



**DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL CANTÁBRICO ORIENTAL
ÁMBITO DE LAS CUENCAS INTERNAS DE LA COMUNIDAD
AUTÓNOMA DEL PAÍS VASCO**

**MEMORIA RESUMEN DE LOS MAPAS DE PELIGROSIDAD
Y RIESGO DE INUNDACIÓN**

INDICE

1. Introducción	3
2. Ámbito territorial	4
3. Mapas de peligrosidad	6
3.1. Topografía	6
3.2. Hidrología	9
3.3. Hidráulica	11
3.4. Geomorfología	14
3.5. Información gráfica	17
4. Mapas de riesgo	18
4.1. Estimación de la población afectada	19
4.2. Estimación de los daños económicos esperados	22
4.3. Otras afecciones	27
4.4. Información gráfica	29

1. Introducción

Por resolución del Director General, de 13 de diciembre de 2011 y tras el preceptivo periodo de consulta pública, la Agencia Vasca del Agua aprobó la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI) en las Cuencas Internas de Comunidad Autónoma del País Vasco, ámbito de competencia autonómica integrado en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental. El objetivo de este trabajo, enmarcado dentro de las obligaciones emanadas de la Directiva Europea 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, y su trasposición al ordenamiento jurídico estatal mediante el Real Decreto 903/2011, fue la identificación razonada de 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.

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 esta cartografía en los tramos fluviales y costeros clasificados como ARPSIs es el objeto de la segunda fase de aplicación de la Directiva Europea de Inundaciones en esta Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental, cuyos resultados en el ámbito de las Cuencas Internas de la CAPV se someten ahora a información 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, a efectos de representación superficial en los mapas de peligrosidad, en aplicación del artículo 8.1 del Real Decreto 903/2011, se han convenido como referencia para los eventos de alta, media y baja probabilidad, respectivamente. 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 también tanto la delimitación de la Zona de Flujo Preferente como la definición del

Dominio Público Hidráulico, al que se ha añadido, en su caso, el Dominio Público Marítimo Terrestre deslindado.

La cartografía anterior debe cruzarse con la información relativa a la vulnerabilidad del territorio en lo relativo a la salud humana, el medio ambiente y la actividad económica, para la determinación pormenorizada del riesgo por inundación y la elaboración de los mapas asociados. Estos mapas deben servir de punto de partida para la posterior redacción de los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación, y por tanto, deben aportar los elementos de juicio para una elección razonada de soluciones. Siguiendo las indicaciones del artículo 7 de la referida Directiva 2007/60/CE de Inundaciones, la adecuada gestión del riesgo de inundación debe efectuarse teniendo en cuenta los costes incurridos en su reducción y los beneficios esperados. En consecuencia, los mapas de riesgo confeccionados en las Cuencas Internas de la CAPV se han centrado no solo en la identificación de los mayores riesgos potenciales sino también en su cuantificación rigurosa.

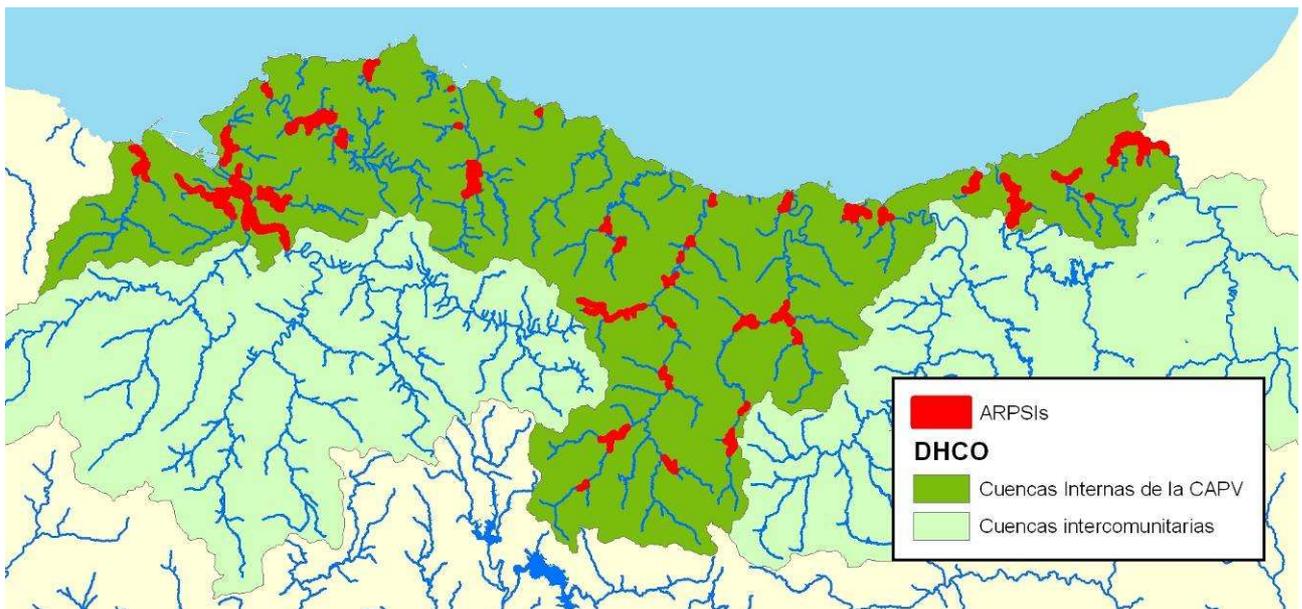
En conjunto, los mapas de peligrosidad y riesgo aquí presentados, al proporcionar una visión realista y precisa del problema, constituyen un instrumento eficaz para la gestión futura del riesgo de inundación asociado a las zonas más problemáticas del territorio, asegurando un eficiente empleo de los 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.

Por último, merece la pena resaltar que la Agencia Vasca del Agua, consciente de la naturaleza global del problema y de la necesidad de aplicar una política adecuada de ordenación de usos, continúa elaborando cartografía de peligrosidad en los tramos fluviales situados fuera de las ARPSIs aquí contempladas.

2. Ámbito territorial

El ámbito de estudio comprende las Cuencas Internas de la CAPV, de competencia autonómica, que forman parte de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental, compuestas por las Unidades Hidrológicas completas del Barbadun, Butroe, Oka, Lea, Artibai, Deba, Urola y Oiarztun, así como por los tramos con influencia mareal de las Unidades Hidrológicas del Ibaizabal, Oria, Urumea y Bidasoa y sus afluentes Galindo, Asua, Udondo, Gobela e Iñurritza. En este ámbito, la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación identificó 39 ARPSIs fluviales, que son ahora objeto de un análisis detallado para la determinación de los mapas de peligrosidad y riesgo respectivos. Se trata de:

UH	Código	Nombre	UH	Código	Nombre
Artibai	ES017-BIZ-ART-01	Markina-Xemein	Ibaizabal	ES017-BIZ-IBA-03	Getxo
	ES017-BIZ-ART-02	Etxebarria		ES017-BIZ-IBA-04	Leioa
Barbadun	ES017-BIZ-BAR-01	Barbadun		ES017-BIZ-IBA-05	Sondika-Erandio
Bidasoa	ES017-GIP-BID-01	Irún-Hondarribia	Lea	ES017-BIZ-LEA-01	Ea
Butroe	ES017-BIZ-BUT-01	Plentzia	Oiartzun	ES017-GIP-OIA-01	Oiartzun
	ES017-BIZ-BUT-02	Gatika		ES017-GIP-OIA-02	Altzibar
	ES017-BIZ-BUT-03	Mungia	Oka	ES017-BIZ-OKA-01	Oka
	ES017-BIZ-BUT-04	Bakio		ES017-BIZ-OKA-02	Mundaka
Deba	ES017-BIZ-DEB-05	Mallabia-Eibar	Oria	ES017-BIZ-OKA-03	Altamira
	ES017-GIP-DEB-01	Deba		ES017-GIP-ORI-01	Zarautz
	ES017-GIP-DEB-02	Mendaro	ES017-GIP-ORI-02	Aia-Orio	
	ES017-GIP-DEB-03	Altzola	Urola	ES017-GIP-URO-01	Zumaia
	ES017-GIP-DEB-04	Elgoibar		ES017-GIP-URO-02	Azpeitia
	ES017-GIP-DEB-06	Soraluce		ES017-GIP-URO-03	Urrestilla
	ES017-GIP-DEB-07	Bergara		ES017-GIP-URO-04	Azkoitia
	ES017-GIP-DEB-08	Oñati		ES017-GIP-URO-05	Zumarraga-Urretxu
	ES017-GIP-DEB-09	Arrasate		ES017-GIP-URO-06	Legazpi
	ES017-GIP-DEB-10	Eskoriatza	Urumea	ES017-GIP-URU-01	Urumea-2
Ibaizabal	ES017-BIZ-IBA-01	Ría de Bilbao		ES017-GIP-URU-02	Donostia
	ES017-BIZ-IBA-02	Galindo			



Situación de las ARPSIs en el ámbito de las Cuencas Internas de la CAPV de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental

En el ámbito de estudio la Dirección General de Costas del MAGRAMA identificó también 11 ARPSIs por inundación litoral, de las que 8 se ubican en ámbitos estuarinos coincidentes con los fluviales y 3 en la fachada costera abierta. Se trata de Ondarroa, Zarautz y Donostia en su zona más próxima al mar. La DGC se encuentra actualmente elaborando los mapas de peligrosidad y riesgo asociados a los 3 ámbitos de fachada costera, que serán sometidos a un proceso paralelo de información pública.

A destacar también que según Real Decreto 29/2011, de 14 de enero, por el que se modifican el Real Decreto 125/2007, de 2 de febrero, por el que se fija el ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas, y el Real Decreto 650/1987, de 8 de mayo, por el que se definen los ámbitos territoriales de los Organismos de cuenca y de los planes hidrológicos, se delimitó la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental, en cumplimiento de las prescripciones de la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE). Esta Demarcación incluye, además del ámbito de competencia autonómica, las Cuencas internas de la CAPV, la parte intercomunitaria de competencia estatal, ejercida a través de la Confederación Hidrográfica del Cantábrico (CHC) en las cuencas del Ibaizabal, Oria, Urumea, Bidasoa, Nive y Nivelles.

La planificación y la gestión del agua en esta Demarcación deben realizarse de manera coordinada entre la CHC y la Agencia Vasca del Agua. En este sentido, la CHC se encuentra actualmente elaborando la cartografía de peligrosidad y riesgo de las ARPSIs ubicadas en cuencas intercomunitarias contando para ello con la información suministrada a tal efecto por la Agencia Vasca del Agua, debiéndose integrar posteriormente todos los trabajos de la Demarcación de modo coordinado en un único documento antes del envío de los resultados finales a la Comisión Europea a finales de 2013.

3. Mapas de peligrosidad

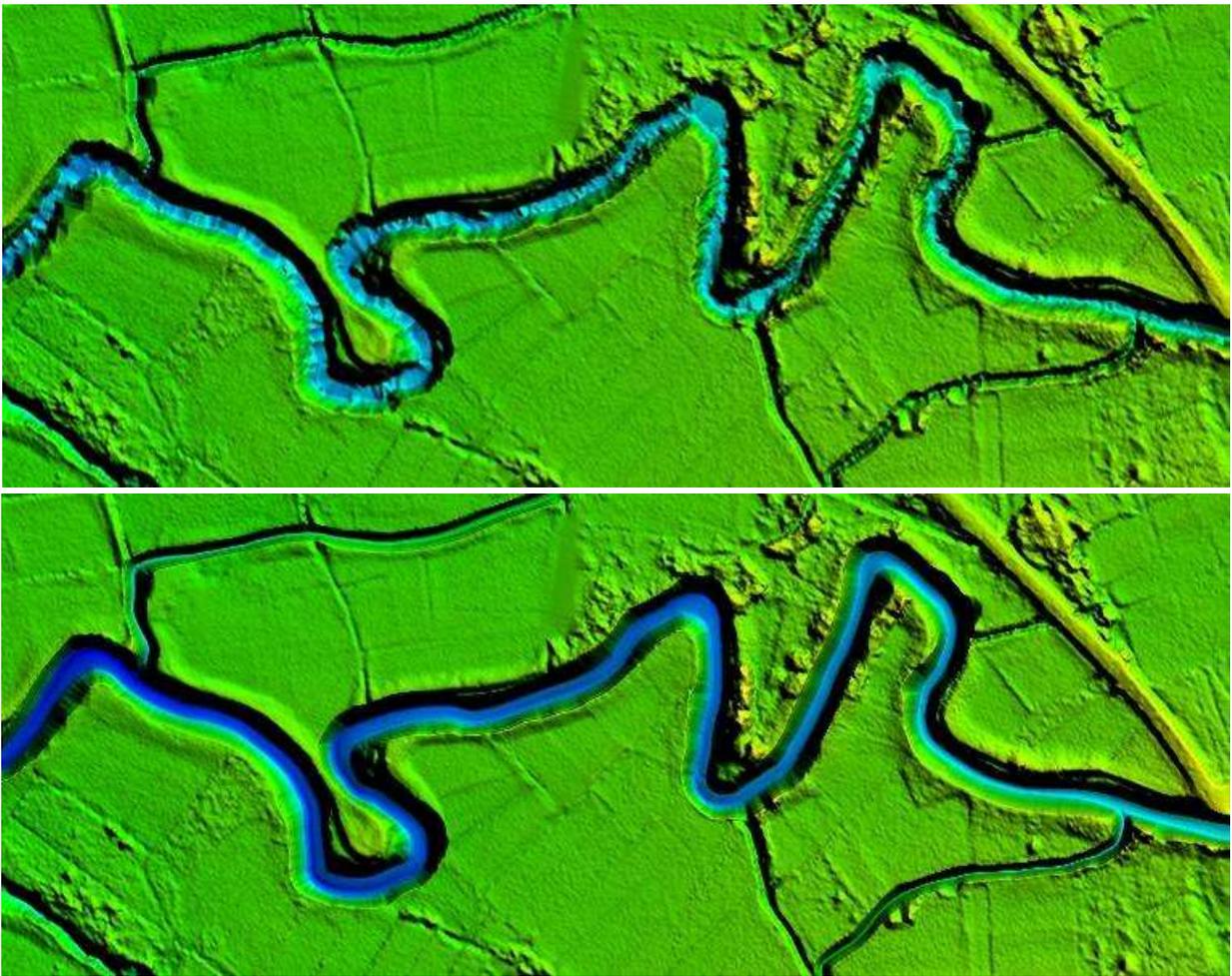
Los mapas de peligrosidad por inundación constituyen la base de partida para el análisis del riesgo y una herramienta esencial en la gestión diaria de las zonas inundables. Tras la EPRI, la Agencia Vasca del Agua contaba ya con la delimitación de zonas inundables de gran parte de las ARPSIs identificadas, procedentes del "Plan Integral de Prevención de Inundaciones de la CAPV" y sus posteriores revisiones. No obstante, consciente de la importancia de disponer de una cartografía lo más actualizada y rigurosa posible, la Agencia Vasca del Agua decidió acometer nuevos trabajos topográficos, hidrológicos, hidráulicos y geomorfológicos cuya descripción se presenta a continuación.

3.1. Topografía

En el año 2008 y mediante la aplicación de técnicas LIDAR, la Dirección de Ordenación del Territorio del Gobierno Vasco obtuvo para toda la CAPV un Modelo Digital del Terreno con tamaño de malla de 1 m y precisión en Z de 15 cm, referido al sistema de referencia ETRS89 y con cotas ortométricas traducidas al geoide EGM08_RED NAP. Asimismo, confeccionó el denominado Modelo Digital de Estudios Hidráulicos (MDEH), que incluye además del terreno la definición de edificios y estribos de estructuras.

La información topográfica anterior supone un cambio substancial respecto a la manejada hasta la fecha, fundamentalmente basada en el levantamiento de perfiles transversales del cauce y entre ellos en cartografía mayoritariamente 1:5000. La extensión de la zona inundable y los calados asociados pueden ahora calcularse con mayor precisión. Sin embargo, del análisis preliminar de los modelos digitales se apreció una deficiente definición del cauce, debido a que el láser utilizado en el LIDAR no es capaz de atravesar el agua, mientras que la caracterización de las márgenes del cauce era mejorable, sobre todo donde la vegetación de ribera era abundante. Como la mayoría de los ríos de la vertiente cantábrica de la CAPV presentan caudales permanentes, con calados importantes en muchos tramos, y como además cuentan con un bosque de ribera bien desarrollado, 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.

Conocida esta carencia, la Agencia Vasca del Agua decidió abordar 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 fluviales 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 MDEH original para obtener un producto final que pudiera proporcionar la información geométrica de partida para las simulaciones hidráulicas.



Ejemplo de MDEH con batimetría original (arriba) y revisada (abajo)

Para completar este trabajo y dado que los cauces de estudio presentan gran cantidad de obstáculos al flujo, fundamentalmente puentes, coberturas y azudes, con una incidencia que puede llegar a ser muy importante en la inundabilidad, la Agencia Vasca del Agua decidió también efectuar un nuevo levantamiento topográfico de las distintas estructuras y elementos singulares existentes (por ejemplo muros de protección), incluyendo alzado, fotografías y taquimétricos 3D a escala 1:500. De esta manera, se está en disposición de incorporar con rigor su efecto en el tránsito de las crecidas.



Trabajos topográficos de caracterización de un azud

3.2. Hidrología

Al inicio de la aplicación de la Directiva Europea de Inundaciones existían en la CAPV diferentes estimaciones de los caudales extremos de avenida (fundamentalmente Plan Integral de Prevención de inundaciones de la CAPV y revisiones posteriores, Método Gipuzkoa y ábaco del Plan Hidrológico Norte III) que presentaban la siguiente problemática:

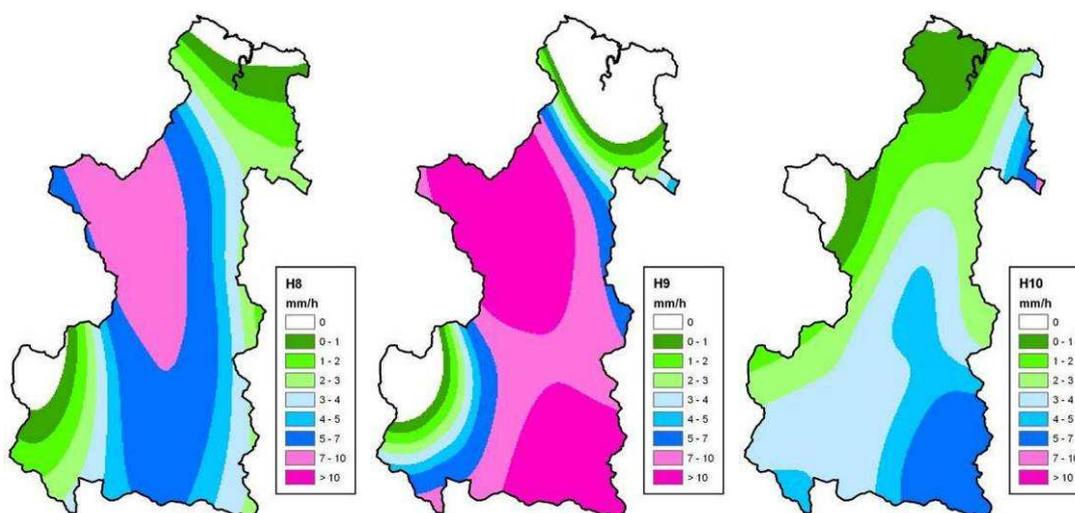
- El ámbito de aplicación espacial de las distintas metodologías era muy heterogéneo.
- Salvo en Gipuzkoa, los estudios disponibles no estaban actualizados.
- Los datos foronómicos recabados en los últimos años por las Diputaciones Forales de Bizkaia y Gipuzkoa diferían a la baja de los resultados de los estudios.
- Las inundaciones históricas discrepaban de las zonas inundables vigentes, sobre todo de la asociada a T=10 años

En este escenario, la Agencia Vasca del Agua decidió abordar, de manera coordinada con los requerimientos de la implantación del Sistema de Predicción y Alertas Hidrológicas ante el riesgo de avenidas, una revisión actualizada y homogénea de la hidrología de la CAPV. La metodología clásica basada en tormentas de diseño y modelos de evento, con estimación de pérdidas por infiltración según formulación del SCS y transformación lluvia-neta escorrentía mediante hidrogramas unitarios, presentaba como problemática la elección de las características de la tormenta de diseño y la arbitrariedad en la condición de humedad antecedente. En consecuencia, se optó por una metodología innovadora que permitiera:

- Evitar escoger la condición de humedad antecedente mediante el empleo modelos de simulación continua (con infiltración en función de la intensidad de la precipitación y del contenido de agua del suelo en cada instante)
- Facilitar la extrapolación espacial de datos mediante el empleo de modelos distribuidos.
- Emplear toda la información foronómica existente aplicando una calibración hidrológica única a un conjunto elevado de eventos históricos.
- Considerar la variación temporal y espacial de las tormentas mediante la confección de un modelo estocástico de precipitación.
- Contemplar diferentes situaciones hidrológicas mediante la simulación continua de 500 años a escala horaria.

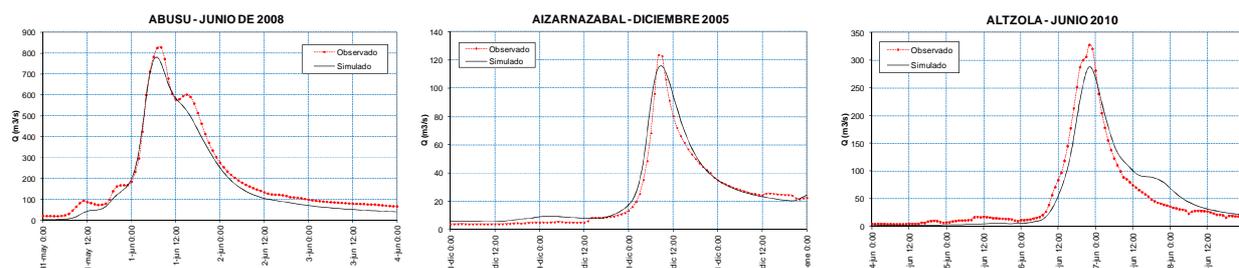
La metodología de análisis hidrológico finalmente adoptada consta de los siguientes pasos:

- Obtención estocástica de series de precipitación y temperatura a nivel horario para un periodo de 500 años y con una distribución espacial consistente, de manera que se generen lluvias extraordinarias según el patrón climático observado pero extrapolado a fenómenos de periodos de retorno altos. Estos eventos extremos acontecen en coincidencia con situaciones variables de humedad del suelo derivadas de la historia anterior de precipitaciones y evapotranspiración.



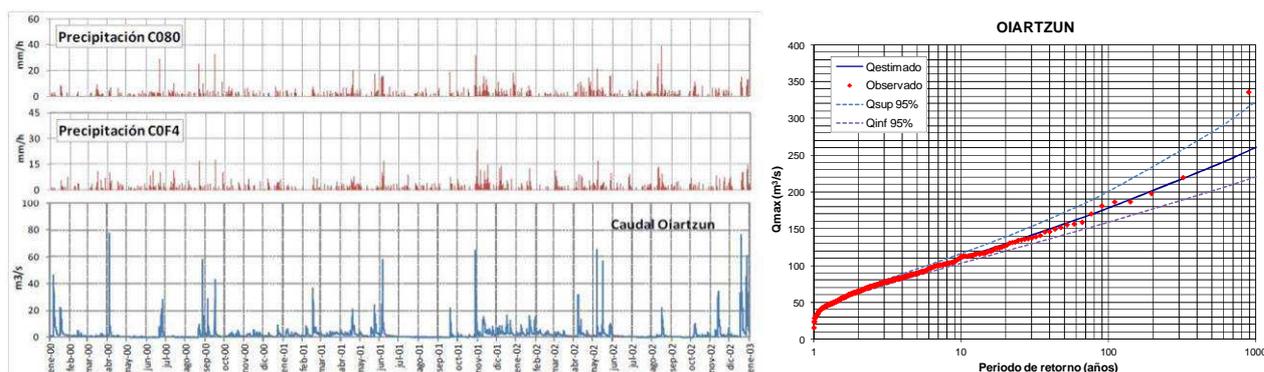
Ejemplo de tormenta generada por el modelo estocástico en la cuenca del Deba

- Confección y calibración de nuevos modelos hidrológicos distribuidos y con base física (TETIS v8.1 de la Universidad Politécnica de Valencia) que permitan un mejor ajuste a todo tipo de situaciones hidrológicas, una simulación continua incluyendo los procesos de humectación y descarga del suelo, la interpolación de resultados dentro de una misma cuenca calibrada y una mayor discretización de caudales por tramos. Estos modelos han sido ajustados a un número importante de eventos históricos, incluido el evento extremo de agosto de 1983, lo que refuerza su capacidad predictiva.



Ejemplo de los resultados de la calibración efectuada con el modelo TETIS

- Obtención de series horarias de caudales circulantes por la red fluvial durante un periodo de 500 años mediante la aplicación de la climatología anterior a los nuevos modelos hidrológicos. A partir de esta serie se efectúa un tratamiento estadístico (ajuste de la función de extremos GEV con intervalo de confianza del 95%) para finalmente obtener los caudales de diseño para distintos periodos de retorno.

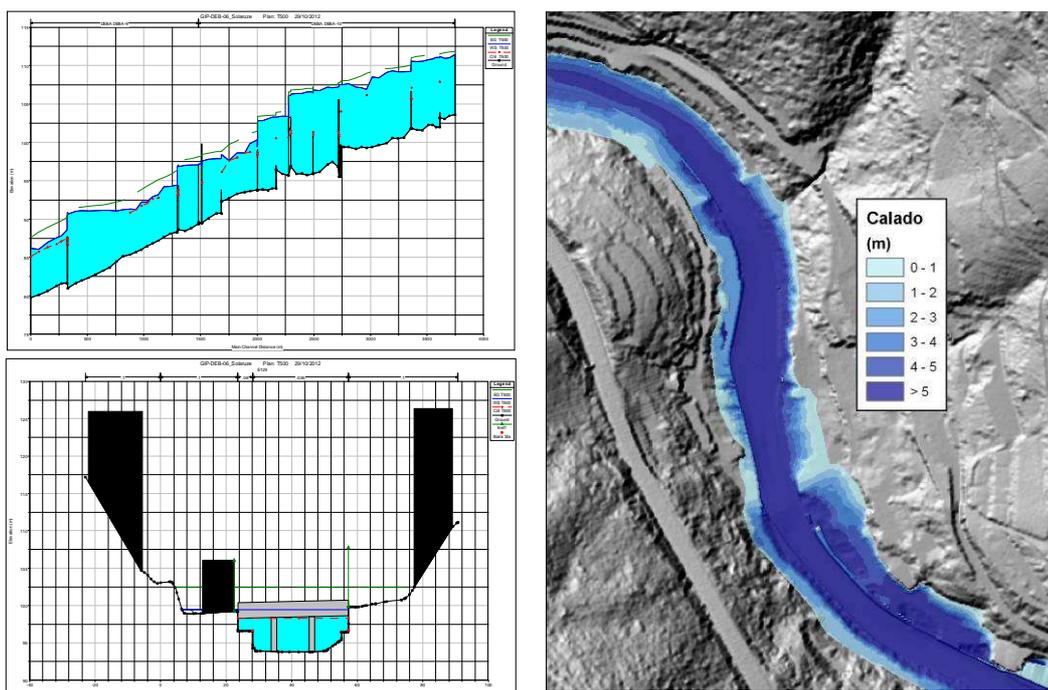


Tratamiento estadístico de las series de caudales horarios simuladas

La técnica anterior se ha aplicado a cuencas con una superficie vertiente superior a 10 km² (y en algunas cuencas más pequeñas por razones de coherencia hidrológica) La bondad de sus resultados queda comprobada por la excelente correlación ($R^2=0,97$) entre los nuevos valores obtenidos para T=10 años y los estimados mediante ajuste estadísticos a los datos de aforo disponibles de las Diputaciones Forales. Para cuencas menores, con carácter general, se establece la idoneidad de aplicar el ábaco del vigente Plan Hidrológico Norte III, dado que se ha comprobado que esta estimación supone una envolvente de los resultados obtenidos por la nueva metodología elaborada.

3.3. Hidráulica

La obtención de la cota de lámina en avenida en los tramos de interés a partir de su geometría y de los caudales de diseño adoptados requiere del empleo de simulación hidráulica. En general, la hipótesis de flujo unidimensional y estacionario es adecuada para definir el comportamiento hidráulico de los ríos del ámbito de estudio. De entre los distintos modelos matemáticos aplicables, se ha decidido utilizar por su contrastada robustez la versión 4.1 del software HEC-RAS desarrollado por el Hydrologic Engineering Center para el U.S. Army Corp of Engineers. Este software permite simular flujos unidimensionales en régimen permanente gradualmente variado a partir de la ecuación de conservación de la energía. Además, es capaz de incorporar diversos tipos de estructuras (puentes, coberturas, vertederos con compuerta, azudes, caños, etc...) resolviendo el flujo a través de ellas con formulaciones particularizadas.



Resultados del cálculo con HEC-RAS en el ARPSI de Soraluze

La elaboración de los modelos hidráulicos comprende los siguientes pasos:

- Definición de la geometría de cauce y llanuras de inundación mediante perfiles transversales dispuestos de manera perpendicular a las líneas de corriente, con una separación típica de 50 m en zona urbana y de 100 m en zona rural.
- Definición de la geometría de las estructuras como obstrucciones a la sección de flujo.
- Incorporación de elementos especiales: obstrucciones, zonas inefectivas y motas.
- Determinación de los coeficientes 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.
- Adopción de coeficientes de contracción y expansión entre secciones y de desagüe en estructuras coherentes con las recomendaciones del HEC.
- Elección del método de cálculo de estructuras más indicado para cada caudal de tránsito.
- Incorporación de los caudales de diseño como valores constantes por tramo.
- Elección de la condición de contorno aguas abajo:
 - En los casos de desembocadura en el mar y siguiendo las indicaciones de la Dirección General de Costas, se ha procedido a combinar para cada periodo

de retorno de cálculo la ocurrencia de la avenida extrema con un nivel del mar correspondiente a una superación del 2% anual. Asimismo, se ha simulado la ocurrencia de una avenida normal (identificada como la de 1,1 años de periodo de retorno) con un nivel extremal en la desembocadura correspondiente a los periodos de retorno de análisis. En ambos casos, el nivel del mar resulta de sumar el efecto de la marea astronómica, la meteorológica y el oleaje, representado en este último caso por el remonte medio (set-up) inducido obtenido por AZTI a partir de la información suministrada por la DGC. La inundabilidad en las zonas de transición para cada periodo de retorno se obtiene como la envolvente de las dos situaciones anteriores.

- En el resto de casos se ha adoptado la formación del régimen permanente con pendiente de la línea de energía igual a la longitudinal del lecho y a una distancia del final del ARPSI suficiente como para poder despreciar su influencia.
- 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.

Para una primera delimitación hidrológico-hidráulica del Dominio Público Hidráulico, se ha efectuado una simulación de la Máxima Crecida Ordinaria, establecida a partir de la información procedente de las series foronómicas obtenidas en las estaciones de aforo como la avenida de 2,33 años de periodo de retorno, y la geometría natural del terreno.

Finalmente, se ha estimado la Zona de Graves Daños y la Vía de Intenso Desagüe para $T=100$ años según la definición recogida en el Real Decreto 9/2008. En el primer caso 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 m²/s. En el segundo caso 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.

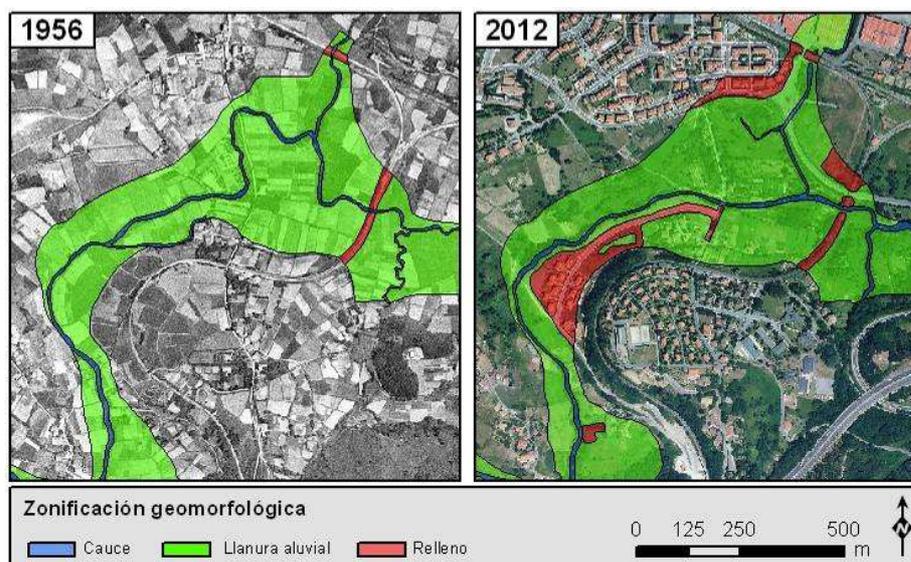
«Vuelo Americano» (1956-57). La cartografía se ha digitalizado sobre ortofotomapas de los años 1954 y 1956-57 en Álava y Gipuzkoa, respectivamente, mientras que en Bizkaia la restitución se ha efectuado sobre fotogramas del vuelo 1956-57 georreferenciados a tal efecto.

- Cartografía geomorfológica en condiciones alteradas: Esta cartografía muestra las condiciones geomorfológicas de los cauces en la actualidad, una vez que la intervención humana ha provocado cambios importantes en los sistemas fluviales. Esta zonificación se ha realizado mediante la interpretación combinada de imágenes estereoscópicas de la fotografía aérea de 2012 y Modelos Digitales del Terreno derivados de las imágenes LIDAR utilizadas en la modelización hidráulica. La cartografía se ha digitalizado directamente sobre el ortofotomapa de esta fotografía aérea.

En la tabla siguiente se describen las unidades geomorfológicas consideradas en la zonificación geomorfológica de las ARPSIs. También se describen algunas de las principales formas fluviales de detalle que se han documentado. Toda la cartografía se ha elaborado a una escala aproximada 1:1 000, si bien los tramos urbanos se han analizado a escalas de mayor detalle.

	Unidad	Definición e interpretación	Ejemplo
ZONIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA	Cauce	Canal natural del río, delimitado por orillas más o menos netas, incluyendo el canal de aguas bajas y los depósitos móviles de barras cubiertos por las avenidas ordinarias. <i>Esta unidad geomorfológica forma parte del Dominio Público Hidráulico.</i>	
	Ribera	Zona adyacente al cauce con fases colonizadoras de vegetación riparia o con formas erosivas y sedimentarias evidentes. <i>Esta unidad geomorfológica forma parte del Dominio Público Hidráulico.</i>	
	Llanura aluvial	Depósito aluvial delimitado por las laderas del valle. Dentro de la llanura aluvial pueden existir diferentes niveles (terrazas) separados entre sí por escarpes. <i>Toda la llanura aluvial es un terreno potencialmente inundable. Los niveles de terrazas representan unidades con diferentes grados de inundabilidad.</i>	

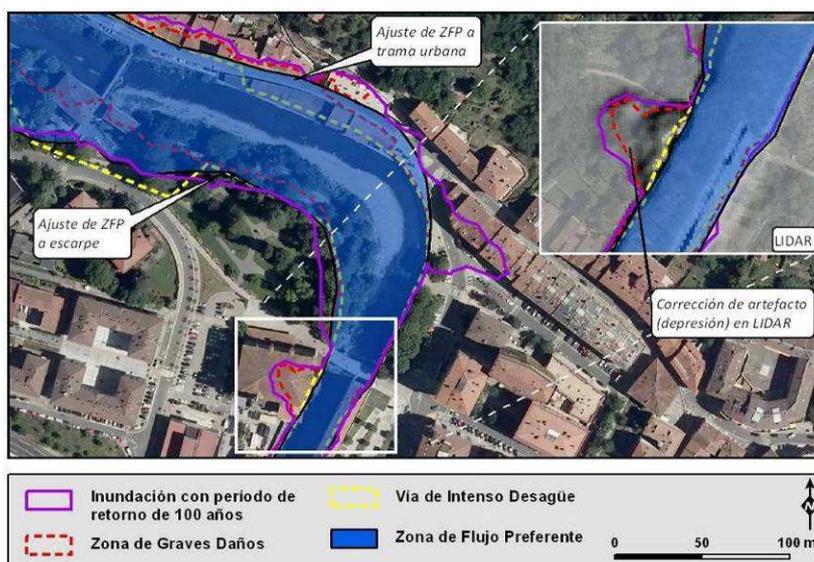
	Unidad	Definición e interpretación	Ejemplo
FORMAS FLUVIALES	Llanura fluvio-mareal	Depósito aluvial en la zona de influencia de las mareas, cerca de la desembocadura. La cubierta vegetal es nula o de pequeño porte y son característicos los canales mareales. <i>Las llanuras con evidencias de influencia mareal son terrenos muy inundables a efectos de la zonificación.</i>	
	Relleno	Zona de la llanura aluvial en la que se ha acumulado material de forma artificial hasta el punto de alterar apreciablemente la cota del terreno: terraplenes de carreteras, escombreras, etc. <i>Los rellenos reducen puntualmente la probabilidad de inundación en la zona afectada, pero pueden agravar los efectos de las avenidas en sectores adyacentes por desvío del flujo, deficiencias de drenaje, etc.</i>	
	Escarpe	Escalón más o menos marcado que separa dos niveles de la llanura (terrazas) a diferentes alturas con respecto al cauce. <i>Los escarpes, tanto los naturales como los artificiales, fijan el alcance máximo de las inundaciones en función de la magnitud de la avenida. Esta forma fluvial constituye el principal criterio utilizado en el ajuste cartográfico de las zonas inundables.</i>	
	Punto de desbordamiento	Tramos de orilla que, debido a su configuración geomorfológica, son puntos favorables para el desbordamiento durante avenidas. <i>Los puntos favorables al desbordamiento incrementan la probabilidad de inundación de la margen afectada y, por lo tanto, constituyen un criterio para incrementar la peligrosidad.</i>	
	Canal secundario de avenida	Formas canaliformes de origen erosivo en la llanura aluvial. Estos canales tienden a canalizar el flujo durante las avenidas. <i>Los canales secundarios de avenida son característicos del Dominio Público Hidráulico y de la Zona de Flujo Preferente.</i>	



Evolución geomorfológica del río Asua en Sondika entre 1956 y 2012

En una segunda etapa de trabajo se han trasladado las conclusiones del análisis geomorfológico a la cartografía de zonas inundables del siguiente modo:

- Zonas inundables para períodos de retorno de 10, 100 y 500 años: Se han realizado ajustes en el perímetro de estas zonas teniendo en cuenta la existencia de escarpes y otras formas fluviales, así como los artefactos detectados en las imágenes LIDAR.
- Dominio Público Hidráulico: Se ha delimitado teniendo en cuenta la cartografía geomorfológica (tanto en condiciones semi-naturales como modificadas) y los resultados de la modelización hidráulica.
- Zona de Flujo Preferente: Se ha delimitado teniendo en cuenta los resultados de la modelización hidráulica (VID y ZGD) y la cartografía geomorfológica.



Delimitación de la ZFP del río Deba en Bergara unificando criterios hidráulicos y geomorfológicos

3.5. Información gráfica

Como resultado de los trabajos anteriores, se han confeccionado para cada ARPSI los siguientes planos:

- Zonas inundables para $T=10$, $T=100$ y $T=500$ años.
- Zona de Flujo Preferente según la definición recogida en el Real Decreto 9/2008 y obtenida como envolvente de la Zona de Graves Daños y la Vía de Intenso Desagüe para $T=100$ años.
- Delimitación del Dominio Público Hidráulico junto con sus Zonas de Servidumbre y Policía.

4. Mapas de riesgo

El principal objetivo de los mapas de riesgo es aportar la información de base para la elaboración de los futuros Planes de Gestión del Riesgo y, en este sentido, deben reflejar los daños asociados a las inundaciones, tanto en lo concerniente a la salud humana como en lo relativo al medio ambiente y a la actividad económica. Adicionalmente, deben responder a las cuestiones siguientes:

- Según la Consideración Inicial nº12 de la Directiva Europea de Inundaciones, los mapas de riesgo deben proporcionar una base sólida para el establecimiento de prioridades y la toma de decisiones adicionales de índole técnica, económica y política relativas a la gestión del riesgo. En consecuencia deben constituir una herramienta eficaz para valorar y priorizar medidas dentro de un ARPSI, así como para realizar una comparativa entre diferentes ARPSIs.
- Según la Consideración Inicial nº7 de la Directiva Europea de Inundaciones, estos mapas deben servir a las autoridades de Protección Civil como punto de partida para un desempeño más eficiente de su actividad, ya que ésta puede proporcionar una respuesta adecuada a las poblaciones afectadas, mejorar la preparación y aumentar la capacidad de recuperación y adaptación.
- El Artículo nº7 de la Directiva Europea de Inundaciones establece que la adecuada gestión del riesgo de inundación debe efectuarse teniendo en cuenta los costes incurridos en su reducción y los beneficios esperados. En este sentido, los costes de inversión necesarios para mitigar el riesgo de inundación deben ser comparados con los beneficios asociados para establecer su idoneidad.

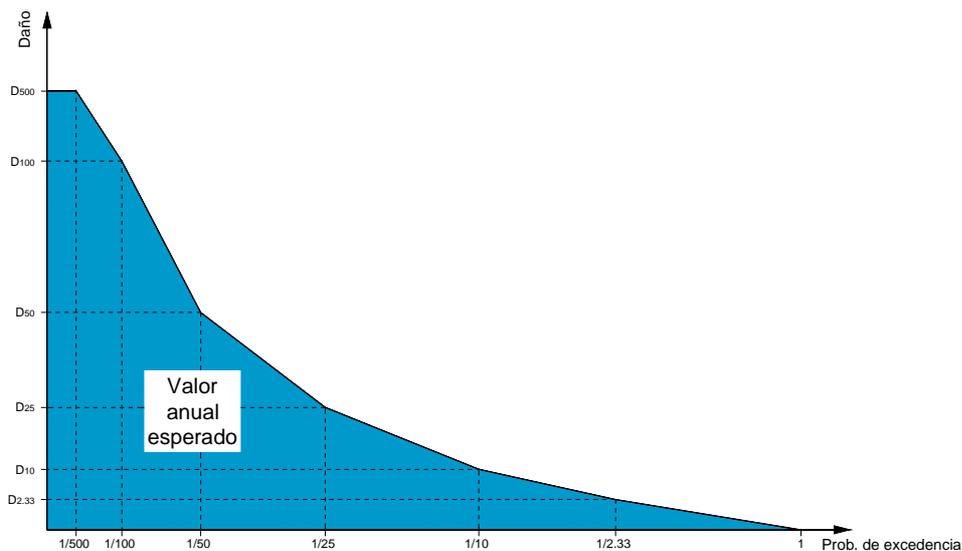
Teniendo en cuenta lo anterior, además del contenido mínimo exigido para estos mapas:

- Número indicativo de habitantes que pueden verse afectados.
- Tipo de actividad económica de la zona que puede verse afectada.
- Instalaciones que puedan ocasionar contaminación accidental en caso de inundación y zonas protegidas que puedan verse afectadas.

la Agencia Vasca del Agua ha decidido abordar de manera exhaustiva la estimación cuantitativa de las pérdidas esperables, tanto de vidas humanas como económicas, de manera que las Autoridades Hidráulicas y de Protección Civil puedan contar en el futuro con adecuadas herramientas de juicio para la gestión del problema. Adicionalmente se han analizado las infraestructuras viarias que pueden verse afectadas para cada avenida, de manera que se disponga de una visión de las vías de evacuación más adecuadas en cada caso.

El objetivo que se persigue es la cuantificación del valor anual esperado del daño asociado al fenómeno de las inundaciones para cada uno de los aspectos antes señalados. Esta cuantificación permitirá, por un lado, efectuar una comparación homogénea entre ARPSIs y medidas de protección a plantear, y por otro lado, abordar un adecuado análisis coste-beneficio, siendo los costes la inversión y los gastos de explotación y mantenimiento asociados a las obras o actuaciones de defensa, y los beneficios el valor de los daños evitados por su implantación.

La magnitud de los daños varía en función de la intensidad de la crecida, y ésta presenta a su vez una determinada probabilidad de ocurrencia, de forma que el producto de daño y probabilidad en cada caso será la contribución al valor anual esperado. En consecuencia, el valor anual esperado del daño equivale al área bajo la curva que relaciona su magnitud con la probabilidad de excedencia (inverso de T). Es práctica habitual discretizar el continuo de probabilidad en periodos de retorno concretos (en el presente caso 2.33, 10, 25, 50, 100 y 500 años), de manera que la integral se convierta en un sumatorio.



Metodología para la estimación del valor anual esperado del daño

Siguiendo este procedimiento, se ha calculado el valor medio anual de la población afectada, de las víctimas mortales potenciales y de las pérdidas económicas esperables en cada una de las ARPSIs del ámbito de estudio.

4.1. Estimación de la población afectada

Para el cálculo de la población afectada se dispone de una cobertura espacial con indicación de la población residente asociada a cada edificio según información suministrada por el Instituto Vasco de Estadística (EUSTAT). Esta cobertura puede

intersecarse con la delimitación de la zona inundable correspondiente a un determinado periodo de retorno para así obtener el número de habitantes que pueden verse afectados en cada caso.



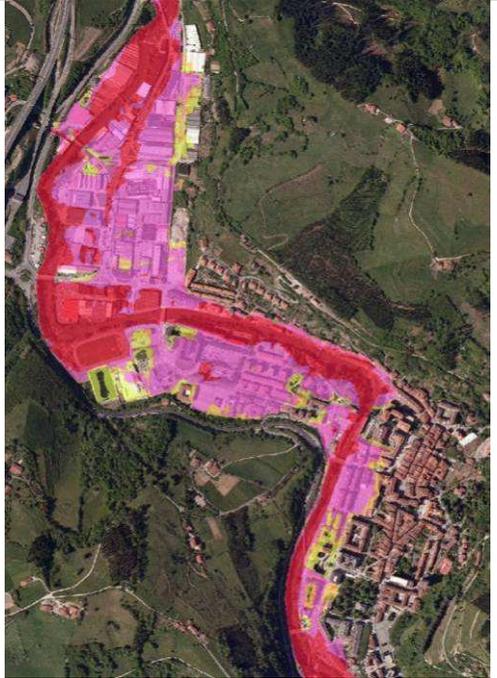
Población en zona inundable para T500 en el ARPSI de Azkoitia

Esta información sirve también como punto de partida para el cálculo del número de víctimas esperables dentro de cada ARPSI y para cada periodo de retorno. El procedimiento aplicado en este caso se basa en la superposición de la peligrosidad de la avenida a lo largo del ARPSI con la vulnerabilidad del área, la población expuesta al fenómeno y su propia vulnerabilidad, según la metodología recogida en el documento "Flood Risk to People" elaborado por el *Department for Environment, Food and Rural Affaire* (DEFRA) inglés en 2006, si bien convenientemente particularizada a la realidad de la CAPV.

La población expuesta al fenómeno se obtiene como el 20% de la total existente en la zona inundable y se asocia a la residente en las plantas bajas de los edificios. Este porcentaje equivale al ratio medio en la CAPV de plantas bajas sobre totales según datos proporcionados por los Catastros Forales.

La distribución espacial de la peligrosidad de la crecida se calcula a lo largo del ARPSI en función del calado, la velocidad de la corriente y la posible presencia de sólidos flotantes (esta última también función del calado), y se clasifica según su magnitud de la siguiente forma:

Peligrosidad	Descripción
Baja	Precaución: área fluyente poco profunda o inundación estancada
Moderada	Peligroso para algunos: inundación profunda o rápida
Significativa	Peligroso para muchos: inundación profunda y rápida
Extrema	Peligroso para todos: inundación profunda y muy rápida



Distribución espacial de la peligrosidad para vidas humanas en el ARPSI de Bergara

La vulnerabilidad del área se establece en función de tres variables:

- La velocidad de la crecida: Caracterizada por el tiempo de concentración de la cuenca vertiente. A mayor rapidez mayor vulnerabilidad
- El tipo de edificación: Definida por la capacidad resistente y la altura de las edificaciones residenciales. A menor resistencia mayor vulnerabilidad.
- La existencia y eficacia de sistemas de alerta temprana: Su presencia reduce la vulnerabilidad.

Cada variable se puntúa de 1 a 3, de manera que la vulnerabilidad del área (suma de los tres conceptos) puede oscilar ente 1 (muy baja) y 9 (muy alta).

Variable	Riesgo bajo (1 pto)	Riesgo medio (2 ptos.)	Riesgo alto (3 ptos.)
Velocidad de la avenida	Gradual. Varias horas	Del orden de 1 hora	Menor de 1 hora
Tipo de edificación	Bloques de pisos	Viviendas aisladas y pabellones	Temporal o móvil
Sistema de alerta	Operativo y asociado a planes de emergencia	De operatividad limitada o no testada	No existente

Por último, la vulnerabilidad de las personas, aplicada sobre la población expuesta, se asocia al porcentaje de población con movilidad reducida, identificada como los habitantes mayores de 75 años (datos variables por municipio según EUSTAT)

Teniendo en cuenta las variables anteriores (población expuesta, peligrosidad, vulnerabilidad del área y vulnerabilidad de las personas) la metodología DEFRA ofrece una formulación para la estimación de las víctimas esperables. Aplicando la formulación adaptada a la realidad de la CAPV, se obtienen los siguientes valores anuales esperados en las ARPSIs de las Cuencas Internas de la CAPV:

- Población residente en zona inundable: 7.753 hab/año
- Población expuesta al fenómeno: 1.551 hab/año
- Víctimas mortales: 0,72 víc./año

Destacar que el número global de víctimas anuales potenciales está en consonancia con las estadísticas disponibles.

4.2. Estimación de los daños económicos esperados

La estimación de los daños materiales asociados a la ocurrencia de avenidas se ha centrado exclusivamente en los daños directos, que son los únicos que se han podido cuantificar y para los que existen datos de contraste. Dentro de ellos se han evaluado los siguientes conceptos: daños estructurales a edificios, daños a los bienes contenidos en los edificios, daños a vehículos, afección a vías de comunicación, costes de limpieza y costes de los servicios de emergencia, al ser éstos los de mayor relevancia.

Su cuantificación se basa en gran medida en la información recopilada durante la EPRI, con la diferencia de que en el presente trabajo se han calculado los daños reales y no los máximos potenciales. En este sentido, se ha tenido en cuenta la peligrosidad de la crecida a lo largo del área afectada a partir del valor del calado en cada punto, definiendo al efecto una función de daños.

El procedimiento seguido requiere, inicialmente, la estimación del daño potencial máximo para cada tipo de daño considerado en el análisis. La metodología aplicada para cada tipo ha sido la siguiente:

- Daños estructurales a las edificaciones: A partir de la cobertura espacial con la valoración actualizada de la construcción, proporcionada por los catastros forales, se ha obtenido el correspondiente a las plantas bajas y subterráneas de

cada edificio. Por tanto, se aplica en cada caso el valor individual proporcionado por catastro con independencia del uso al que pertenezca. A modo ilustrativo, el valor medio para usos residenciales (edificaciones que no cuentan con actividades comerciales) resulta de 176 €/m² mientras que para el resto de edificaciones asciende a 292 €/m².

– Daños al contenido de las propiedades: El valor del contenido se hace depender del continente (valor de construcción anterior) de la forma:

- Usos residenciales: 50%
- Usos comerciales y equipamientos: variable entre un 50% y un 150% en función del número de trabajadores que desarrollan su actividad profesional en cada edificación. Para esto último, se ha contado con datos suministrados por EUSTAT.

% contenido sobre continente	Nº empleos
60	0-2
70	3-5
80	6-9
90	10-17
100	15-19
110	20-49
120	50-99
130	100-249
140	250-499
150	>= 500

En la definición de los límites del rango de variación, se han tenido en cuenta las estimaciones de la *Federal Emergency Management Agency* norteamericana (FEMA) y del *Flood Hazard Research Centre* inglés (FHRC), y han sido contrastados con otros estudios efectuados en Holanda, Austria y Alemania.



Daños unitarios máximos a continente (estructura) y contenido (bienes) en el ARPSI de Azkoitia

- Daños a vehículos: Los vehículos pueden estar estacionados en garajes o en los viales que rodean las edificaciones pero usualmente se asocian a ellas. En consecuencia, su cuantía se estima a partir del número de habitantes residentes en cada edificación multiplicado por el ratio de turismos por habitante, con un valor medio en la CAPV de 0,61 según las estadísticas de EUSTAT (variable en función del municipio). El daño medio por turismo se fija en 4.500 €/ud (indemnización media del Consorcio de Compensación de Seguros - CCS - para los eventos de junio de 2008, enero de 2009, junio de 2010 y noviembre de 2011)
- Daños a las vías de comunicación: Se establece en 50 €/ml para carretera local gris secundaria de Gipuzkoa, aplicándose los pesos siguientes, calculados en función de la Intensidad Media Diaria del tráfico, para estimar los daños en el resto de vías:

Tipo de vía	Territorio		
	Bizkaia	Gipuzkoa	Álava
Autopistas y autovías	90	90	50
Red de interés preferente	40	26	21
FFCC	30		
Red básica	32	22	10
Red complementaria	30		
Red comarcal	7,6	11	3,4
Red local amarilla	3	4	1,4
Red local gris principal		3	0,4
Red local gris secundaria		1	
Calle	3		

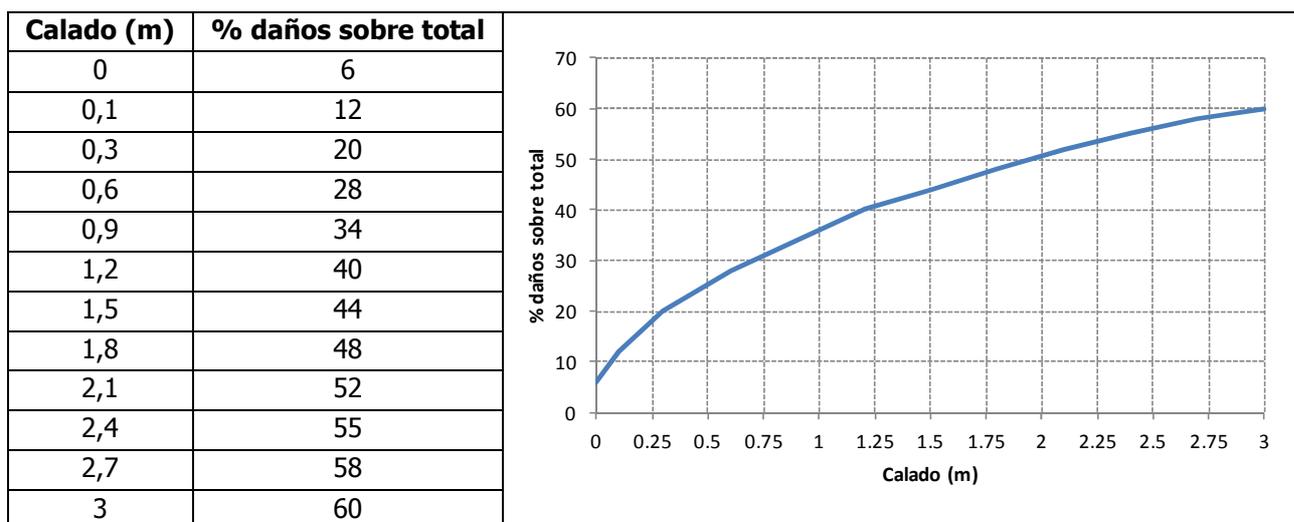
Tipo de vía	Territorio		
	Bizkaia	Gipuzkoa	Álava
Camino vecinal	0,1		

- Costes de limpieza y servicios de emergencia: Se valoran en un 15% del daño asociado al resto de conceptos (edificaciones, propiedades, vehículos y vías) En la definición de este porcentaje se han tenido en cuenta los criterios definidos por el FHRC.

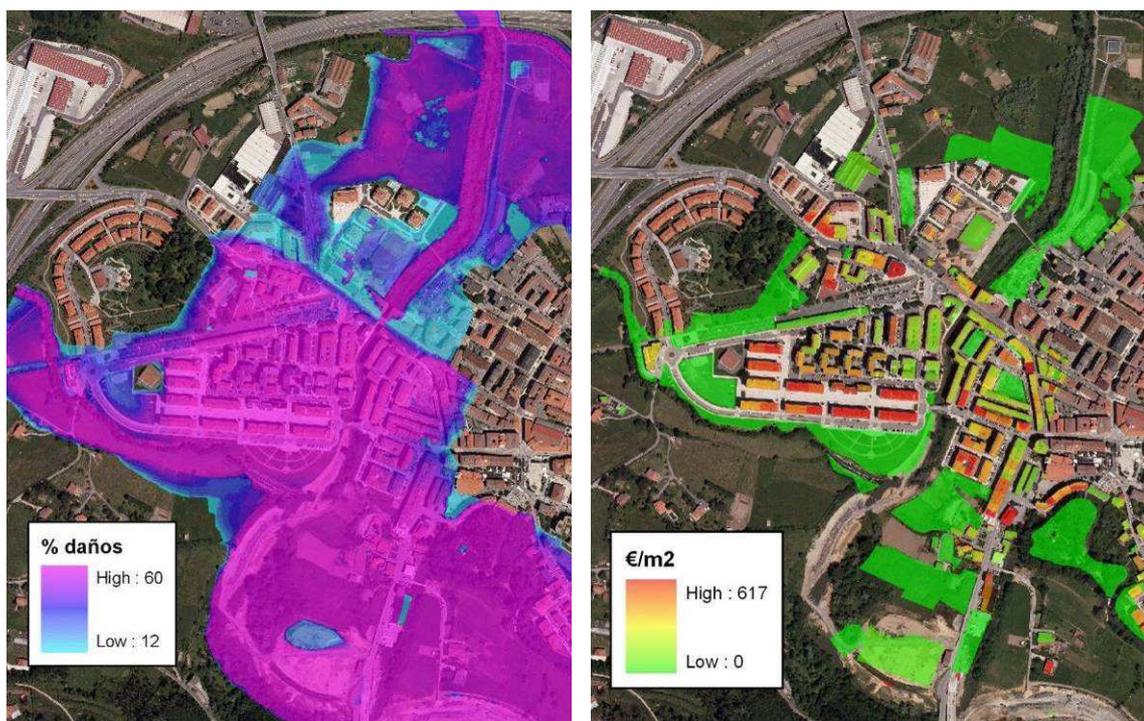
Fijados los daños máximos para cada tipo considerado, la obtención de los daños reales requiere del empleo de una función de daños que permita considerar el efecto diferencial de una avenida en función de su magnitud, representada en este caso por el calado de inundación. Existen en la literatura distintos tipos de curvas obtenidas a partir de valores experimentales y de la cuantificación de los daños en eventos históricos. Aunque su cuantía absoluta varía según la idiosincrasia de cada país, la evolución porcentual sobre el daño total resulta semejante, por lo que ésta puede ser aplicada al caso de la CAPV.

Sin embargo, esta transposición requiere efectuar una verificación previa de su validez. Este ejercicio se ha desarrollado en la CAPV mediante comparación de los resultados teóricos obtenidos de la aplicación del método descrito con los daños cuantificados por el CCS en agosto de 1983 para toda la Vertiente Cantábrica (equivalentes aproximadamente a una avenida de T=500 años) y con los importes pagados por el CCS en el evento de junio de 2010 en el Ibaizabal (municipio de Galdakao) y en el evento de noviembre de 2011 en el Urumea (municipios de Donostia, Astigarraga y Hernani). En estos dos últimos casos se contaba con una adecuada estimación del caudal pico de la crecida, lo que permitió estimar los calados de inundación acontecidos.

Como resultado de esta comparación, se validó la función de daños que se presenta a continuación. A destacar que implica la existencia de un valor residual del 40% para calados por encima de 3 m, lo que resulta coherente con el hecho de que usualmente no se produce la pérdida total del elemento.



En lo referente a vehículos, se establece un calado límite para considerar la pérdida del elemento de 0,3 m, que es cuando un vehículo comienza a ser inestable en ausencia de velocidad.



Aplicación de la función de daños para T500 (izq) y daños totales en edificios (der) en el ARPSI de Mungia

Operando de esta forma se obtiene los siguientes valores anuales esperados en las ARPSIs de las Cuencas Internas de la CAPV:

- Daño a edificios: 31.253.070 €/año
- Daño a vehículos: 13.821.150 €/año

- Daño a vías de comunicación: 9.695.290 €/año
- Costes de limpieza y servicios de emergencia: 8.215.427 €/año
- Daño total: 62.984.937 €/año

Los valores individuales por ARPSI se recogen en las fichas adjuntas. Destacar que el número global de pérdidas económicas anuales está en consonancia con la estimación recogida en la publicación "Pérdidas por Terremotos e Inundaciones en España durante el Periodo 1987-2001 y su estimación para los próximos 30 años (2004-2033)" (CCS – IGME - 2004).

4.3. Otras afecciones

Además de las exigencias mínimas establecidas en la Directiva Europea de Inundaciones y que suponen la identificación de los elementos susceptibles de provocar contaminación:

- Industrias con riesgo químico SEVESO
- Principales EDAR
- Principales ETAP

la Agencia Vasca del Agua ha considerado oportuno incluir en el análisis del riesgo los siguientes aspectos:

- Registro de Zonas Protegidas del Plan Hidrológico. Se han incluido las siguientes figuras:
 - Captaciones abastecimiento urbano (**CAU**): Masas de agua para abastecimiento urbano
 - Protección de especies acuáticas significativas económicamente (**PEASE**): Zonas declaradas de protección de especies acuáticas significativas desde el punto de vista económico.
 - Zonas de baño (**ZAB**): Masas de agua declaradas de uso recreativo
 - Zonas declaradas sensibles en aplicación de las normas sobre tratamiento de aguas residuales urbanas (**ZSE**)
 - Zonas de protección de hábitat o especies de la Red Natura 2000 (**RN2000**): Zonas declaradas de protección de hábitat o especies en las que el mantenimiento o mejora del estado del agua constituya un factor importante para su protección.
 - Perímetros de protección aguas minerales termales aprobados de acuerdo con su legislación específica (**PPAMT**)

- Zonas Húmedas (**ZH**): Zonas Húmedas seleccionadas por estar propuestas para su inclusión en el Inventario Español de Zonas Húmedas de acuerdo con el Real Decreto 435/2004, de 12 de marzo o estar incluidas en la Lista del Convenio de Ramsar
 - Zonas fluviales de Protección Especial (**ZPE**): Tramos fluviales de interés natural o medioambiental
 - Otras figuras de protección (**ZPE otras**)
- Otros elementos sensibles: Se han considerado los siguientes:
- Parques de Bomberos
 - Hospitales
 - Zonas de acampada
 - Puntos limpios
 - Centrales eléctricas

cuya ubicación procede del Sistema de Información Municipal del Dpto. de Economía y Finanzas del Gobierno Vasco.

En las fichas adjuntas se recogen las interferencias con los elementos anteriores. A modo de resumen, se tiene:

		Interferencias con Zona Inundable T500
Elementos susceptibles de provocar contaminación	I. R. Químico	1
	EDAR	3
	ETAP	0
Registro de Zonas Protegidas del plan hidrológico	CAU	1
	PEASE	7
	ZAB	6
	ZSE	6
	RN2000	6
	PPAMT	1
	ZH	10
	ZPE	2
	ZPE otras	21
Otros elementos sensibles	Parques Bomberos	1
	Hospitales	1
	Zonas de acampada	0
	Puntos limpios	1
	Centrales eléctricas	2

4.4. Información gráfica

Como resultado de los trabajos anteriores, se han confeccionado para cada ARPSI los siguientes planos:

- Afección a la población, con indicación de la densidad de población residente en los edificios ubicados dentro de la zona inundable.
- Actividades económicas afectadas (grupo CNAE proporcionado para cada portal por EUSTAT) para los tres periodos de retorno de análisis y vías de comunicación interrumpidas.
- Zonas de vulnerabilidad ambiental, con indicación de los elementos que pueden causar contaminación en caso de inundación y la delimitación a modo de envolvente del Registro de Zonas Protegidas del Plan Hidrológico.