasgos existentes sin modificarlos en grado significativo.

Por tanto, el análisis de los rasgos geomorfológicos del entorno fluvial permite definir con precisión adecuada las zonas de inundabilidad elevada (las que se inundan frecuentemente por el desbordamiento de los ríos) disminuyendo la fiabilidad del criterio geomorfológico a medida que su grado de inundabilidad se reduce. Por este motivo, el análisis geomorfológico de las ARPSIs de la Cuenca Hidrográfica del Ebro se ha centrado fundamentalmente en definir el dominio correspondiente al cauce, entendiendo como tal lo recogido en el artículo 4 del Texto Refundido de la Ley de Aguas: “el terreno cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias”.

Para ello se han efectuado dos series de cartografías geomorfológicas de los tramos fluviales afectados. Las características básicas de estos trabajos son las siguientes:

- Cartografía geomorfológica de los cauces en su situación actual, que en muchos casos refleja el estado y rasgos de unos cauces bajo condiciones alteradas, derivadas de las obras de regulación y derivación de caudales y de los tratamientos de márgenes y encauzamientos efectuados en las últimas décadas. El análisis se ha realizado fundamentalmente a partir de la interpretación de las ortoimágenes del PNOA en combinación con los Modelos Digitales del Terreno (derivados de los registros LIDAR tratados que han sido utilizados en la modelación hidráulica) y el apoyo de imágenes estereoscópicas. Se ha digitalizado esta cartografía directamente sobre las ortoimágenes del PNOA.
- Cartografía geomorfológica de los cauces a mediados del siglo XX, correspondiente, según los casos, a una situación seminatural o natural. Se ha efectuado a partir del análisis de los fotogramas aéreos del denominado “vuelo americano” (1956-57) con el apoyo de los fotomapas elaborados por la Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro (1927). La cartografía se ha digitalizado sobre fotogramas del “vuelo americano” georreferenciados a tal efecto y, en el caso de Cataluña, sobre ortoimágenes del citado vuelo desarrolladas por el

Institut Cartogràfic de Catalunya. Como consecuencia de las deformaciones resultantes a pesar de la rectificación de los fotogramas de este vuelo, en ambos casos se han tenido que realizar pequeños ajustes finales manuales.

El Texto Refundido de la Ley de Aguas, en su artículo 6, diferencia dentro del cauce la zona de ribera, definiendo las riberas como “las fajas laterales de los cauces situadas por encima del nivel de aguas bajas”.

Por su parte, la Guía Metodológica para el Desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, en el capítulo 4 (Análisis Histórico) considera la existencia de un canal de aguas bajas y una zona ribereña cuyas características serían intermedias entre las del cauce y las del resto de la llanura aluvial. De acuerdo con dicha definición, esta zona ribereña podría incluir la ribera definida por el Texto Refundido de la Ley de Aguas y terrenos situados fuera de la misma y, por tanto, externos al cauce.

Ante esta falta de concordancia entre el cauce legal y el geomorfológico, en unos casos se ha optado por recoger en la cartografía, tanto en la situación actual como en la histórica, exclusivamente el dominio ocupado por el cauce y en otros se ha efectuado una zonificación geomorfológica del mismo, definiendo distintas unidades geomorfológicas asociables a él, como las siguientes:

UNIDAD	DEFINICIÓN	EJEMPLO
<p>Cauce ordinario o de aguas bajas</p>	<p>Canal natural del río delimitado por orillas más o menos netas y ocupado por las aguas en situación ordinaria.</p> <p>Forma parte del Dominio Público Hidráulico</p>	
<p>Cauce de crecidas ordinarias</p>	<p>Sector de canal natural del río delimitado por orillas más o menos netas y ocupado por las aguas en situación de crecida ordinaria (inferiores a la máxima crecida ordinaria).</p> <p>Forma parte del Dominio Público Hidráulico</p>	

UNIDAD	DEFINICIÓN	EJEMPLO
Llanura de inundación (ribera)	Sector de la llanura aluvial del río situado fuera del lecho morfológico y ocupado por las aguas en situación de máxima crecida ordinaria. Forma parte del Dominio Público Hidráulico	
Cauce soterrado	Cauce artificial construido en túnel o falso túnel que sustituye o modifica al cauce natural. Forma parte del Dominio Público Hidráulico	
Fondo de Val	Valle de fondo plano sin cauce definido y habitualmente seco que en condiciones de crecida se inunda en su práctica totalidad. Forma parte del Dominio Público Hidráulico	
Derrame lateral	Lóbulo deposicional asimilable a abanico aluvial generado por la acción de aguas de escorrentía difusa y encauzada que actúa en parte como llanura de inundación. Puede formar parte del Dominio Público Hidráulico	
Otros cauces	Cauces artificiales que complementan o sustituyen al cauce natural. Forman parte del Dominio Público Hidráulico	
	Cauce natural de río tributario que interfiere con el del curso estudiado. Forman parte del Dominio Público Hidráulico	

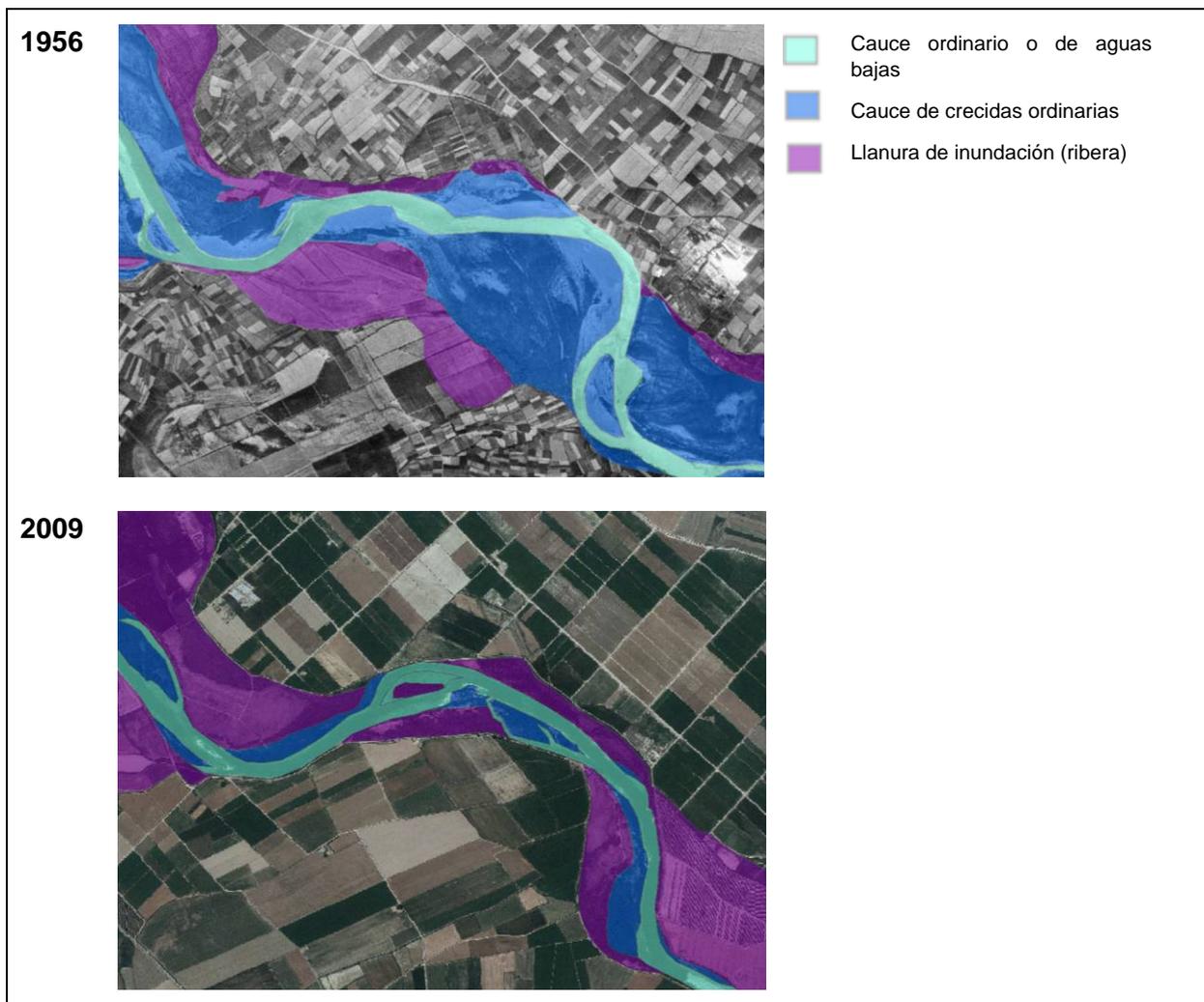


Figura 12.- Ejemplo de evolución geomorfológica: Río Ebro al sur del casco urbano de Pina de Ebro

Para la definición cartográfica del cauce en el sentido recogido por el Texto Refundido de la Ley de Aguas se estudia la situación actual alterada y la histórica. El Dominio Público Hidráulico Potencial con criterios meramente geomorfológicos, se ha definido según lo propuesto en la Guía Metodológica para el Desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, definiéndose tres categorías de dominio público potencial:

- Dominio Público Hidráulico Potencial de tipo a (DHPa), que sería el correspondiente al cauce natural en la situación actual.
- Dominio Público Hidráulico Potencial de tipo b (DHPb), que correspondería a zonas de cauce histórico que en la actualidad, por causas diversas (naturales o no), ya no forman parte del DHPa.
- Dominio Público Hidráulico Potencial de tipo c (DHPc), que obedece a tramos fluviales o zonas que por acción humana directa sobre el terreno han sido detraídos del cauce artificialmente, mediante relleno o a partir de obras de defensa, del DHPa.

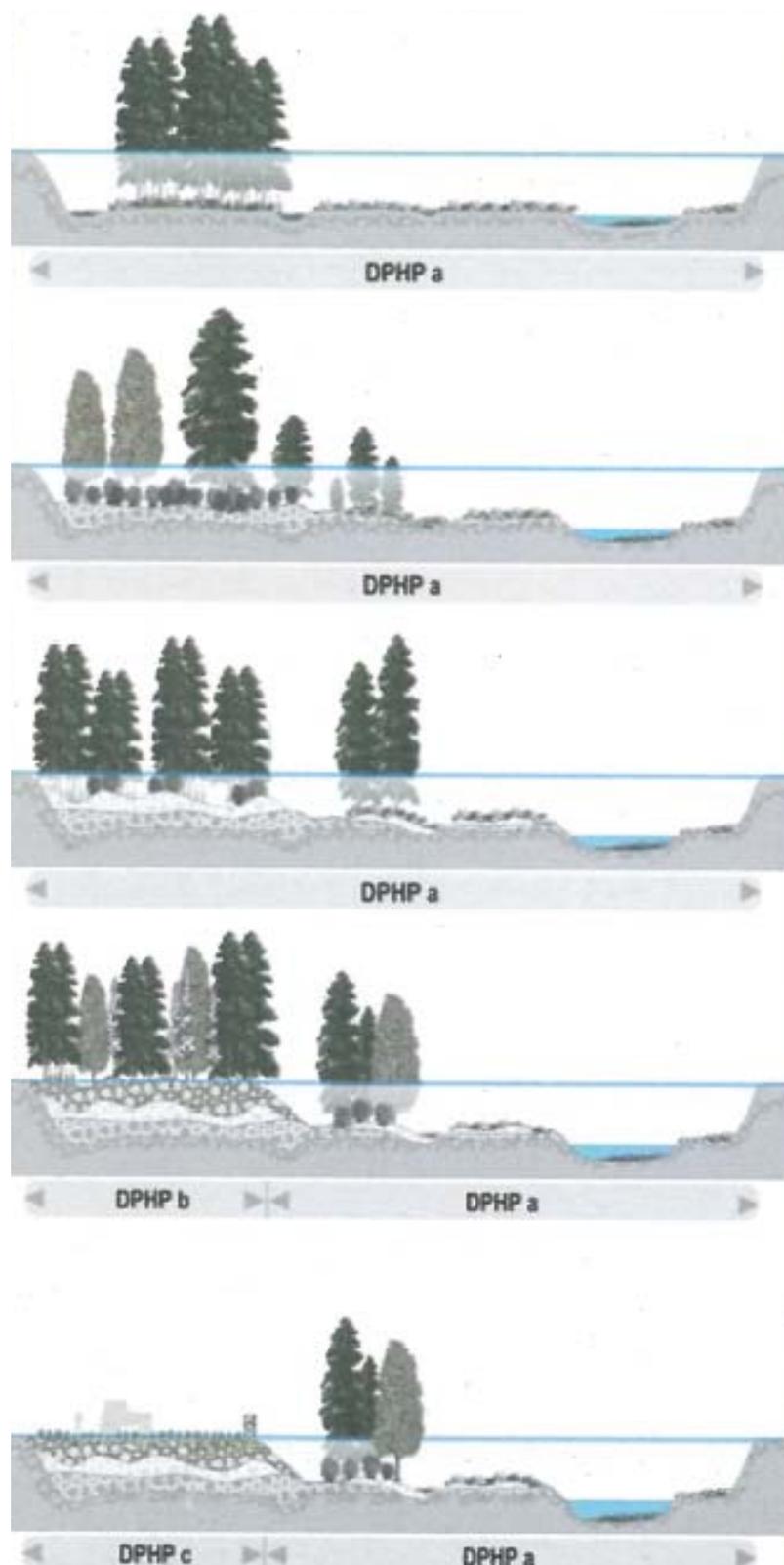
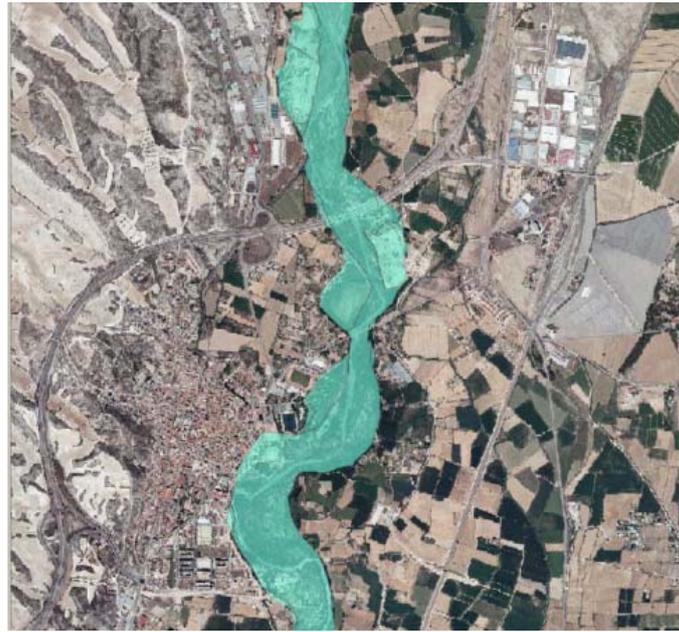


Figura 13.- Representación de una de las tendencias que pueden darse en la evolución del DPHP, desde la década de los 50, arriba, hasta la actualidad, abajo. Fuente. Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables.

Dominio Público Hidráulico definido con criterios geomorfológicos



Zonificación del Dominio Público Hidráulico Potencial mediante criterios geomorfológicos:

-  DPHP a
-  DPHP b
-  DPHP c

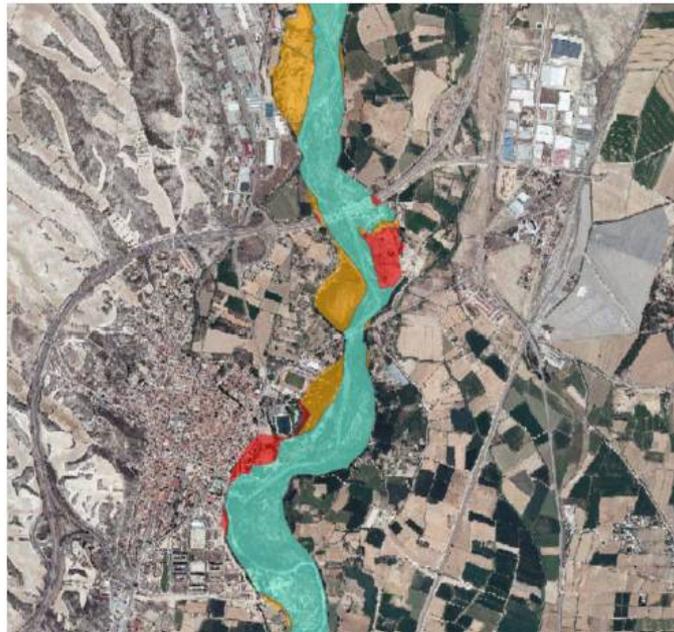


Figura 14.- Ejemplo de definición geomorfológica del DPHP: río Gállego en Zuera (Zaragoza): tramo afectado por presiones Urbanísticas y labores extractivas

3.5.- Información gráfica

Los mapas de peligrosidad incluyen láminas de inundación y calados para los siguientes escenarios:

- a) Alta probabilidad de inundación (periodo de retorno mayor o igual a 10 años).
- b) Probabilidad media de inundación (periodo de retorno mayor o igual a 100 años).

- c) Baja probabilidad de inundación o escenario de eventos extremos (periodo de retorno igual a 500 años).

Adicionalmente, en los mapas de peligrosidad se representará la delimitación de los cauces públicos y de las zonas de servidumbre y policía, la zona de flujo preferente en su caso, la delimitación de la zona de dominio público marítimo-terrestre, la ribera del mar en caso de que difiera de aquella y su zona de servidumbre de protección.

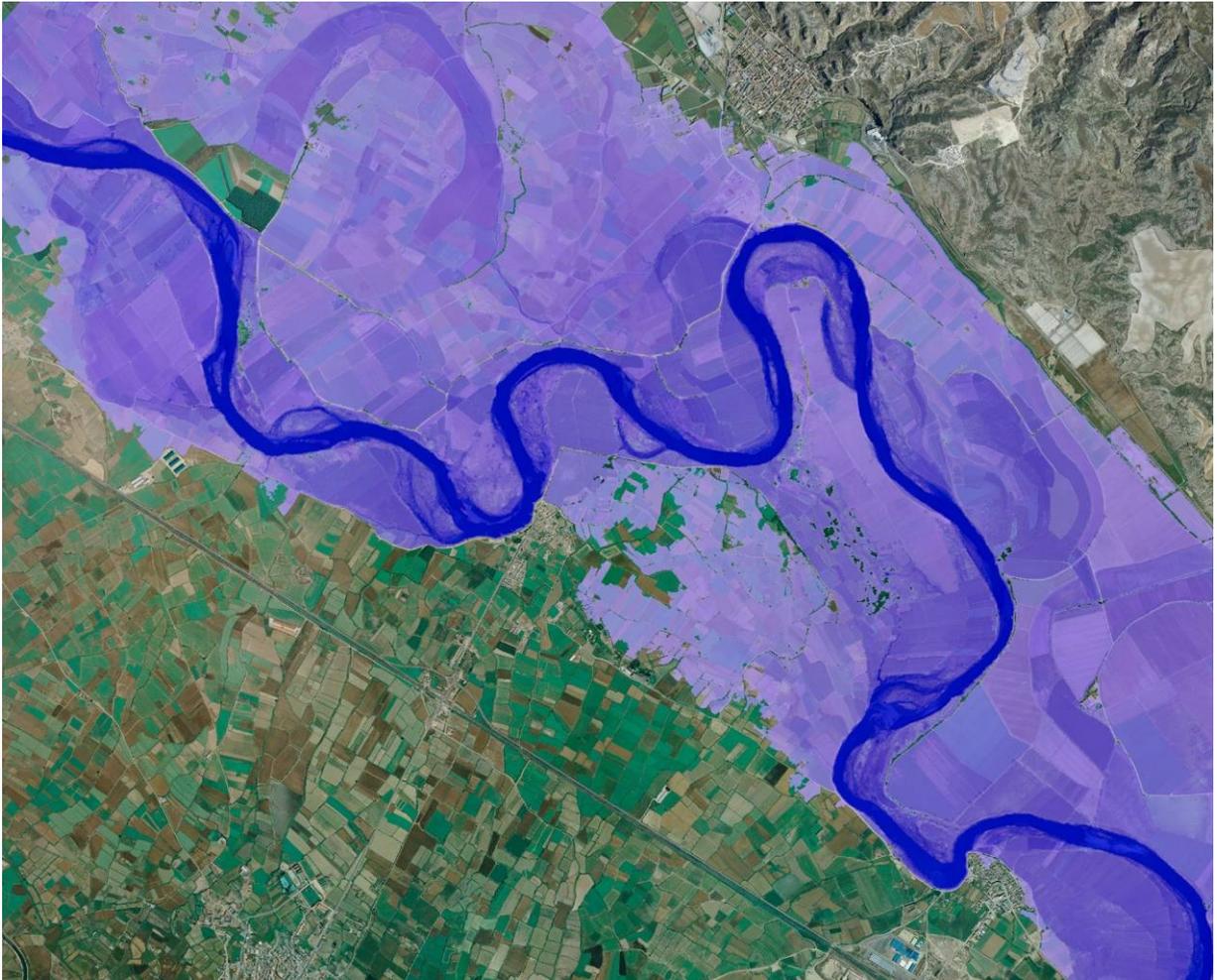


Figura 15.- Distribución de calados para una avenida de 500 años de periodo de retorno en el tramo medio del Ebro.

4.- MAPAS DE RIESGO

El principal objetivo de los mapas de riesgo es aportar la información fundamental para la elaboración de los futuros planes de gestión del riesgo. Por tanto, el alcance y contenido de esta cartografía está condicionado por el de los planes de gestión dentro del marco establecido por la Directiva 2007/60/CE relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación y su trasposición a la normativa estatal mediante el Real Decreto 903/2010, de “Evaluación y Gestión de los Riesgos de Inundación”.

Los mapas de riesgo servirán, además, para poder estimar los daños asociados a inundaciones, tanto en lo concerniente a salud humana como en lo relativo a medio ambiente, patrimonio cultural y actividad económica, de tal forma que proporcionen “una base adecuada para el establecimiento de prioridades y toma de decisiones adicionales de índole técnica, económica y política, relativas a la gestión del riesgo (...)” tal y como se indica en las Consideraciones Iniciales de la Directiva de Inundaciones en su número 12. De esta forma, se podría valorar y priorizar medidas dentro de un ARPSI, así como realizar una comparativa entre diferentes ARPSIs.

4.1.- Estimación de la población afectada

Se ha seguido el proceso establecido en la “Propuesta de mínimos para la metodología de realización de los mapas de riesgo de inundación” elaborada por el MAGRAMA, llegando a determinar la afección a la población clasificada por municipios para cada tramo de cada ARPSI. El procedimiento ha sido el siguiente:

- Se ha partido de la información del INE (Instituto Nacional de Estadística) para la población municipal, de la Agencia Europea de Medioambiente para la densidad de población (cuadrícula de 1 ha) del SIOSE para la clasificación territorial y del IGN para la superficie edificada (capas BCN25/BTN25).

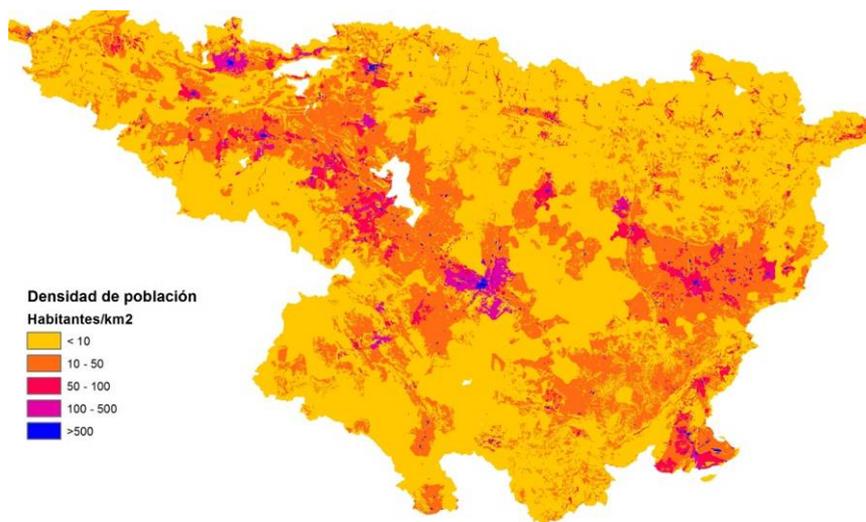


Figura 16.- Mapa de densidad de población empleado para la estimación de la población afectada.

- A partir de la información antes elaborada y plasmada en los mapas de peligrosidad (calados y velocidades) se ha establecido un índice de peligrosidad para los eventos de alta, media y baja probabilidad (periodos de retorno de 10, 100 y 500 años). Este índice viene expresado por la fórmula:

$$HR = d(v + 0.5) + DF$$

- Donde HR es el índice de peligrosidad, d es el calado en m, v es la velocidad en m/s, con redondeo al entero superior y acotado superiormente en el valor 3, y DF es el índice de flujo de escombros (oscila entre 0 y 1 y es función a su vez del calado, de la velocidad y de las características de uso de la zona).
- Por otra parte se evalúa el Área Vulnerable (AV), función de la existencia y operatividad de los sistemas de preaviso de inundaciones, de la rapidez en la formación de la riada y de las características de edificación en la zona. En la cuenca del Ebro, este factor oscila entre un mínimo de 3 y un máximo de 7.
- El producto de los valores anteriores HR y AV, acotado superiormente en 100, representa una estimación del porcentaje de la población total en la zona inundable que se encuentra en riesgo. La población en la zona inundable se estima a partir del mapa de densidad de población antes obtenido.
- Estimación de la población especialmente vulnerable (ancianos y enfermos) a partir de los datos INE como porcentaje de la población total en el municipio y expresado en tanto por uno.
- Estimación del número de heridos, simplemente como producto de la población en la zona inundable por el porcentaje (en tanto por uno) de personas en riesgo y por la fracción de población especialmente vulnerable.

- Estimación del número de muertos esperados para los eventos considerados por aplicación al valor del número de heridos anterior de una tasa de mortalidad, evaluada como dos veces el valor del índice de peligrosidad (HR antes calculado).

La integración de la información geográfica generada a nivel de tramo de ARPSI y municipio y la consideración de las probabilidades asociadas a la frecuencia de los eventos estudiados permite establecer el número anual esperado de muertos y heridos.

4.2.- Estimación de la actividad económica afectada

La estimación de la actividad económica afectada por la ocurrencia de avenidas se basa fundamentalmente en la calidad de la información disponible para evaluar tanto las diferentes actividades económicas como los daños económicos esperados.

Con estos dos factores, se llega a una clasificación de las diferentes categorías económicas.

Como ya se ha comentado antes, la metodología aplicada en el presente trabajo se basa en la "Propuesta de mínimos para la metodología de realización de los mapas de riesgo de inundación", publicada recientemente por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. En esta guía, se propone una clasificación que se corresponda con las categorías de la Reporting Guidance, marcadas por la Comisión Europea, para homogeneizar los mapas de riesgo, no solo para las cuencas españolas, sino para todas las cuencas europeas.

De esta manera, los mapas de riesgo de actividades económicas y los daños económicos debido a las inundaciones en la cuenca del Ebro pueden ser comparados con los del resto de cuencas estatales y europeas.

La clasificación de las distintas actividades económicas es la siguiente:

Categoría en Mapa de riesgo nacional	Categoría para WISE
Urbano concentrado	Urban
Urbano disperso	
Asociado a urbano	
Infraestructura social	Social Infrastructure
Terciario	Commercial
Industrial concentrado	Industrial
Industrial disperso	
Agrícola-Secano	Rural land use
Agrícola-Regadío	
Otros usos rurales	
Forestal	Forests

Categoría en Mapa de riesgo nacional
Infraestructuras: carreteras
Infraestructuras: ferrocarriles
Infraestructuras aeroportuarias
Infraestructuras: energía
Infraestructuras: Comunicaciones
Infraestructuras hidráulico-sanitarias
Infraestructuras: Residuos
Masas de agua
Otras áreas sin riesgo

Categorías de los mapas de riesgo.

Categoría para WISE
Infraestructures
Waterbodies
Other

Categorías de la Reporting Guidance

Como información de partida se ha utilizado la información de usos del suelo suministrada por SIOSE (Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España), atendiendo a los porcentajes mayoritarios de usos correspondientes a cada polígono, y comprobando la idoneidad de la categoría asignada mediante su visualización por medio de ortofotos recientes, con el fin de verificar el grado de actualización de dicha información.

La equivalencia entre los usos del suelo del SIOSE y las categorías de actividades económicas es la expuesta en la citada guía de “*Propuesta de mínimos para la metodología de realización de los mapas de riesgo de inundación*”.

Sin embargo, el empleo único de la capa del SIOSE, se demostró insuficiente a la hora de representar el mapa de actividades económicas, ya que discrimina muchas de las edificaciones, tanto de índole industrial, como urbano en el que el porcentaje de ocupación de este uso en un polígono no es mayoritario. Esta dificultad para asignar un uso mayoritario a cada polígono (deficiencia notoria en especial en edificaciones diseminadas) se llega a observar incluso en entornos muy urbanizados.

También es insuficiente a la hora de valorar los daños económicos esperados, ya que, puede ocurrir que sólo se encuentre en zona inundable una pequeña porción de ese polígono y que casualmente se corresponda con uno de los porcentajes minoritarios, que en el caso de edificaciones son además las que más valor económico tienen.

Por ello, se ha utilizado como fuente de información complementaria la capa BCN/BTN-25, segregando de la capa del SIOSE los valores porcentuales de edificación, aprovechando la correcta digitalización de los mismos en la capa BTN-25.



Figura 17.- Mapa de actividades económicas sin y con aportación de capa BTN-25

A continuación se describen las diferentes fases para la generación de la capa de vulnerabilidad desde el punto de vista de las actividades económicas.

- Fase 1. Filtrado de capas BTN/BCN 25
- Fase 2. Procesado de la capa entidades población.
- Fase 3. Identificación de los edificios que son de categoría urbano concentrado o urbano disperso.
- Fase 4. Identificación de las instalaciones industriales que son de naturaleza industrial concentrado o industrial disperso.
- Fase 5. Acondicionamiento de las capas BTN/BCN-25.
- Fase 5. Modificaciones de la capa SIOSE por el uso del BTN/BCN-25
- Fase 6. Cálculo de los usos de máxima ocupación

A continuación se muestra el resultado de la capa, clasificando los polígonos según la actividad económica:

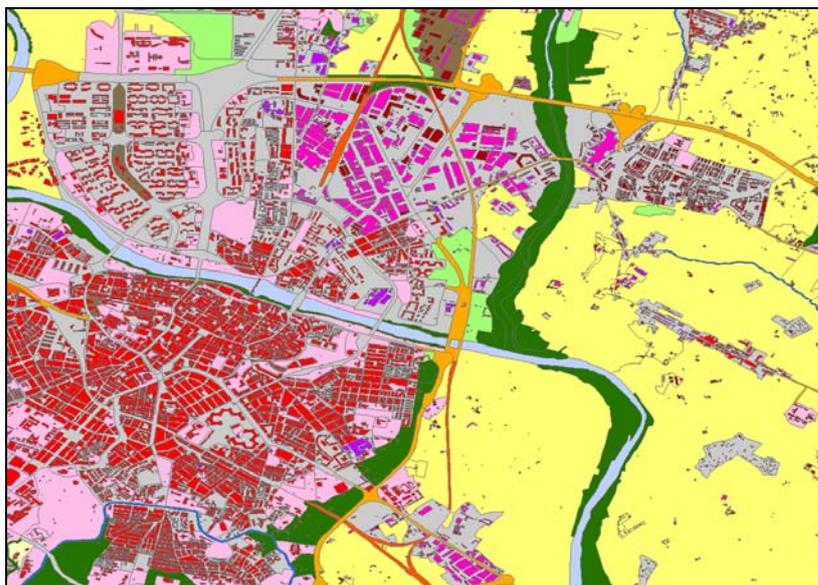


Figura 18.- Mapa de actividades económicas final. Zaragoza.

La estimación de los daños económicos esperados debido a las inundaciones es un proceso difícil de evaluar. Esto se debe a varios factores, entre los que cabe destacar:

- La gran heterogeneidad que presenta la valoración de las actividades económicas en una cuenca de gran superficie como la del Ebro.
- Los múltiples factores de los que dependen los daños económicos, i.e. calado, velocidad, tiempo de exposición,.. etc.
- La calidad de la información disponible acerca de las diferentes actividades económicas.

En el presente trabajo, se han evaluado únicamente los daños económicos directos, ya que son cuantificables y contrastables con avenidas reales.

Para determinar los daños de manera precisa, se emplea una función de daños que permita considerar el efecto diferencial de una avenida en función de su magnitud. Esta magnitud es el calado del agua. A partir de valores experimentales y de la cuantificación de los daños en eventos históricos se han obtenido distintos tipos de curvas en las que el porcentaje de daños aumenta a medida que lo hace el calado. En el presente proyecto, se ha aplicado la curva de daños que propone la guía de “Propuesta de mínimos para la metodología de realización de los mapas de riesgo de inundación”. Se trata de una función de daños compuesta por cuatro escalones. Cada uno de ellos tiene asociado un coeficiente minorizante, que reduce los daños asociados al mismo.

Calado (m)	Coficiente minorizante
0-0.3	0.2
0.3-0.7	0.6
0.7-2	0.9
>2	1

Función escalón de daños.

En las conclusiones derivadas del proyecto PREEMPT (Policy-relevant assessment of socio-economic effects of droughts and floods) promovido por la Dirección General de Ayuda Humanitaria y Protección Civil de la CE y que el Centro Vasco para el Cambio Climático ha aplicado de forma práctica en la cuenca del Ebro, se concluye que para cualquier tipo de uso, calados mayores de 2 metros suponen una afección total al elemento considerado.

Para calados de 0.7 m se produce un punto de inflexión importante a partir del cual se ven afectados los elementos principales de las edificaciones, como objetos en mesas (PCs, impresoras), cuadros, libros, almacenaje, electrodomésticos sobre encimeras, etc., por lo que para calados entre 0.7 y 2 m., se considera una afección casi total.

Por otro lado, calados inferiores a 0,3 m provocan poca afección al contenido de edificios.

Finalmente, teniendo en cuenta la posibilidad de que en las edificaciones e instalaciones pueda haber elementos significativos por encima de 30 cm (televisores, electrodomésticos a baja altura, enchufes, instalaciones industriales...) se ha incluido un escalón intermedio entre la cota 0.3 y 0.7 m.

Considerando las categorías propuestas para la valoración económica del riesgo, se propone el uso homogéneo de los siguientes valores para cada uso del suelo. **Los valores de riesgo son orientativos hasta que se realice una calibración de precios unitarios, sin embargo, la homogeneidad de precios en la cuenca para cada uso permite comparar y establecer de prioridades en la selección de actuaciones.**

A continuación se muestra la valoración económica en función de las actividades económicas establecidas:

Uso del suelo	Valor del riesgo (€/m ²)
Urbano concentrado	500
Urbano disperso	500
Asociado a urbano	200
Infraestructura social	200
Terciario	500
Industrial concentrado	600
Industrial disperso	600
Agrícola	20
Otros usos rurales	5
Forestal	0
Infraestructuras: carreteras	450
Infraestructuras: ferrocarriles	500
Infraestructuras: aeroportuarias	550
Infraestructuras: energía	600
Infraestructuras: comunicaciones	600
Infraestructuras: hidráulico sanitarias	600
Masas de agua	0
Otras áreas sin riesgo	0

Valor (€/m²) en función de la actividad económica.

Finalmente, se muestra el resultado final de la capa que permitirá evaluar los daños económicos en función del calado, clasificando los polígonos según el valor por metro cuadrado:

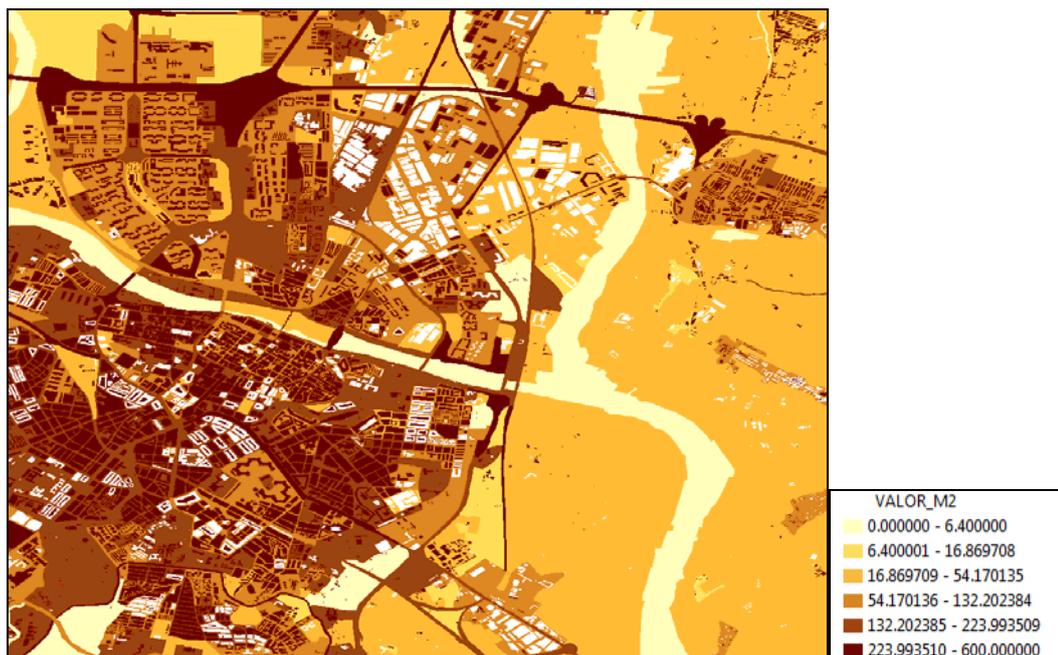


Figura 19.- Mapa de actividades económicas clasificada según valor económico. Zaragoza. (€/m²).

4.3.- Estimación de los daños medioambientales

Con respecto a las **Áreas de Importancia Ambiental** se crea previamente una capa (Shape) que contiene todos los polígonos que delimitan las zonas de interés ambiental:

- AREA DE IMPORTANCIA AMBIENTAL_ARPSIS: polígonos de Masas de Agua de la DMA, Zonas protegidas de captación de agua, Zonas protegidas de aguas de baño, Zonas protegidas LICs y ZEPAs. Cada uno contiene su código correspondiente (incluido el código ARPSI) y una descripción de las afecciones en caso de inundación. Esta capa cuenta ya con la siguiente estructura:
 - ID_ZOPR: Código para cada polígono y escenario.
 - COD_ARPSI: Código del ARPSI para poder relacionarlo con las ARPSIS
 - COD_MA_DMA: Se deja en blanco si no hay o se pone el Código de la masa de agua (o masas de agua) de la DMA asociadas al ARPSI
 - AFE_MA_DMA: Breve descripción del objetivo medioambiental de la masa de agua, su estado y los posibles efectos sobre el estado de las masas de agua de la Directiva Marco
 - Z_P_CAPT_A: Se deja en blanco si no hay o se pone el código de la Zona protegida de captación de agua

- AFE_CAPT_A: Breve descripción de los posibles efectos sobre las zonas de captación de aguas.
- Z_P_RECREA: Se deja en blanco o se pone el código de la Zona protegida de aguas de baño
- AFE_RECREA: Breve descripción de los posibles efectos sobre las zonas de baño afectadas
- Z_P_HABITA: Se deja en blanco o se pone el código de la Zona protegida LICs,....
- AFE_HABITA: Breve descripción de los posibles efectos sobre las zonas protegidas y hábitats. Indica por ejemplo, porcentaje de la zona inundable que es LIC, etc...
- OTRAS_AFE: Descripción de los otros posibles efectos ambientales que provocaría la inundación de la zona

Posteriormente se seleccionan los contornos de las láminas de inundación para T10, T100 y T500 obtenidos en los Mapas de Peligrosidad. A estas capas se les da la misma estructura de campos anteriormente expuesta y la denominación siguiente:

- ES091_ARPS_XXX_T10_ZOPR_1
- ES091_ARPS_XXX_T100_ZOPR_1
- ES091_ARPS_XXX_T500_ZOPR_1

Cada uno de estos contornos se intersecta con la capa "AREA DE IMPORTANCIA AMBIENTAL_ARPSIS" y en cada uno de sus campos se concatena la información de todos los polígonos que contiene. De esta forma, aunque la capa original (AREA DE IMPORTANCIA AMBIENTAL_ARPSIS) contenida dentro del contorno esté formada por varios polígonos, la capa "ES091_ARPS_XXX_TXX_ZOPR_1" será un único polígono que englobará la información de todos los anteriores.

En cuanto a los **Puntos de Importancia Ambiental** se crea igualmente una capa de puntos que contiene todos los puntos de interés ambiental:

- PUNTOS_IMPORTANCIA_AMBIENTAL_ARPSIS: puntos de Instalaciones PRTR, EDAR y Patrimonio Cultural. Cada punto contiene su código (incluido el código ARPSI). Esta capa cuenta ya con la siguiente estructura:
 - ID_MEDAMB: Código para cada punto y escenario.
 - COD_ARPSI: Código del ARPSI para poder relacionarlo con las ARPSIS

- TIPO_AFECC: A seleccionar entre IPPC, EDAR, PROTECCIÓN CIVIL, PATRIMONIO CULTURAL
- COD_PRTR: Código PRTR de la instalación IPPC
- NOMBR_INST: Nombre PRTR del complejo afectado
- CNAE_2009: Código CNAE de la tipología de la actividad
- ACTIV_ECO: Descripción CNAE de la actividad económica
- COD_EDAR: Código de la EDAR obtenido de SIG MAGRAMA
- COD_PCULT: Código de elemento patrimonio cultural o de protección civil afectado.
- NOM_PCULT: Nombre del elemento afectado
- CLASI_AFEC: Aclaraciones sobre los daños previsibles: Leves (inundación de poco porcentaje y/o poco calado), grave (afección más del 25% superficie, y calados superiores a 30 cm, etc..) muy grave, afección a más del 50% de la superficie y calados superiores a 70 cm.

Esta capa se intersecta con los contornos de las láminas de inundación para T10, T100 y T500, asignándole a cada punto la denominación (ID_MEDAMB) que le corresponde en función del ARPSI y del periodo de retorno, así como un número correlativo:

- ES091_ARPS_XXX_T10_MA_X
- ES091_ARPS_XXX_T100_MA_X
- ES091_ARPS_XXX_T500_MA_X

4.4.- Información gráfica

Los mapas de riesgo incluyen:

- a) Número indicativo de habitantes que pueden verse afectados.
- b) Tipo de actividad económica de la zona 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.
- 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.

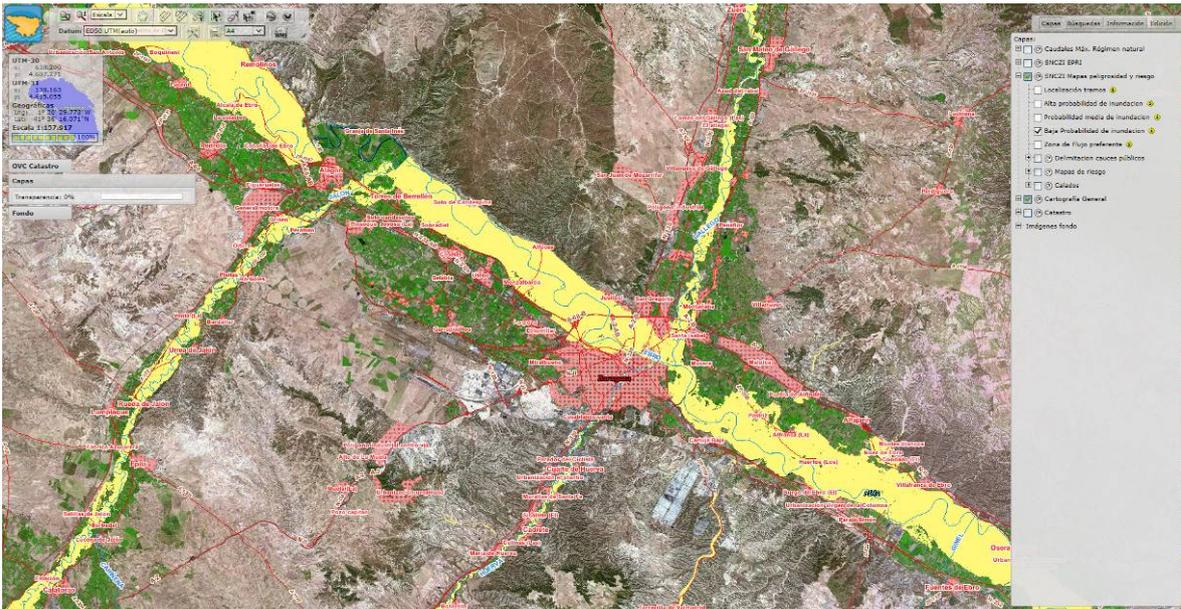


Figura 20.- Imagen del SITEbro