

# ADAPTACIÓN DEL SISTEMA NACIONAL DE CARTOGRAFÍA DE ZONAS INUNDABLES PARA REVISIÓN E INTEGRACIÓN DE LAS ARPSIS MAREALES EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL CANTÁBRICO OCCIDENTAL



## 1. MEMORIA GENERAL

ABRIL 2016



## Índice

1.	Introducción .....	1
2.	Ámbito territorial .....	4
2.1.	Selección de tramos a estudiar .....	6
3.	Mapas de peligrosidad.....	8
3.1.	Topografía .....	8
3.2.	Estudios Hidrológicos .....	12
3.3.	Estudios hidráulicos.....	14
3.4.	Información gráfica .....	16

## Índice de tablas

Tabla 1.	Superficie de la DHC Occidental por CC.AA. y provincia. ....	5
Tabla 2.	ARPSIs objeto de estudio en la DHC Occidental.....	6
Tabla 3.	Longitudes de los Estudios Hidráulicos por Sistema de Explotación.....	7
Tabla 4.	Longitudes de los Estudios Hidráulicos por Comunidad Autónoma.....	7

## Índice de figuras

Figura 1.	Ámbito territorial de la DHC Occidental .....	4
Figura 2.	Localización de las ARPSIs de estudio en la DHC Occidental.....	6
Figura 3.	Modelo Digital del Terreno. Río Saja en Suances (Cantabria). ....	10
Figura 4.	Croquis de puente. Río Clarín en Limpias .....	11
Figura 5.	Caudales específicos de avenidas.....	14



## 1. Introducción

Las inundaciones en España constituyen un riesgo natural que a lo largo del tiempo ha producido grandes daños tanto materiales como en pérdida de vidas humanas. La lucha contra sus efectos requiere la puesta en marcha de soluciones tanto estructurales (obras de defensa) como no estructurales. Entre las últimas medidas se encuentran los planes de Protección Civil, la implantación de sistemas de alerta temprana, la corrección hidrológico-forestal de las cuencas y, especialmente, las medidas de ordenación del territorio.

La Directiva 2007/60/CE , del Parlamento Europeo y del Consejo , de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación fue transpuesta al ordenamiento jurídico español en del Real Decreto 903/2010, de 9 de julio , de evaluación y gestión de riesgos de inundación , publicado en el BOE N°171, de 15 de julio de 2010, siendo su objetivo el generar nuevos instrumentos a nivel comunitario para reducir las posibles consecuencias de las inundaciones mediante la gestión del riesgo, apoyada en cartografía de peligrosidad y de riesgo y con una planificación en el ámbito de cada Demarcación Hidrográfica en ciclos de 6 años.

En este sentido, la citada normativa conlleva las siguientes tareas y/o hitos significativos:

- Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI) e identificación de las Áreas con Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs). Diciembre de 2011.
- Mapas de peligrosidad y riesgo de Inundación (de las ARPSIs seleccionadas en la EPRI). Diciembre 2013.
- Plan de gestión de riesgo (de las ARPSIs seleccionadas en la EPRI). Diciembre 2015.

Redactada la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI) de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico, y sometida a la tramitación oportuna, la Dirección General del Agua resolvió, con fecha 14 de diciembre de 2011, aprobar el documento definitivo de la EPRI de la Demarcación del Cantábrico Occidental y autorizar su remisión a la Comisión Europea conforme al artículo 22 del RD 903/2010.

De acuerdo con el artículo 5 del RD 903/2010, la evaluación preliminar del riesgo de inundación tiene por objeto determinar aquellas zonas del territorio para las cuales se haya llegado a la conclusión de que existe un riesgo potencial de inundación significativo o en las cuales la materialización de ese riesgo puede considerarse probable.

A partir de la determinación de los umbrales de riesgo significativo se lleva a cabo una identificación y preselección de Áreas con Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs), que pueden entenderse como el objetivo último de la EPRI y con la que se da cumplimiento a lo requerido en el artículo 5 de la Directiva 2007/60/CE.

En la DHC Occidental se han identificado un total de 145 ARPSIs (23 corresponden a inundaciones exclusivamente de origen mareal o combinación del efecto mareal y fluvial) repartidas en las Comunidades Autónomas de Galicia, Principado de Asturias, Cantabria y Castilla-León.

Un adecuado análisis de la situación, que incluya la selección y diseño de las medidas más eficaces y sostenibles para la mitigación de los efectos adversos de las inundaciones, tanto estructurales como no estructurales, requiere de un detallado conocimiento del problema, lo que implica el desarrollo de los trabajos topográficos, hidrológicos, hidráulicos y geomorfológicos necesarios para la elaboración de los denominados mapas de peligrosidad y riesgo de inundación.

La obtención de la cartografía de peligrosidad y riesgo de inundación para las ARPSIs fue el objeto de la segunda fase de aplicación de la Directiva 2007/60/CE y del Real Decreto 903/2010, tanto en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico (DHC) Occidental como la Oriental, cuyos resultados fueron sometidos a información pública.

Para las reseñadas ARPSIs se elaboraron los mapas de peligrosidad y riesgo, mejorando la información batimétrica de los ríos y arroyos de la Demarcación mediante trabajos de campo y gabinete.

Por otro lado la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar, con fecha 18 de diciembre de 2012, anunció la licitación para el servicio de "Elaboración de los mapas de peligrosidad y riesgo requeridos por el Real Decreto 903/2010 en la costa española".

Los mapas de peligrosidad y riesgo de las ARPSIs asociadas a eventos mareales derivados de los trabajos licitados por la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar sólo contemplan el efecto de la marea. En consecuencia, el personal responsable de la Confederación Hidrográfica del Cantábrico consciente de esta situación ha considerado conveniente elaborar unos estudios que combinen el efecto derivado de la inundación fluvial con el de las mareas.

El presente trabajo se ha desarrollado para determinadas ARPSIs seleccionadas (ver Tabla 2).

Por tanto, para el conjunto de las ARPSIs que han sido delimitadas atendiendo a eventos de tipo mareal o combinación de fenómenos extremos mareal+fluvial, los trabajos han consistido en la modelación hidráulica detallada de aquellos tramos fluviales que desembocan en el mar. Con los resultados obtenidos de las modelaciones, se ha procedido a la generación detallada y precisa de unos mapas de peligrosidad por inundación en estas áreas, que analizando, revisando, actualizando y complementando los existentes, han logrado una integración más ajustada de la peligrosidad por inundación en las aguas costeras y de transición.

Los mapas de peligrosidad comprenden la delimitación gráfica de la superficie anegada por las aguas para la ocurrencia de avenidas de alta probabilidad (asociadas a un período de retorno de 10 años), probabilidad media (asociadas a un período de retorno de 100 años) y avenidas de baja probabilidad (asociadas a un período de retorno de 500 años), en aplicación del artículo 8.1 del Real Decreto 903/2010. Adicionalmente se han elaborado los mapas correspondientes al periodo de retorno de 50 años y la máxima crecida ordinaria.

Esta información, acompañada de la estimación de las variables que caracterizan el efecto potencial adverso de las crecidas, como son el calado y la velocidad de la corriente, 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 la delimitación de la Zona de Flujo Preferente (ZFP), así como una estimación indicativa de cauce público y de las zonas de servidumbre y policía, al que se ha añadido, en su caso, el Dominio Público Marítimo Terrestre (DPMT) deslindado.

En conjunto, los mapas de peligrosidad 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

De acuerdo con el artículo primero del Real Decreto 29/2011, de 14 de enero, por el que se modifica el Real Decreto 125/2007, de 2 de febrero, por el que se fija el ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas, la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico (DHC) Occidental *"comprende el territorio de las cuencas hidrográficas de los ríos que vierten al mar Cantábrico desde la cuenca del río Eo, hasta la cuenca del Barbadun, excluidas ésta última y la intercuenca entre la del arroyo de La Sequilla y la del río Barbadun, así como todas sus aguas de transición y costeras. Las aguas costeras tienen como límite oeste la línea con orientación 0º que pasa por la Punta de Peñas Blancas, al oeste del río Eo, y como límite este la línea con orientación 2.º que pasa por Punta del Covarón, en el límite entre las Comunidades Autónomas de Cantabria y del País Vasco"*.



**Figura 1. Ámbito territorial de la DHC Occidental**

La DHC Occidental limita por el Oeste con las demarcaciones del Miño-Sil y de Galicia Costa, por el Sur con las demarcaciones del Duero y el Ebro; y por el Este con la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental y Francia. La DHC Occidental ocupa una superficie total de unos 19.002 km<sup>2</sup> incluyendo la zona costera, de los cuales cerca de 17.444 km<sup>2</sup> son de la parte continental y transición; el resto corresponde a las masas de agua costeras.



Su territorio se extiende por 5 Comunidades Autónomas y 6 Provincias, mayoritariamente Asturias y Cantabria, aunque también quedan incluidas en él pequeñas porciones de las provincias de León, Lugo, Palencia y Bizkaia, como se muestra en la siguiente tabla:

COMUNIDAD AUTÓNOMA	PROVINCIA	SUPERFICIE TOTAL CC.AA. (km <sup>2</sup> )	ÁMBITO COMPETENCIAL CHC (km <sup>2</sup> )
GALICIA	Lugo	9.880	1.909
ASTURIAS	Asturias	10.611	10.566
CANTABRIA	Cantabria	5.318	4.405
PAÍS VASCO	Bizkaia	2.216	188
CASTILLA Y LEÓN	León	15.590	276
	Palencia	8.049	7
<b>TOTAL</b>		<b>51.664</b>	<b>17.351</b>

Tabla 1. Superficie de la DHC Occidental por CC.AA. y provincia.

Aunque en la EPRI se identificaron un total de 23 ARPSIs delimitadas atendiendo a eventos de tipo mareal, el ámbito del presente trabajo se ciñe a ARPSIs en las que existe un efecto combinado por fenómenos de origen fluvial y mareal en las aguas costeras y de transición y en las cuales no hubiera resultados combinados.

En concreto las ARPSIs sobre las que fundamentalmente se han desarrollado los trabajos se relacionan en la siguiente tabla:

ARPSIs	SISTEMA DE EXPLOTACIÓN	COMUNIDAD AUTÓNOMA
ES018-AST-2-1	NAVIA	ASTURIAS
ES018-AST-3-2	ESVA	ASTURIAS
ES018-AST-13-1	NALÓN	ASTURIAS
ES018-AST-57-1	NALÓN	ASTURIAS
ES018-AST-43-1	VILLAVICIOSA	ASTURIAS
ES018-AST-50-1	SELLA	ASTURIAS
ES018-CAN-19-1	SAJA	CANTABRIA
ES018-CAN-43-1	SAJA	CANTABRIA
ES018-CAN-10-1	PAS-MIERA	CANTABRIA
ES018-CAN-14-3	PAS-MIERA	CANTABRIA
ES018-CAN-5-2	ASÓN	CANTABRIA
ES018-CAN-2-2	AGÜERA	CANTABRIA
ES018-CAN-39-1	AGÜERA	CANTABRIA

ARPSIs	SISTEMA DE EXPLOTACIÓN	COMUNIDAD AUTÓNOMA
ES018-CAN-1-2	AGÜERA	CANTABRIA

**Tabla 2. ARPSIs objeto de estudio en la DHC Occidental.**



**Figura 2. Localización de las ARPSIs de estudio en la DHC Occidental.**

Además de las ARPSIs relacionadas en la tabla anterior, se han incluido, en ocasiones, tramos de otros ARPSIs adyacentes, con el objeto de dar continuidad a los modelos hidráulicos y complementar los resultados obtenidos en dichas áreas.

## 2.1. Selección de tramos a estudiar

Al inicio de los trabajos se realizó una selección detallada de los tramos a estudiar, utilizando la topografía más detallada disponible, con el apoyo de las fotografías aéreas.

Con posterioridad, y teniendo en cuenta lo siguiente:

- a) Tramos estudiados previamente;
- b) Longitudes de acomodación y solape con tramos de estudio con cartografía de peligrosidad por inundación ya elaborada con anterioridad;

c) Criterio de la Dirección de los Trabajos.

Se determinaron las longitudes óptimas para las simulaciones hidráulicas, con el fin de evitar, en la medida de lo posible, inestabilidades en los modelos hidráulicos, teniendo en cuenta las pendientes del cauce y las condiciones de contorno tanto aguas arriba como aguas abajo.

Se presenta a continuación una tabla correspondiente a las longitudes finales de tramos para el estudio hidráulico por Sistemas de Explotación y por Comunidad Autónoma.

SISTEMA DE EXPLOTACIÓN	KM
NAVIA	22,294
ESVA	6,614
NALÓN	45,780
VILLAVICIOSA	22,445
SELLA	17,676
SAJA	28,755
PAS - MIERA	27,266
ASÓN	25,481
AGÜERA	29,789
<b>TOTAL</b>	<b>226,100</b>

**Tabla 3. Longitudes de los Estudios Hidráulicos por Sistema de Explotación.**

PROVINCIA	KM
ASTURIAS	114,809
CANTABRIA	111,291
<b>TOTAL</b>	<b>226,100</b>

**Tabla 4. Longitudes de los Estudios Hidráulicos por Comunidad Autónoma.**

### 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 para cada ARPSI la elaboración de los mapas de peligrosidad de inundación (cálculo de la zona inundable) 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 pueden consultar en el visor cartográfico del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables.

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 relativas a la gestión del riesgo de inundación.

Para la realización de los mapas correspondientes a las ARPSIs indicadas en el apartado anterior, dado que son zonas complejas en las que se combinan fenómenos de origen mareal y fluvial, se han acometido trabajos topográficos, hidrológicos e hidráulicos. Asimismo se ha revisado la información sobre peligrosidad por inundación en las ARPSIs procedente de la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar, para la elaboración de los mapas finales. Todo esto se presenta a continuación de manera resumida y de forma amplia en el resto de documentos del Proyecto.

#### 3.1. Topografía

La información de partida para la elaboración de los mapas de peligrosidad se basa fundamentalmente en la necesidad de disponer de información cartográfica lo más actual posible y de calidad suficiente de los tramos de estudio, en especial de los siguientes elementos:

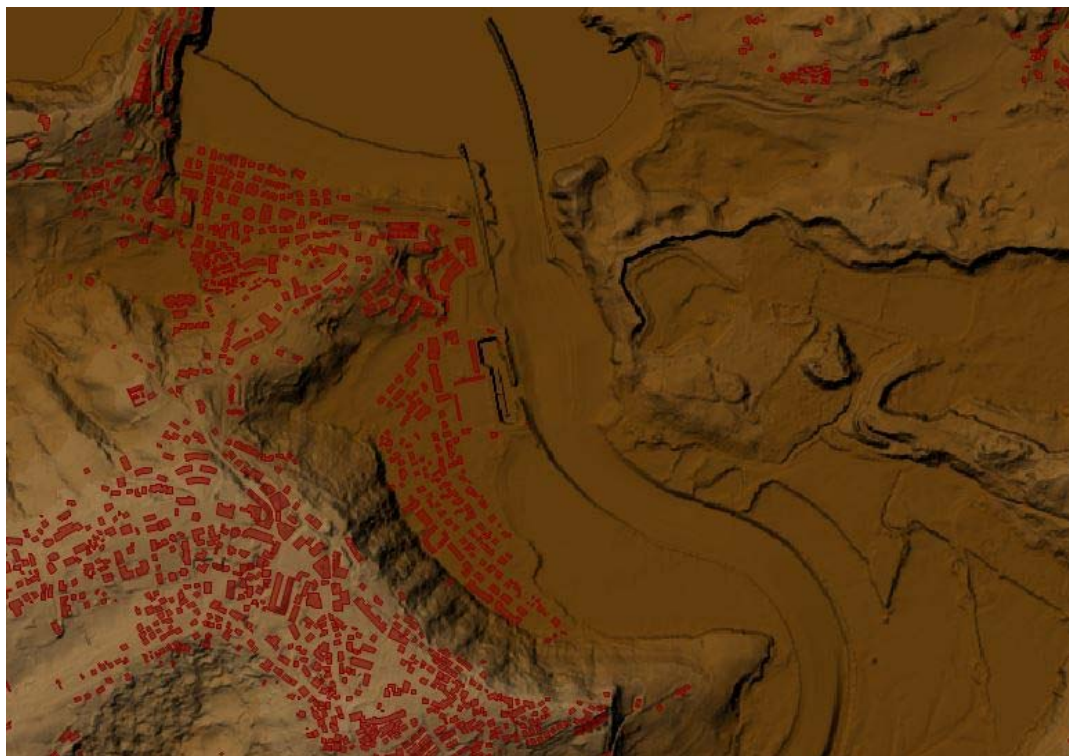
- El modelo digital del terreno (MDT) de la cuenca y del tramo fluvial a estudiar con la mejor resolución posible;
- Ortofoto actual de la zona de estudio a la mejor resolución posible;

- Croquis detallando 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, muros, encauzamientos, azudes, etc.;
- Información sobre elementos localizados aguas arriba y abajo de la zona de estudio que ayude a definir las condiciones de contorno o de borde de la simulación, como por ejemplo el nivel del mar, niveles de embalses, azudes, puentes, etc.;
- Información sobre usos del suelo para determinar las pérdidas de energía del agua.

Para la realización de los estudios 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, el cual ha sido tratado para eliminar los valores correspondientes a elementos distintos al terreno: vegetación, puentes, etc.

El vuelo LiDAR ha sido desarrollado por el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) durante el año 2012. Todo el trabajo se ha realizado en ETRS89, basándose exclusivamente en vértices REGENTE de la Red Geodésica Nacional. El vuelo se planificó a una velocidad adecuada para garantizar un mínimo distanciamiento entre líneas de barrido (amplitud de barrido, o máximo espaciado entre puntos en la dirección de vuelo), permitiendo obtener de manera homogénea por todo su ámbito una densidad promedio de 0,5 puntos del primer retorno por metro cuadrado y una precisión en cota de 15 cm.

Posteriormente se procedió a la elaboración de diferentes productos tales como el Modelo Digital de Superficies (MDS), el Modelo Digital de Intensidades (MDI) y diferentes Modelos Digitales del Terreno (MDT) eliminando los edificios, la vegetación y los puentes y vectorizando los edificios.



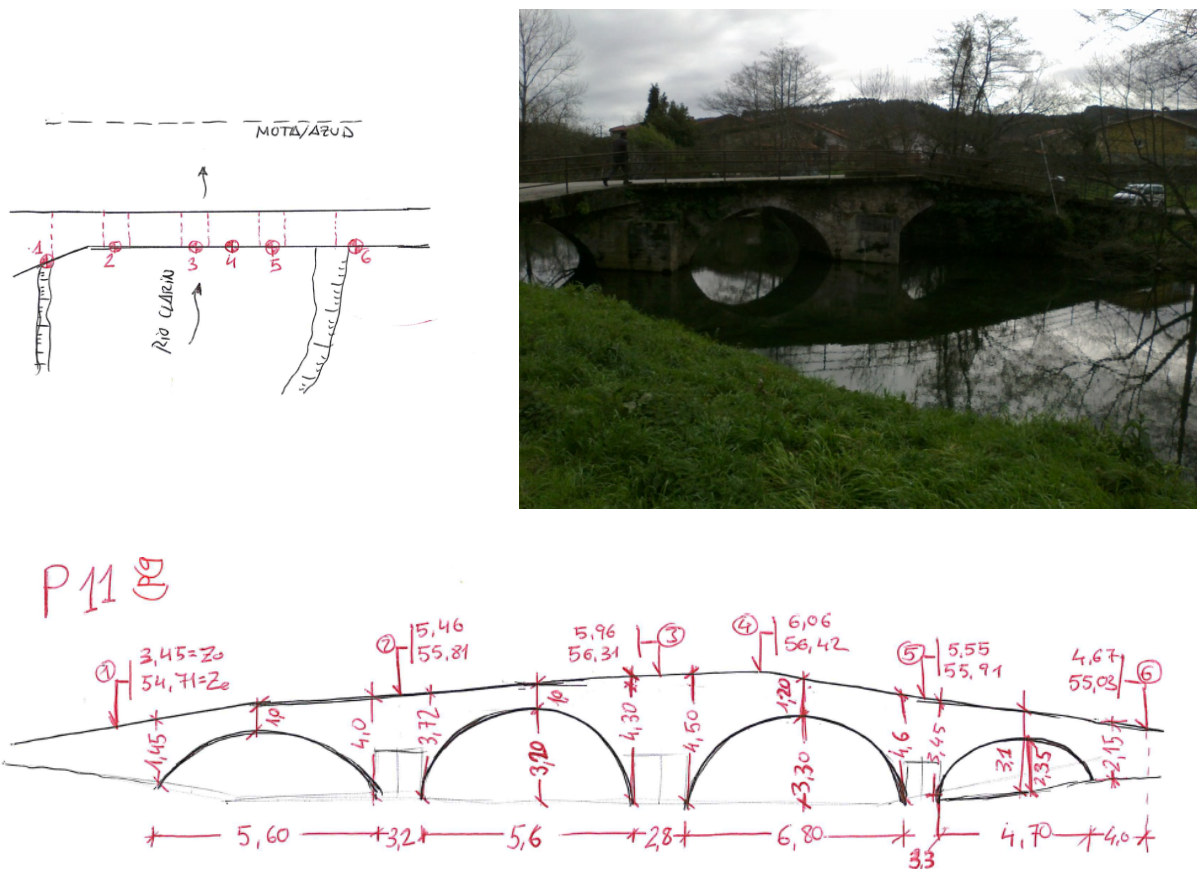
**Figura 3. Modelo Digital del Terreno. Río Saja en Suances (Cantabria).**

Se han utilizado las ortofotos más recientes disponibles en el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), proyecto cofinanciado y cooperativo entre la Administración General del Estado (AGE) y las comunidades autónomas, enmarcado dentro del Plan Nacional de Observación del Territorio (PNOT), siendo coordinado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG).

Dado que gran parte de los cauces de la DHC presentan caudales permanentes, con calados importantes en muchos tramos, y como además cuentan con un bosque de ribera bien desarrollado, en algunos casos, la información generada por el LIDAR no resulta suficiente por sí misma para abordar estudios de peligrosidad por avenida, pues la capacidad de desagüe del cauce se ve significativamente alterada por las imprecisiones en la definición del cauce. Por tanto, se han empleado los datos resultantes de trabajos batimétricos consistentes en la obtención del lecho y márgenes del cauce en un número elevado de secciones transversales a lo largo de los cursos a analizar, con una separación tal que permitiera su interpolación. A partir de esta información se generó un modelo de

elevaciones para el cauce y zonas aledañas que se combinó con el MDT original para obtener un producto final que pudiera proporcionar la información geométrica de partida para las simulaciones hidráulicas.

En un análisis preliminar de las zonas de estudio, se identificaron los elementos que pudieran afectar de forma importante a la inundabilidad, ya sea en sentido negativo (agravando las consecuencias de la inundación) o positivo (creando una protección frente a la inundación). Estos elementos fueron puentes, motas, muros, encauzamientos, azudes, etc. Con el objeto de incorporar estos elementos en la modelización hidráulica, se han elaborado, para cada uno de ellos, un croquis con sus características geométricas, así como las cotas de los elementos de mayor influencia en la determinación del flujo.



**Figura 4. Croquis de puente. Río Clarín en Limpias**

En total se han considerado 306 puentes y azudes y 90 infraestructuras lineales (muros y motas).

Asimismo se emplearon los perfiles batimétricos sobre 114 km en los tramos mareales, que se junto con los ya existentes en trabajos previos correspondientes a la “Adaptación y desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico, en el ámbito de las comunidades autónomas de Asturias, Castilla y León, País Vasco y Navarra” (CHC, 2015), han servido para definir con mayor detalle el MDT de cálculo para las simulaciones hidráulicas, tal como se ha comentado con anterioridad.

Para la definición de las pérdidas de carga se ha obtenido toda la información disponible sobre los usos del suelo en cada tramo de estudio. Se ha utilizado el mapa de usos del suelo del proyecto europeo CORINE LAND COVER (CLC) combinada con los datos del SIOSE (Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España) y las ortofotos del PNOA.

Se amplía la información en el Documento 2-Trabajos Cartográficos.

### **3.2. Estudios Hidrológicos**

Tal y como se establece en el Apartado 2 del Artículo 52 *Caudales máximos de avenida y determinación de zonas inundables* del Capítulo 7 PROTECCIÓN DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO Y DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO TERRESTRE Y CALIDAD DE LAS AGUAS de la Normativa del Plan Hidrológico publicado en el Boletín Oficial del Estado del sábado 8 de junio de 2013:

*"2. Para la determinación de la cartografía de inundabilidad, en tanto ésta no quede definida por la Administración Hidráulica, podrán emplearse los “Criterios técnicos para la elaboración de estudios hidráulicos” que figuran en el anejo 9. En la elaboración de dichos estudios se realizará una estimación de los caudales de avenida considerados que, en ausencia de otros validados por la Administración Hidráulica, adoptarán como Caudal Máximo de Avenida los establecidos en el Plan Hidrológico Norte III, aprobado por el artículo 1.1 a) del Real Decreto 1664/1998, de conformidad con la disposición transitoria única."*

En el apartado 5.3 *Caudales de cálculo* del mencionado Anejo 9 se indica:

#### **5.3 Caudales de cálculo**

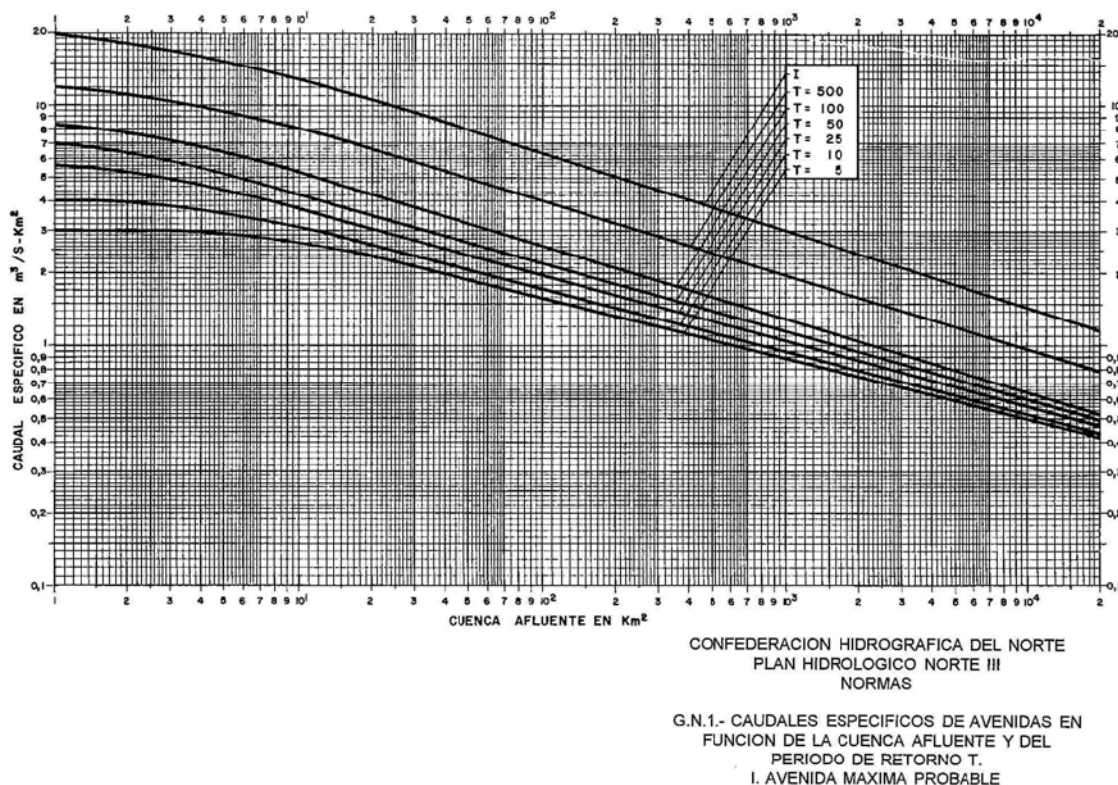


*Para la delimitación cartográfica de la zona inundable, el análisis de las causas que motivan la inundación y las propuestas de mejoras hidráulicas y medioambientales, es necesario conocer los caudales correspondientes a los períodos de retorno de 10, 100 y 500 años.*

*Por el mismo sistema de difusión que la cartografía, la Administración Hidráulica pondrá a disposición de los usuarios mapas de caudales máximos en la medida que se proceda a completar los trabajos en curso motivados por la Directiva 60/2007/CE.*

*En los ámbitos donde no se disponga de esta información, se utilizarán los valores expresados en el Plan Hidrológico Norte III aprobado por Real Decreto 1664/1998, Mapa de caudales máximos obtenidos por el CEDEX o Tabla de caudales específicos del Territorio Histórico de Gipuzkoa, cuando sea de aplicación.*

Por lo tanto para el cálculo de los caudales necesarios para la delimitación cartográfica de la zona inundable correspondiente a alta probabilidad (asociada a un período de retorno de 10 años), media probabilidad (asociada a un período de retorno de 100 años), baja probabilidad (asociada a un período de retorno de 500 años) y la correspondiente al período de retorno de 50 años, se han empleado los valores correspondientes al gráfico G.N.1. "Caudales específicos de avenidas en función de la cuenca afluyente y del período de retorno  $T$ " expresados en el Plan Hidrológico Norte III aprobado por Real Decreto 1664/1998.



**Figura 5. Caudales específicos de avenidas.**

En el Documento 3-Estudios Hidrológicos se exponen los trabajos realizados con detalle.

### 3.3. Estudios hidráulicos

La modelización hidráulica tiene como finalidad obtener los valores de calados y velocidades en cualquier punto de la zona a estudiar, para las avenidas de interés.

Para la realización de las modelizaciones hidráulicas se ha partido de la siguiente información:

- Datos de caudales punta resultado del estudio hidrológico;
- Información básica de caracterización física del cauce;
- Información sobre elementos localizados aguas abajo de la zona de estudio que ayude a definir las condiciones de contorno en el modelo hidráulico, como, por ejemplo el nivel del mar, embalses en los que se conozca el nivel, azudes, zonas en las que se produzca calado crítico, etc.

Para la elaboración de los mapas de peligrosidad, se han empleado modelos bidimensionales.

La modelización del flujo bidimensional requiere un esfuerzo importante en términos de modelización del terreno, de calibración de parámetros, en particular de la rugosidad, y de tiempo de computación, aunque tiene la ventaja de dar resultados más exactos desde el punto de vista de distribución de las velocidades en la zona de estudio. La utilización de modelos bidimensionales es recomendable en zonas en las que el campo de velocidades es tal que tanto la componente en sentido del flujo como en sentido transversal tienen un peso importante, y se da en casos como grandes llanuras aluviales o zonas en las que se producen desbordamientos laterales de importancia, como es el caso de los tramos de estudio del presente trabajo.

Para las simulaciones bidimensionales se ha utilizado el modelo InfoWorks RS-ICM.

El modelo InfoWorks ICM (Modelo integrado de cuenca) es un modelo matemático con aplicación bidimensional que resuelve las ecuaciones de cálculo hidráulico Saint-Venant por el método de los volúmenes finitos, desarrollado por el Wallingford Software. Permite integrar el sistema de drenaje completo, sobre y bajo el terreno (natural y artificial) en un solo modelo.

La elaboración de los modelos hidráulicos bidimensionales comprende los siguientes pasos:

- Definición de la geometría de cauce y llanuras de inundación mediante la elaboración de un Modelo Digital del Terreno corregido con trabajos batimétricos.
- Generación de la malla de cálculo buscando un equilibrio entre su resolución y el tiempo de cálculo;
- Incorporación de elementos especiales: obstrucciones, zonas inefectivas y motas;
- Determinación de los polígonos de rugosidad de Manning, obtenidos en el cauce a partir de su naturaleza y propiedades morfológicas mediante la formulación de Cowan (se ha diferenciado el lecho de las márgenes vegetadas), y en las llanuras de inundación en función de los usos del suelo;
- Elección del método de cálculo de estructuras más indicado para cada caudal de tránsito;
- Incorporación de los caudales de diseño como hidrogramas por tramo;
- Elección de la condición de contorno aguas abajo (nivel, normal o crítico);

- Calibración.

Finalizado el cálculo hidráulico y a partir del Modelo Digital del Terreno disponible, se han trasladado los resultados al espacio, resultando la delimitación de las zonas inundables y las distribuciones de calado y velocidad asociadas. Se ha efectuado además un ajuste de detalle de las zonas inundables obtenidas mediante la interpretación de toda la información cartográfica y fotográfica disponible.

Finalmente, se ha estimado la Zona de Flujo Preferente como la envolvente de la Zona de Graves Daños (ZGD) y la Vía de Intenso Desagüe (VID) para T=100 años según la definición recogida en el Real Decreto 9/2008. En el caso de la ZGD se ha asociado el daño grave a la zona con calado superior a 1 m, velocidad superior a 1 m/s o al producto de calado por velocidad superior a 0,5 m<sup>2</sup>/s. En el caso de la VID se ha impuesto como condición la no ocurrencia de una sobreelevación superior a 30 cm por obstrucción de las llanuras de inundación, considerando una merma de la capacidad de transporte igual en cada margen.

En el Documento 4-Estudios Hidráulicos se exponen los trabajos realizados con detalle.

### **3.4. Información gráfica**

A partir de la información exportada del modelo hidráulico, el MDT y con ayuda de las capacidades de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), el post-proceso proporciona la siguiente información:

- Ráster de elevaciones alcanzadas por la lámina de agua para cada período de retorno.
- Ráster de calados máximos para cada período de retorno.
- Ráster de velocidades máximas para cada período de retorno.
- Extensión de la lámina de agua para cada período de retorno.
- Estimación indicativa del cauce público.
- Zona de flujo preferente.

De acuerdo al Artículo 8, capítulo III del Real Decreto 9/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación, se han elaborado los mapas de peligrosidad por inundación para todos los tramos analizados, incluyéndose la siguiente información:

- Estimación indicativa del cauce público
- Zona de flujo preferente
- Zonificación de la inundabilidad

Siguiendo las directrices de la Confederación Hidrográfica del Cantábrico, y teniendo en cuenta el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, se ha realizado una estimación indicativa del cauce público, así como sus zonas de Servidumbre y Policía.

Para el trazado de la línea correspondiente a la estimación indicativa del cauce público se han tenido en cuenta los resultados hidráulicos del modelo, concretamente los correspondientes a la lámina de inundación asociada a la máxima crecida ordinaria (m.c.o.). Asimismo se han tenido en consideración diversos aspectos medioambientales.

A partir de la línea de estimación indicativa del cauce público se han trazado las zonas de servidumbre y policía, todas ellas representadas en planos.

Asimismo se ha representado la línea correspondiente al Dominio Público Marítimo Terrestre.

Siguiendo lo establecido en el Artículo 9 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, se ha procedido al cálculo de la Zona de Flujo Preferente. Este Artículo, establece en el apartado 2 lo siguiente:

*“2. Sin perjuicio de la modificación de los límites de la zona de policía, cuando concurra alguna de las causas señaladas en el artículo 6.2 del Texto Refundido de la Ley de Aguas, la zona de policía podrá ampliarse, si ello fuese necesario, para incluir la zona o zonas donde se concentra preferentemente el flujo, al objeto específico de proteger el régimen de corrientes en avenidas, y reducir el riesgo de producción de daños en personas y bienes. En estas zonas o vías de flujo preferente sólo podrán ser autorizadas por el organismo de cuenca aquellas actividades no vulnerables frente a avenidas y que no supongan una reducción significativa de la capacidad de desagüe de dicha vía.*”

*La zona de flujo preferente es aquella zona constituida por la unión de la zona o zonas donde se concentra el flujo durante las avenidas, o vía de intenso desagüe, y de la zona donde, para la avenida de 100 años de período de retorno, se puedan producir graves daños sobre las personas y los bienes, quedando delimitado su límite exterior mediante la envolvente de ambas zonas.*

*A los efectos de la aplicación de la definición anterior, se considerará que pueden producirse graves daños sobre las personas y los bienes cuando las condiciones hidráulicas durante la avenida satisfagan uno o más de los siguientes criterios:*

- a) Que el calado sea superior a 1 m;*
- b) Que la velocidad sea superior a 1 m/s;*
- c) Que el producto de ambas variables sea superior a 0,5 m<sup>2</sup>/s.*

*Se entiende por vía de intenso desagüe la zona por la que pasaría la avenida de 100 años de período de retorno sin producir una sobreelevación mayor que 0,3 m, respecto a la cota de la lámina de agua que se produciría con esa misma avenida considerando toda la llanura de inundación existente. La sobreelevación anterior podrá, a criterio del organismo de cuenca, reducirse hasta 0,1 m cuando el incremento de la inundación pueda producir graves perjuicios o aumentarse hasta 0,5 m en zonas rurales o cuando el incremento de la inundación produzca daños reducidos.*

*En la delimitación de la zona de flujo preferente se empleará toda la información de índole histórica y geomorfológica existente, a fin de garantizar la adecuada coherencia de los resultados con las evidencias físicas disponibles sobre el comportamiento hidráulico del río."*

De acuerdo a lo expuesto con anterioridad, y fruto del procesado de la información suministrada por el modelo hidráulico, se ha procedido a la delimitación de la zona de flujo preferente en el ámbito del estudio.

Como consecuencia de los resultados del estudio hidráulico, se han podido determinar las zonas inundables para los períodos de retorno de:

- T=mco
- T=10

- T=50
- T=100
- T=500

Las zonas inundables asociadas a los períodos de retorno de 10, 100 y 500 años son las que se han utilizado para determinar los escenarios de Alta probabilidad, Media probabilidad (100 años) y Baja probabilidad.

Para cada uno de los escenarios de inundabilidad (mco, 10, 50, 100 y 500 años), se ha generado la siguiente información:

- Contorno de la zona inundable
- Ráster de calados máximos
- Ráster de velocidades máximas

Asimismo, se ha realizado una composición donde se muestran los tres escenarios de peligrosidad por inundación (alta, baja y media probabilidad).

Los planos correspondientes a los trabajos realizados se adjuntan en los Estudios Específicos correspondientes al Documento 4-Estudios Hidráulicos.