

# Análisis del impacto de un relleno en un meandro del río Arga (Huarte-Navarra) y propuesta de restauración hidráulica.

Gastesi R.<sup>a</sup>, González J.<sup>b</sup>, Pérez C.<sup>c</sup>, Tanco I.<sup>d</sup> y Amorena A.<sup>e</sup>

<sup>a</sup> Dpto. de Sistemas de Información Territorial. Sección de Ingeniería del Agua. Trabajos Catastrales S. A. (TRACASA). C/ Cabárceno, 6. 31621. Sarriguren. Navarra [rgastesi@tracasa.es](mailto:rgastesi@tracasa.es) <sup>b</sup> Universidad de Castilla-La Mancha <sup>c</sup> Gobierno de Navarra <sup>d</sup> Ayuntamiento de Huarte y <sup>e</sup> Mancomunidad de la Comarca de Pamplona.

Línea temática M | Tema Monográfico

## RESUMEN

En las proximidades del río Arga, a su paso por el Municipio de Huarte (Navarra), en su margen izquierda se realizó el relleno del margen interior del meandro de Aracea aumentando su cota en 7 m respecto al nivel original en algunas zonas del mismo, evitando así su inundabilidad natural en avenidas. La inundación en esta zona se produce por el desbordamiento del río aguas arriba del conjunto de dos azudes y el río se desborda en ambas márgenes. El relleno ocasiona el incremento de calados aguas arriba del mismo en el inicio del meandro, aumentando aquí la extensión de la zona inundada. Las actuaciones de retirada parcial propuestas, cumplen con la definición de ZFP, consiguen calados y velocidades prácticamente iguales a la situación original, por lo que reproducen la dinámica del río de manera satisfactoria. La medida correctora implementada es la retirada parcial con un menor desmonte de tierras.

**Palabras clave** | Inundabilidad; relleno; retirada parcial; hidráulica; Zona de Flujo Preferente.

## INTRODUCCIÓN

El cierre de la harinera Huici Leidan en 2013 con 44 trabajadores y 43 años de historia, ubicada entre Olaz y Huarte, supuso la desaparición de la única empresa española de fabricación del almidón de trigo. La principal causa fue una falta de competitividad ante el almidón de maíz agudizada por una mala cosecha de cereal, producto del primer semestre más lluvioso desde que hay registros, y que generó un trigo de escasa calidad, junto al hecho de que, además, se vio gravemente afectada por la histórica inundación del 9 de junio de 2013. Aquella mañana, el agua alcanzó alrededor de 1,70 metros en las instalaciones de la harinera, dedicada a la fabricación de almidón y gluten de trigo. El agua anegó el laboratorio y arruinó el material especializado de la compañía, que tardó dos semanas en reanudar su actividad.



Figura 1 | Inundación del 9 de junio de 2013 en el meandro de Aracea. En primer plano se ve la harinera Huici Leidan y al fondo el relleno.

Con el objeto de corregir el efecto hidráulico de relleno sobre las velocidades y los calados, se propone la retirada parcial del relleno, para aproximar el comportamiento hidráulico del río en la zona a la situación primitiva sin relleno. Se propone la zona más efectiva y adecuada para una retirada parcial del relleno, siguiendo las líneas de corriente que se observan en el desbordamiento natural del río. Con esta finalidad se proponen dos retiradas parciales y se analizan pormenorizadamente desde el punto de vista hidráulico y de geomorfología fluvial. El requisito hidráulico que marca la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) es que se cumpla con la definición de Zona de Flujo Preferente (ZFP) tras adoptar una de las alternativas de retirada parcial del relleno planteadas.

## Requisitos hidráulicos. Zona de Flujo Preferente

En la Zona de Flujo Preferente, el Organismo de cuenca sólo podrá autorizar actividades no vulnerables frente a las avenidas y que no supongan una reducción significativa de la capacidad de desagüe de dicha vía, por ello resulta de especial importancia que se analice la extensión de la ZFP para cada una de las alternativas propuestas.

La ZFP es aquella zona constituida por la unión de la zona o zonas donde se concentra preferentemente el flujo durante las avenidas, o vía de intenso desagüe, y de la zona donde, para la avenida de 100 años de periodo 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 asociada al periodo de retorno de 100 años (cuyo caudal de diseño en el río Arga es de 184,8 m<sup>3</sup>/s), satisfagan uno o más de los siguientes criterios:

- a) El calado (h) sea superior a 1 m
- b) La velocidad (v) sea superior a 1 m/s
- c) El producto de ambas variables (hxv) 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 periodo de retorno sin producir una sobreelevación mayor de 0,3 m permitiéndose hasta 0,5 m en casos concretos, respecto a la cota de la lámina de agua que se produciría con esa misma avenida considerando toda la llanura de inundación existente. Asimismo, para el cálculo de la VID se tendrá en cuenta, junto a la condición sobre el incremento de niveles, un límite máximo al incremento de velocidades de un 10 %, según las recomendaciones expuestas en la Guía Metodología para el Desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables.

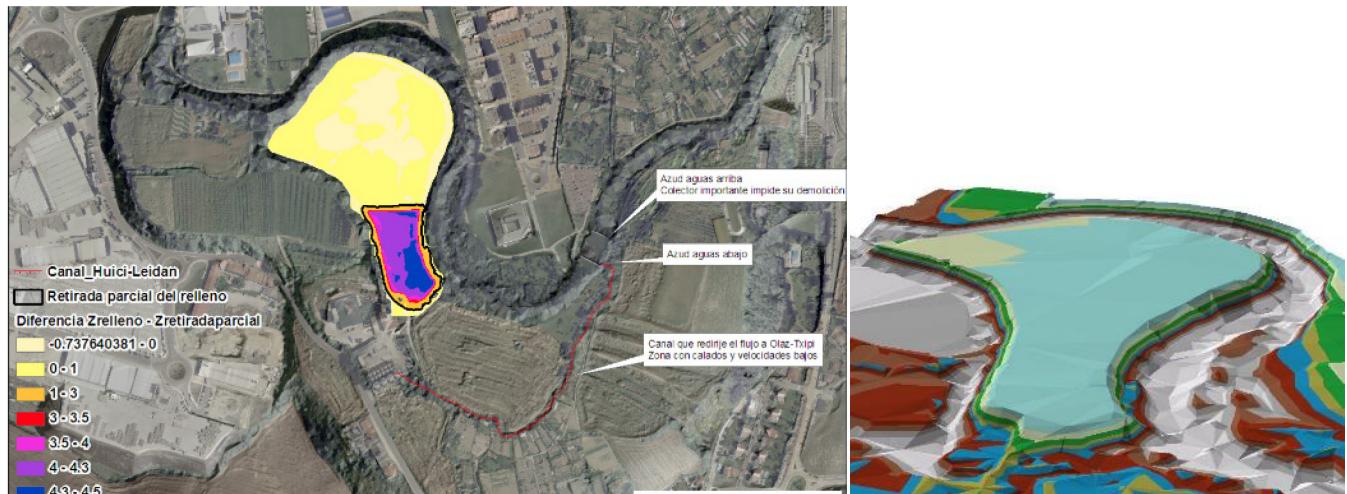
## MATERIAL Y MÉTODOS

Se dispone de toda la información del proyecto de “Evaluación, Gestión y Ordenación Hidráulica del Riesgo de Inundaciones en la Comarca de Pamplona” cuyo estudio pluviométrico e hidrológico definen el caudal de diseño asociado a un periodo de retorno de 100 años utilizado. El estudio geomorfológico en el cual se analiza la evolución del cauce desde 1929 a 2010, el análisis del cambio de uso del suelo, la identificación de procesos geomorfológicos en el cauce y la definición del territorio fluvial y el estudio hidráulico son la base sobre la que se fundamenta el presente estudio de detalle.

El modelo hidráulico del río Arga y sus afluentes principales, en la Comarca de Pamplona, desarrollado mediante un modelado hidráulico unidimensional del cauce y las estructuras hidráulicas que en él se encuentran (puentes y azudes), y un modelado bidimensional de las llanuras de inundación anexas a los cauces principales y conectado hidráulicamente al río con InfoWorks RS+2D, reproduciendo así la capacidad hidráulica del cauce afectadas por las diferentes obras de fábrica, y el proceso de desbordamiento y flujo en general bidimensional o predefinido, producido en las llanuras de inundación, en estado natural o antropizadas.

## Descripción de la zona de estudio

En las proximidades del río Arga, a su paso por el Municipio de Huarte (Navarra), en su margen izquierda se ha realizado el relleno del margen interior de un meandro. Este relleno se sitúa frente al Edificio Foro Europeo Escuela de Negocios de Navarra y el Polideportivo Municipal de Huarte, ambos situados en la margen derecha. El relleno actual del meandro de Aracea ocupa una superficie de 5.27 ha y supone un volumen de tierras de aproximadamente 173.600 m<sup>3</sup>, aumentando su cota con alturas de 7 m respecto al nivel original en algunas zonas del mismo, evitando así su inundabilidad natural en momentos de avenida.



**Figura 2 |** Actuación 1. Retirada parcial del relleno más retirada de la franja interna del meandro.

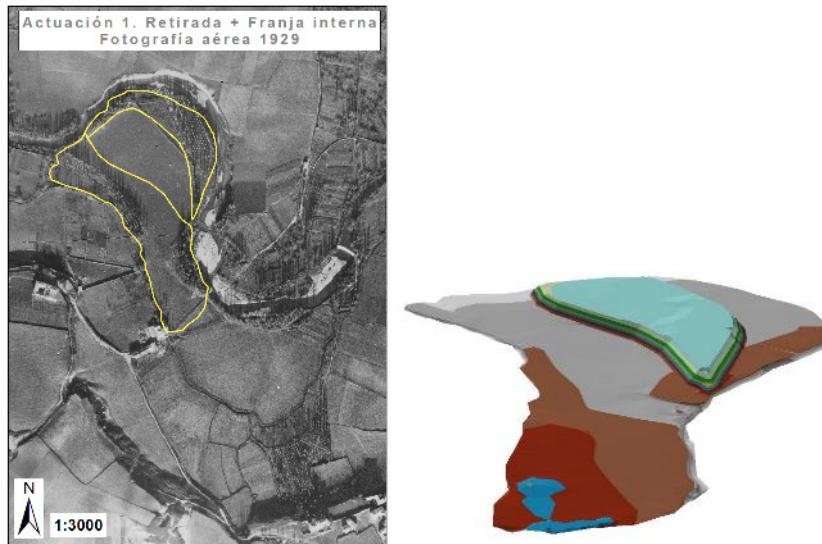
El comportamiento del desbordamiento en ambas márgenes y ocupación de la llanura de inundación está controlado principalmente por el conjunto de dos azudes, aguas arriba de los cuales se produce el desbordamiento de parte del caudal, que posteriormente aguas abajo se vuelve a incorporar al cauce, aguas arriba del relleno, en la margen derecha, y ya aguas abajo del relleno, en el caso de la margen izquierda, debido al canal de riego situado en esta margen que dirige y devuelve las aguas al río aguas abajo del relleno. Un canal/acequia (línea roja en la Figura 2) que va desde el azud aguas abajo hacia la harinera Huici-Leidan redirige parte del caudal de desbordamiento hacia la zona de Olaz-Txipi en situación de avenida. La existencia del relleno a efectos de los calados producidos ocasiona el incremento de calados aguas arriba del mismo, debido a que el relleno impide el desbordamiento que antes se producía en esa zona. Por tanto, el principal efecto que provoca la existencia del relleno es desde el punto de visto hidráulico, el cambio en la distribución de velocidades a lo largo del cauce aguas arriba y bordeando al meandro y el aumento de calados y por tanto de extensión de la inundación en el inicio del meandro.

## Descripción de alternativas

Las medidas correctoras propuestas son la retirada del relleno de tierras en el tramo aguas arriba del meandro, con el objeto de permitir el desbordamiento natural que sufrió el río en esa zona previo a la existencia del relleno, lo cual producirá un reparto entre el caudal que circula por el cauce a lo largo del meandro y el que corta el meandro mediante el flujo sobre la planicie de inundación más próximo a la situación primitiva. Se proponen dos actuaciones. En la denominada Actuación 1 se propone la retirada parcial en el tramo aguas arriba del meandro así como en la franja interna del meandro. En la denominada Actuación 2 se propone sólo la retirada parcial en el tramo aguas arriba del meandro.

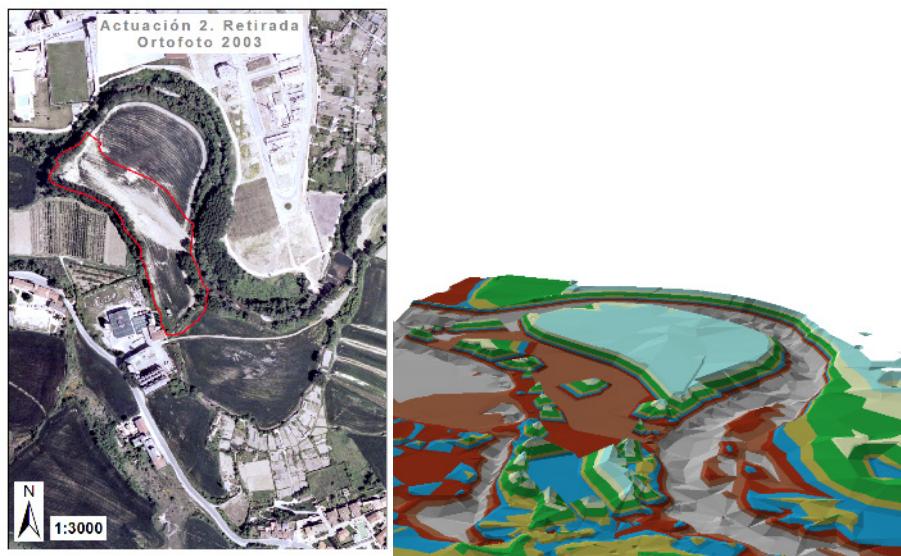
La alternativa denominada Actuación 1 (Figura 3), contempla no solo la retirada parcial del relleno, en su tramo aguas arriba del meandro siguiendo la huella de la avenida de Febrero del 2003, si no también retirar una franja de la cara interna del meandro, que evitaría los procesos de erosión en la margen contraria, y devolvería capacidad de desagüe al cauce, siguiendo la

zona con mayor presencia de vegetación de ribera en la fotografía aérea de 1929. Dicha Actuación 1 supone un volumen aproximado de 121.500 m<sup>3</sup> de tierras, aproximadamente el 70% del volumen de relleno actual, quedando una superficie de relleno remanente de 1.48 ha.



**Figura 3 |** Actuación 1. Retirada parcial del relleno más retirada de la franja interna del meandro.

En la Actuación 2 se propone sólo la retirada parcial del relleno, en su tramo aguas arriba del meandro siguiendo la huella de la avenida de Febrero del 2003, lo que supone un volumen aproximado de 84.400 m<sup>3</sup> de tierras, aproximadamente el 49% del volumen de relleno actual, quedando una superficie de relleno remanente de 2.62 ha.

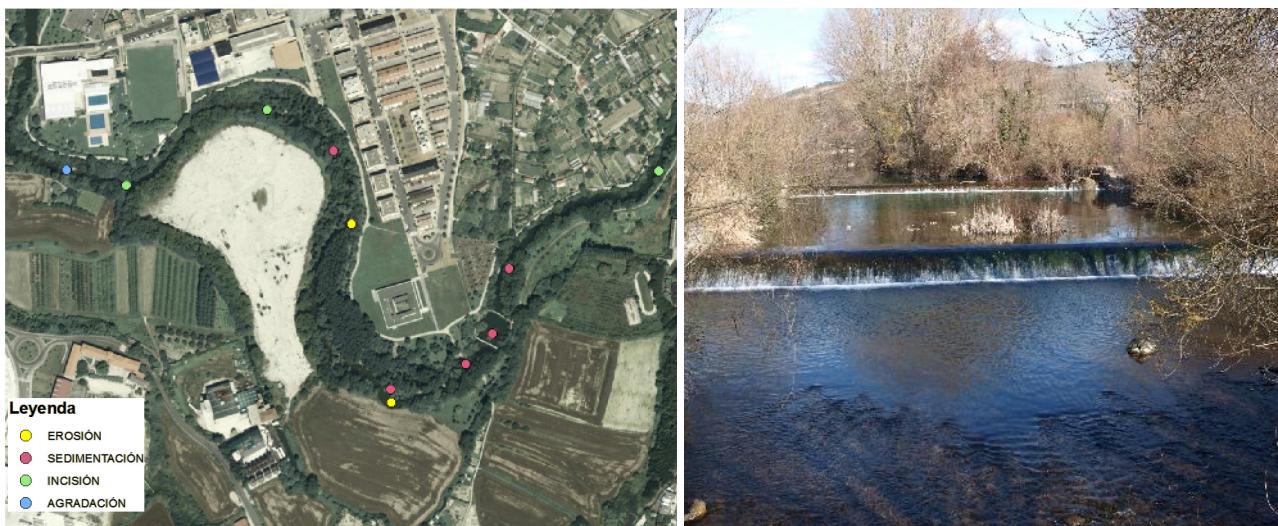


**Figura 4 |** Actuación 2. Retirada parcial del relleno.

En el perímetro del relleno remanente resultado de la retirada parcial propuesta por cada una de las dos actuaciones se ha considerado un talud de pendiente aproximada 1:2. No obstante lo anterior, en el desarrollo de esta solución debe de cuidarse la erosionabilidad del relleno, especialmente en la zona donde se produce el desbordamiento y la corta del meandro, pudiendo producirse que la actuación lleve a una aceleración del proceso de corta del meandro a medio plazo, provocado por la erosión y consiguiente incisión en el terreno.

## Geomorfología fluvial

El citado estudio geomorfológico describe como 1 aumento de obras defensivas en las márgenes del río evitan la movilidad del cauce principal y frenan el aporte de sedimentos, la construcción de infraestructuras, aumentan su estancamiento en movilidad lateral, provocando un aumento de los procesos verticales de incisión lineal y agradación (formación de islas) conduciendo a una desconexión del cauce con el corredor ribereño. El río, de todas maneras, intenta seguir sus procesos naturales y en aquellos casos en los que no se encuentra intervenido erosionará la parte cóncava del meandro y sedimentará en su parte convexa. En el caso de que no pueda hacerlo, porque encuentra una defensa longitudinal, erosionará cuando acabe la defensa longitudinal. En dicho estudio se han analizado los procesos de Erosión (expansión lateral), Sedimentación (contracción lateral), Incisión (erosión lecho del río) y Agradación (sedimentación de barras de gravas en el centro del cauce). La identificación de procesos geomorfológicos en el cauce en el entorno del meandro de Aracea, objeto de este estudio de detalle se puede ver en la Figura 5 (izda.). Los azudes son barreras claras para la corriente, donde el agua se queda estancada en su parte superior y al pie del azud, por el propio cambio de gradiente hidráulico, se generan procesos de incisión, y por otra parte, también aguas abajo, y debido al bajo caudal y poca velocidad del agua, por lo general se generan zonas de sedimentación y agradación.



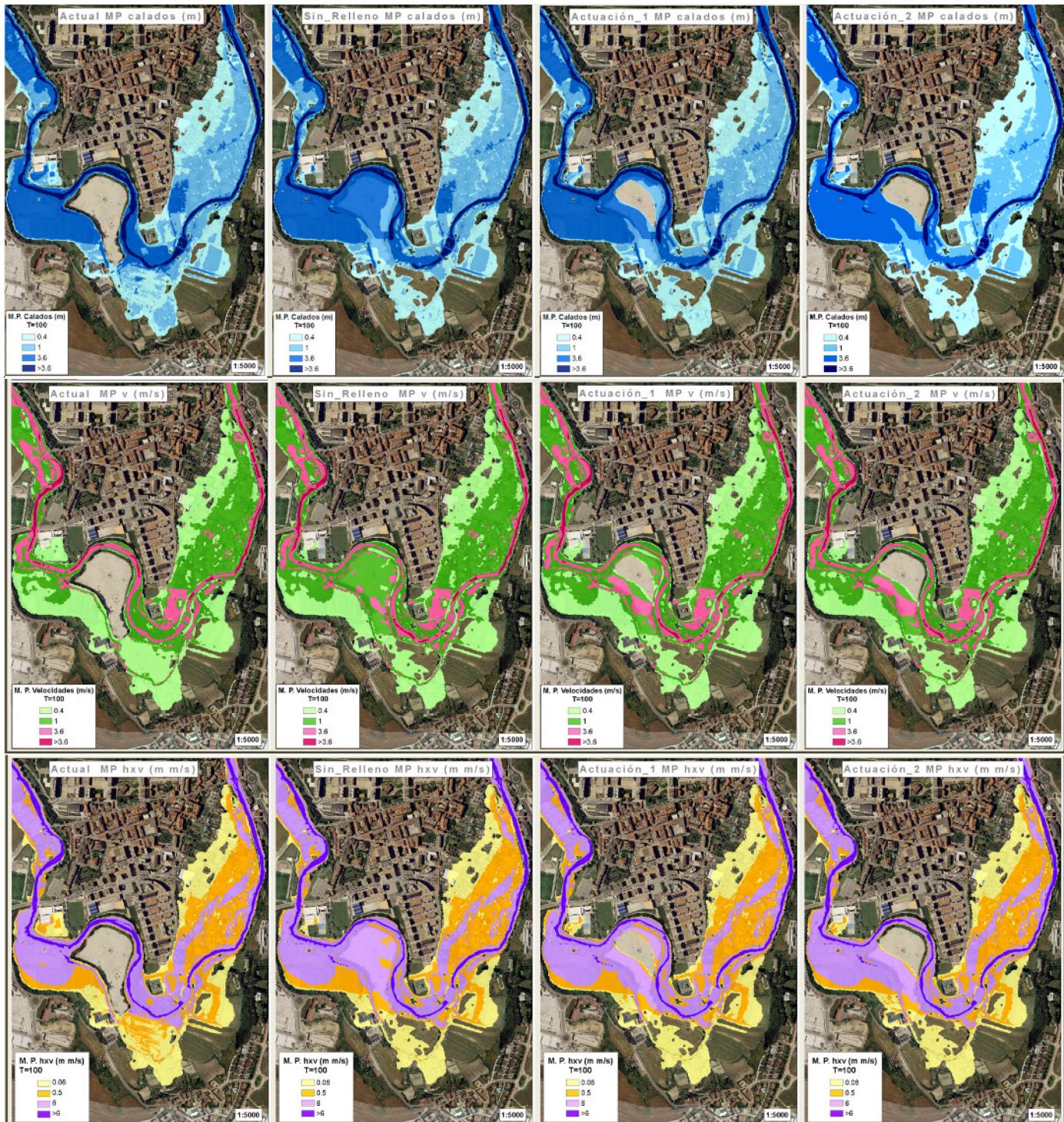
**Figura 5 |** Procesos geomorfológicos en el cauce en presencia del relleno antrópico (izquierda) y fotografía de los dos azudes que controlan gran parte de la inundación en la zona (derecha).

El relleno produce una retención aguas arriba, impidiendo el desbordamiento sobre el meandro que tenía lugar previo a la existencia del relleno para períodos de retorno de 5 años y superiores. Ello obliga al incremento de velocidad en el cauce y su correspondiente pendiente hidráulica, lo que puede producir desde el punto de vista geomorfológico la intensificación de los procesos de erosión y sedimentación en la zona durante los episodios de avenida, pudiendo acelerarse la erosión en el cauce, y especialmente en la margen derecha exterior el meandro, si los materiales del cauce lo permiten. Disminuye las velocidades que se producen aguas arriba, concentrando el flujo sobre el cauce del río, y provocando un incremento de las velocidades en el río que se producen en todo el trazado del meandro.

Debe notarse que la posible evolución morfológica del cauce no está recogida en los escenarios simulados, con y sin relleno, ni en ninguna de las dos alternativas propuestas sino sólo el cambio de comportamiento con la morfología actual. Aguas arriba del relleno se incrementará la sedimentación en el cauce, circulando progresivamente a menor velocidad y facilitando el desbordamiento. Los resultados obtenidos pueden cambiar al producirse los cambios morfológicos en el cauce ocasionados por la presencia del relleno y el cambio en la dinámica de los sedimentos.

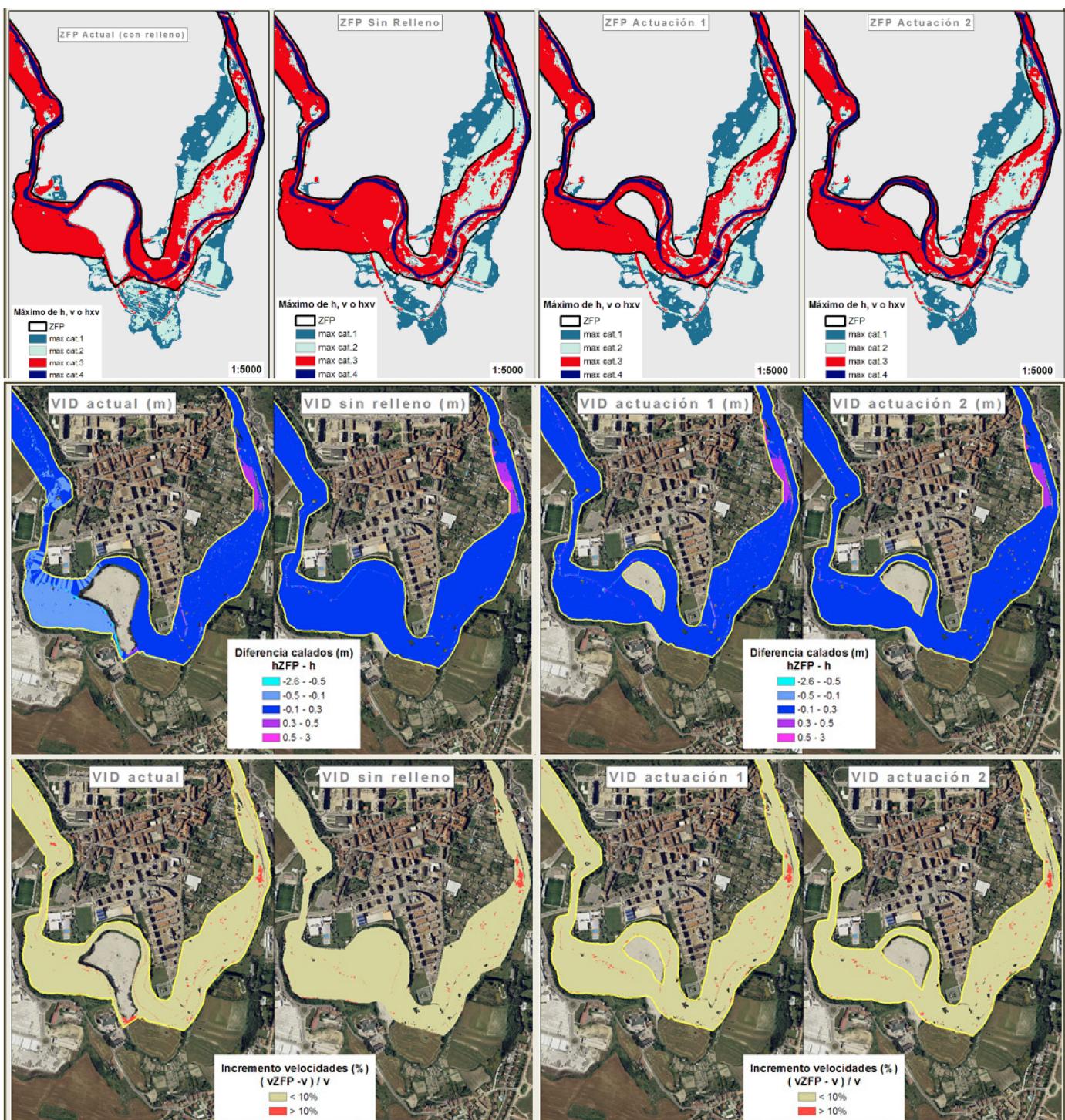
## RESULTADOS

Para la evaluación de estas dos soluciones se ha modelado nuevamente el comportamiento del río en la zona, modificando el modelo del terreno, y realizando la simulación para la avenida de periodo de retorno 100. La simulación permite el análisis de las variables de niveles y velocidades (Figura 6) con el fin de delimitar la ZFP (Figura 7).



**Figura 6 |** Datos de calados, velocidades y el producto de ambos empleados para trazar la zona de graves daños en distintos casos, siendo de izquierda a derecha los siguientes: con relleno, sin relleno (situación original), con la Actuación 1 y con la Actuación 2. Los azules más oscuros en los mapas de calados, los rosas en los de velocidades y los morados en los de h xv, conjuntamente, constituyen la zona de graves daños.

Se considera que tanto la situación sin relleno como las dos alternativas propuestas (Actuación 1 y Actuación 2) cumplen con la definición de Zona de Flujo Preferente Los resultados se muestran a continuación, indicándose las diferencias entre la situación primitiva y la que se produce con el relleno tras estas medidas correctoras.

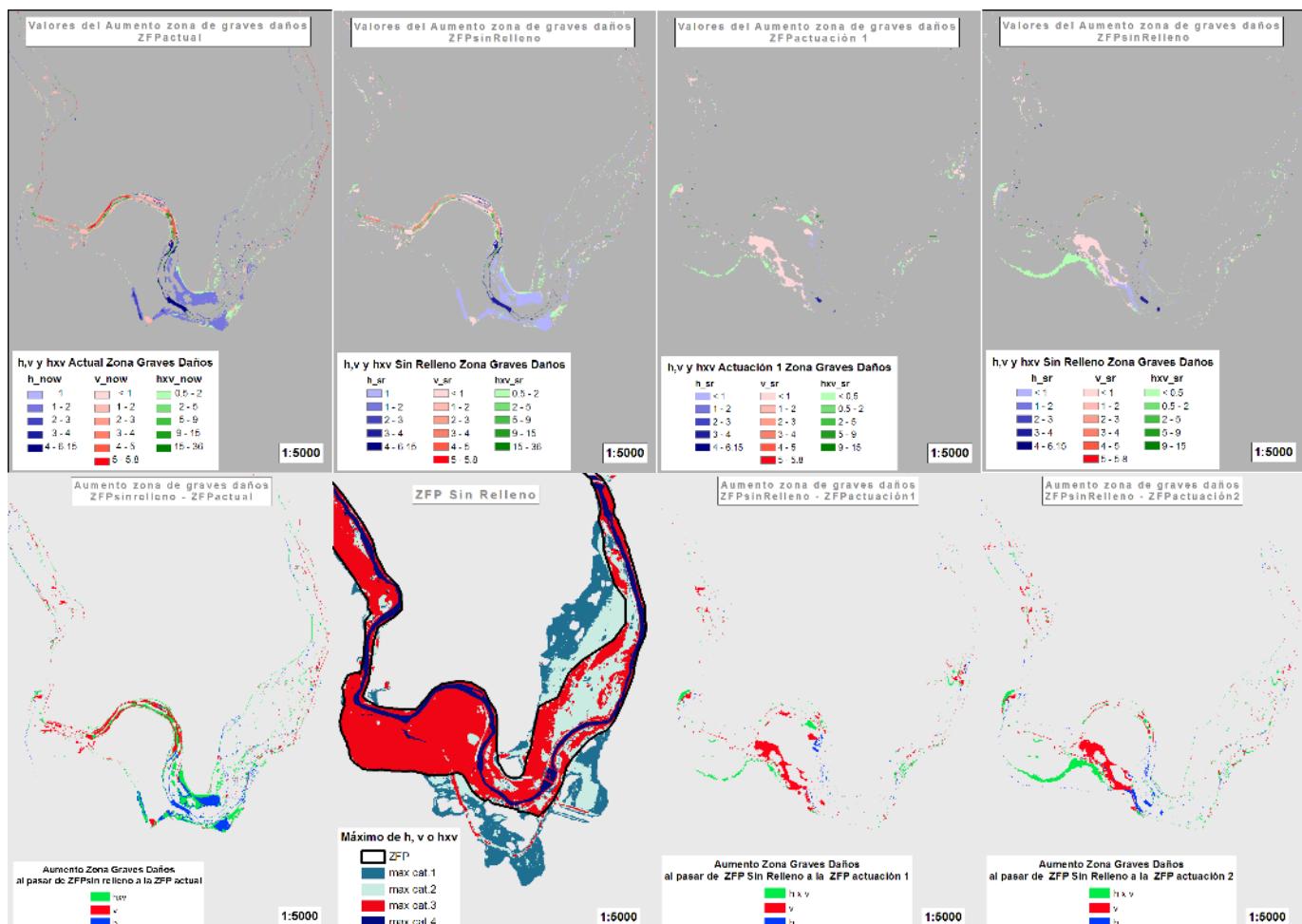


**Figura 7 |** A partir de los datos de  $h$ ,  $v$  y  $h'xv$ , se traza la ZFP y se comprueban calados y velocidades de la VID en distintos casos, siendo de izquierda a derecha los siguientes: con relleno, sin relleno (situación original), con la Actuación 1 y con la Actuación 2. Los rojos en los mapas de ZFP indican la zona de graves daños, los rosas en los calados de VID y los rojos en las velocidades de VID, indican zonas que no cumplen con la definición de VID.

La Figura 7 muestra como la sobreelevación resultante de encajar el flujo en la ZFP no supera los 0.3 m en toda la zona, a excepción de una zona colindante con la zona de huertas (zona morada y rosa en plano de diferencia de calados), unos 350 m aguas abajo del puente histórico de Huarte, cumpliendo así con la definición de VID. Es en ese mismo punto, muy localizado en el espacio, es en donde se supera también el criterio de incremento de velocidades respecto a cada situación analizada sin ZFP en más de un 10% (zona roja en el plano de diferencia de velocidades). No se considera que esta zona sea relevante al tratarse de una zona muy concreta y no estar controlada por el relleno sino por los dos azudes aguas abajo de la misma, por lo que se considera que tanto la situación sin relleno como las dos alternativas propuestas (Actuación 1 y Actuación 2) cumplen con la definición de Zona de Flujo Preferente.

## Aumento de la Zona de Graves Daños

Análogamente, se cuantifica el incremento de la zona de graves daños sobre las personas y bienes resultante de adoptar cada una de las alternativas propuestas (Figura 8). A partir de los rasters de calados (h), velocidades (v) y de su producto (hxv) para la Zona de Flujo Preferente de la situación con relleno, inicial sin relleno y de cada una de las dos actuaciones propuestas, se procede a clasificarlo como un mapa de peligrosidad de cada parámetro y se seleccionan los valores que pertenecen a la zona de graves daños para T=100.



**Figura 8 |** Cuantificación del aumento de la zona de graves daños para h, v y hxv, para los distintos casos, siendo de izquierda a derecha los siguientes: con relleno, sin relleno (situación original), con la Actuación 1 y con la Actuación 2. Los azules más oscuros en los mapas indican mayores calados, los rojos más oscuros mayores velocidades y los verdes más oscuros mayores productos hxv (arriba). Aumento de la zona de graves daños, restando las magnitudes para h, v y hxv, para la situación sin relleno de los distintos casos, siendo de izquierda a derecha los siguientes: con relleno, con la Actuación 1 y con la Actuación 2. Los azules indican calados, los rojos velocidades y los verdes productos hxv. En el lugar de la casuística sin relleno, se muestra la zona de graves daños en rojo y azul oscuro (abajo).

La Tabla 1 muestra la magnitud promedio de los datos que pertenecen a la zona de graves daños calados ( $h>1$ ); velocidades ( $v>1$ ) y producto de ambos ( $h \times v > 0,5$ ) que se visualizan en la Figura 6, los distintos casos: con relleno (CR), Actuación 1 (A1) y Actuación 2 (A2), comparándolo con las magnitudes situadas espacialmente en el mismo lugar para la situación original sin relleno (SR). Se observa como las diferencias más notables y los valores mayores de calados, velocidades y producto de ambos promedio se dan para la situación con relleno y como tanto la Actuación 1 como la Actuación 2 ofrecen magnitudes más parecidas a la situación original sin relleno en cada caso y bastante parecidas entre sí, A1 vs. A2.

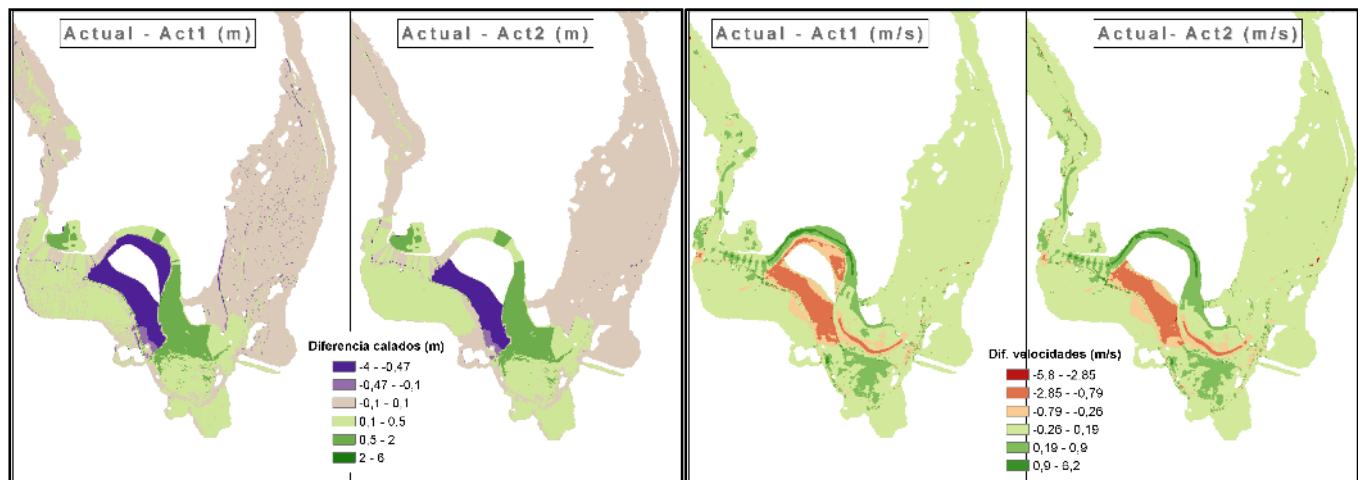
**Tabla 1** | Comparativa de la magnitud promedio, (calados ( $h$ ); velocidades ( $v$ ) y producto de ambos ( $h \times v$ )), de las zonas de graves daños de la situación original sin relleno (SR) respecto a los distintos casos: con relleno (CR), Actuación 1 (A1) y Actuación 2 (A2).

	Con Relleno (CR)		Actuación 1 (A1)		Actuación 2 (A2)	
	CR	SR	A1	SR	A2	SR
Calado, $h$ (m)	1.81	0.68	1.53	1.43	1.47	1.31
Velocidad, $v$ (m/s)	1.9	0.91	1.19	0.95	1.29	0.96
Calado x Velocidad, $h \times v$ (m <sup>2</sup> /s)	2.36	0.84	1.17	0.92	1.11	0.81

## Diferencias de los datos totales

En la parte izquierda de la Figura 9, en tonos verdes se distinguen las zonas para las que los calados con la situación actual (con relleno) son mayores que en el caso de efectuarse una de las dos actuaciones de retirada parcial propuestas. El verde intermedio indica la zona desde la entrada del meandro hasta la primera curva del meandro, en frente del edificio de foro europeo, que resultaría más aliviada (disminuiría su calado) con la retirada parcial. La Figura 7 también tiene otro mensaje, las diferencias de calados son muy parecidas independientemente de la actuación elegida, se consigue una disminución de calados muy parecida adoptando la Actuación 1 o la Actuación 2.

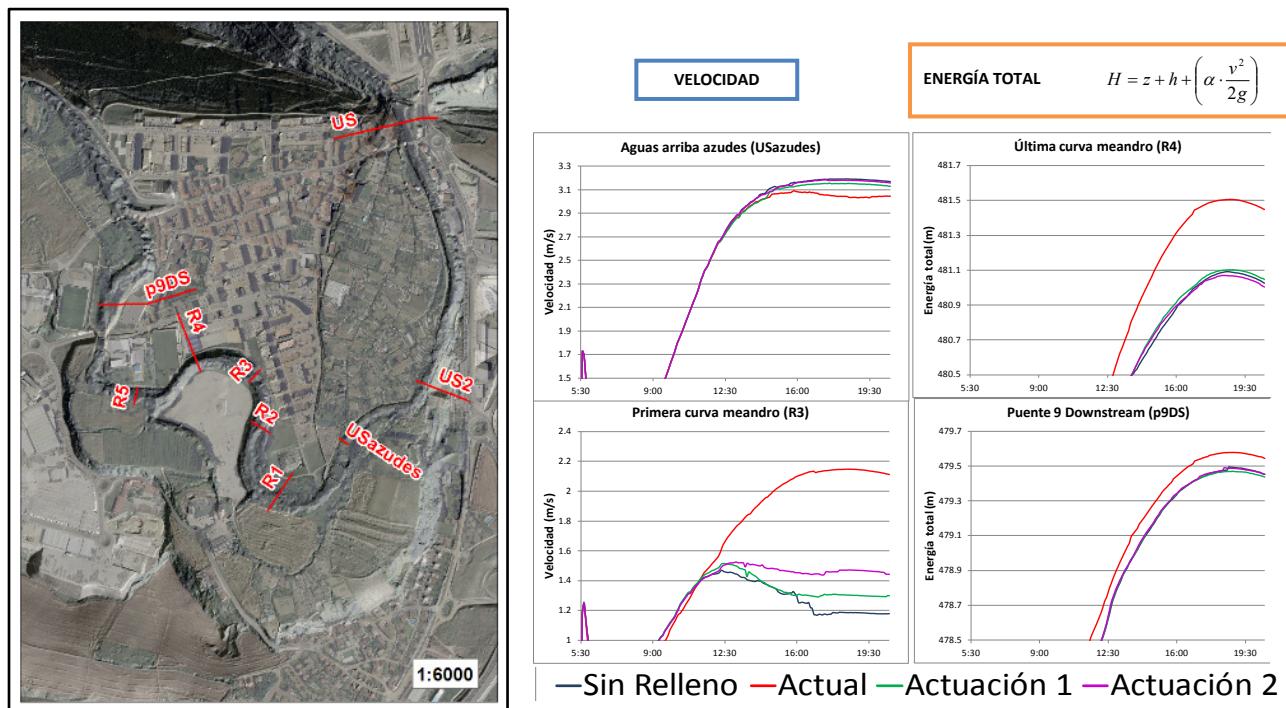
En la parte derecha de la Figura 9 los tonos verdes más oscuros indican la zona, en el meandro, para la que las velocidades en la situación actual (con relleno) son superiores a las calculadas para las dos actuaciones propuestas. La comparación de las velocidades de ambas actuaciones muestra como sus diferencias son mínimas.



**Figura 9** | Diferencia de calados para  $T=100$  años, de la situación con relleno (CR) menos cada una de las dos actuaciones propuestas (A1 y A2) (izda.). Diferencia de velocidades para  $T=100$  años, de la situación con relleno menos cada una de las dos actuaciones propuestas (dcha.).

## Valores en secciones de control en el caudal pico

Se seleccionan una serie de secciones control en la zona de estudio (Figura 10) y se observa tanto gráfica como numéricamente, seleccionando el valor máximo de cada variable analizada en la situación actual (con relleno) y el valor para las situaciones sin relleno, con la actuación 1 y con la actuación 2 para ese mismo instante (Tabla 2), así como la evolución de las distintas variables espacialmente al ir circulando el pico de la avenida de T=100 años desde aguas arriba hacia aguas abajo.



**Figura 10** | Secciones de control en distintas localizaciones de la zona de estudio (izda.). Gráficos que muestran la evolución de la velocidad en dos secciones: USazudes y R3 (centro). Gráficos que muestran la evolución de la energía total en dos secciones: R4 y p9DS (dcha.).

La Figura 10 y la Tabla 2 muestran como en las secciones que están propiamente en el meandro (R2, R3 y R4) se observa como en la situación actual con relleno (línea roja) las velocidades y también la energía total (aunque de una manera menos marcada) son considerablemente mayores que en la situación inicial sin relleno (línea azul).

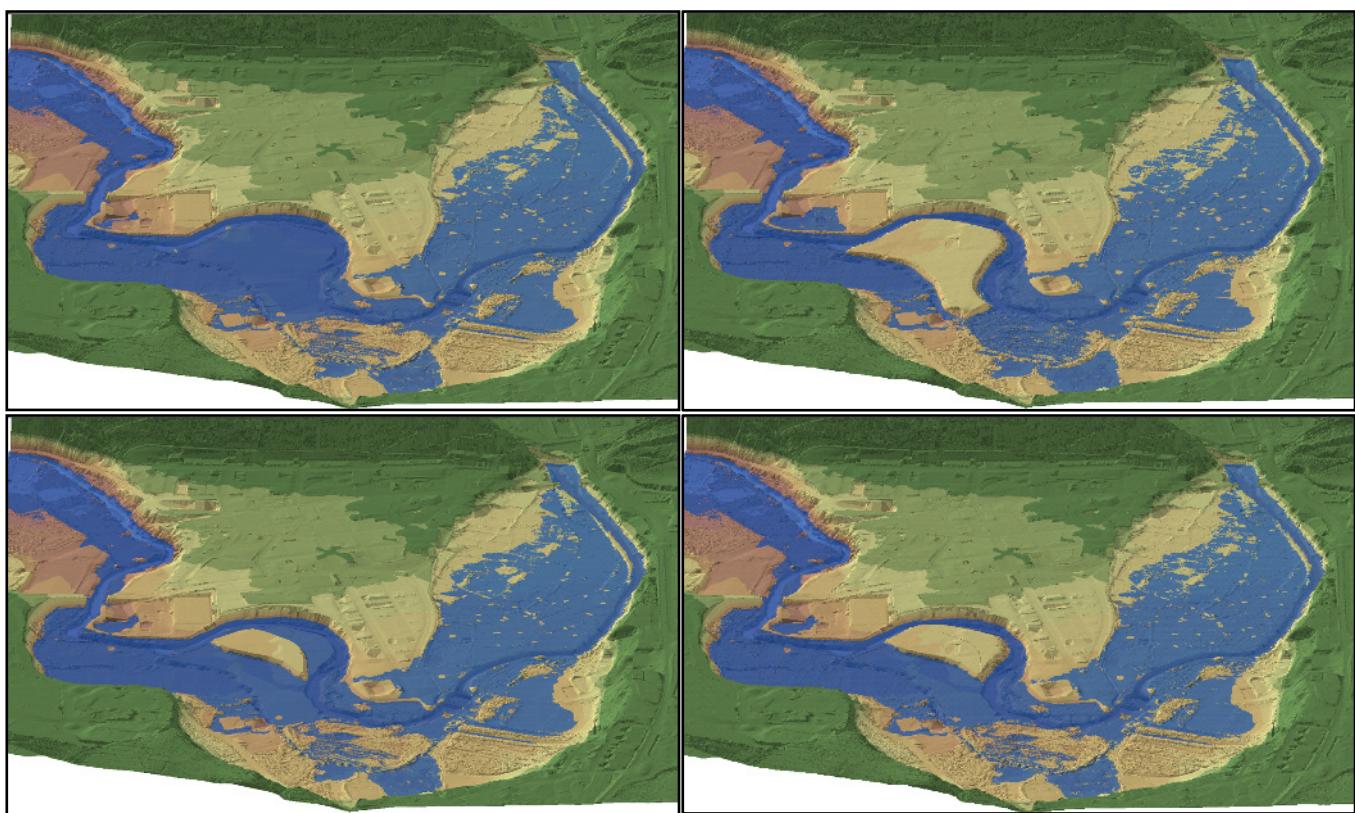
**Tabla 2** | Comparativa del pico de velocidades ( $v$ ) y energía total ( $H$ ), de las distintas secciones cuya localización se indica en la Figura 10 respecto a los distintos casos: con relleno (CR), sin relleno (SR), Actuación 1 (A1) y Actuación 2 (A2).

Secciones	Con Relleno (CR)		Sin Relleno (SR)		Actuación 1 (A1)		Actuación 2 (A2)	
	$v$ (m/s)	$H$ (m)						
<b>US</b>	1.96	487.045	1.936	487.068	1.958	487.045	1.957	487.046
<b>US2</b>	2.774	484.501	2.758	484.504	2.782	484.49	2.779	484.49
<b>USazudes</b>	3.092	483.716	3.191	483.705	3.155	483.71	3.179	483.706
<b>R1</b>	1.944	482.28	2.287	481.693	2.247	481.693	2.218	481.697
<b>R2</b>	2.02	482.077	1.24	481.282	1.195	481.307	1.098	481.373
<b>R3</b>	2.149	481.788	1.187	481.205	1.302	481.208	1.473	481.21
<b>R4</b>	2.544	481.507	1.272	481.091	1.448	481.101	1.676	481.069
<b>R5</b>	1.701	481.004	1.775	480.846	1.676	480.857	1.637	480.846
<b>P9DS</b>	3.236	479.577	3.136	479.492	3.191	479.469	3.13	479.486

También se observa cómo la actuación 1 (línea verde) y actuación 2 (línea rosa) consiguen velocidades y energía total cercanas a la situación sin relleno (línea azul), por lo que reproducen la dinámica del río de manera satisfactoria.

## DISCUSIÓN

Para analizar el efecto del relleno, se ha analizado el comportamiento hidráulico de la zona en la situación actual, con relleno, y en la situación primitiva, sin relleno, modificando el modelo del terreno y restituyéndolo a la situación previa a la construcción del mismo. Los resultados se muestran de modo distribuido sobre todo el entorno del río Arga en esa zona, analizando el efecto del relleno sobre las siguientes variables características del comportamiento hidráulico: calado (h), velocidad (v), el producto de ambos (hvx) y la energía total (H), tanto como información de mapa de cada variable por la zona, como gráficos de dichas variables en distintas secciones control, perfil longitudinal, etc...



**Figura 11** | Vista 3D de calados para T=100 años, de los distintos escenarios situación primitiva sin relleno (SR), situación con relleno (CR) y de las dos actuaciones propuestas (A1 y A2).

A la vista de los resultados se identifican los siguientes efectos:

En primer lugar, la zona del Foro Europeo Escuela de Negocios de Navarra (inicio del relleno en la margen derecha) se muestra insensible a la existencia del relleno y toda la llanura aguas arriba de esta edificación. Esto es debido a que la inundación en esta zona se produce por el desbordamiento del río aguas arriba del conjunto de dos azudes que se encuentran en el río, aguas arriba del relleno. El comportamiento del desbordamiento y ocupación de la llanura de inundación está controlado principalmente por estos azudes, aguas arriba de los cuales se produce el desbordamiento de parte del caudal, que posteriormente aguas abajo se vuelve a incorporar al cauce, aguas arriba del relleno, en la margen derecha, y ya aguas abajo del relleno, en el caso de la margen izquierda, debido al canal de riego situado en esta margen que dirige y devuelve las aguas al río aguas abajo del relleno.

La existencia del relleno a efectos de los calados producidos ocasiona el incremento de calados aguas arriba del mismo, debido a que el relleno impide el desbordamiento que antes se producía en esa zona. La zona donde se produce este incremento de calado se encuentra en el entorno del río y tiene lugar aguas arriba del mismo hasta aproximadamente la mitad del meandro en donde se sitúa el relleno, afectando a ambas márgenes. Su efecto desaparece aguas arriba de los azudes. Sobre la margen izquierda, el relleno produce el incremento de los caudales que desbordan por esta margen y cortan el meandro, lo que ocasiona también que aguas abajo del relleno, en la margen izquierda, se mantengan calados ligeramente mayores (en el entorno de los 10 a 30 cm, según el periodo de retorno). En la segunda mitad del meandro los calados disminuyen hasta un máximo de 50 cm (según el periodo de retorno), debido al incremento de velocidad que a continuación se explica.

El relleno ocasiona con ello un efecto de retención que disminuye las velocidades que se producen aguas arriba, concentrando el flujo sobre el cauce del río, y provocando un incremento de las velocidades que en el río se producen en todo el trazado del meandro (incremento de hasta 1 m/s, según el periodo de retorno). Aguas arriba del mismo, la velocidad disminuye al aumentar el calado, pero aumenta a lo largo del meandro debido a la mayor pendiente hidráulica que se produce por la retención. En la margen izquierda, acorando el meandro, el incremento de velocidad provocado por la existencia del relleno es pequeño, excepto en la zona más estrecha, aguas arriba del relleno. Nuevamente, el efecto sobre las velocidades desaparece justo aguas arriba de los azudes.

---

## CONCLUSIONES

Las dos medidas correctoras de retirada parcial del relleno (actuación 1 y 2) muestran un comportamiento similar entre si y parecido al que existía en la situación primitiva en ausencia del relleno antrópico. A pesar de ser satisfactorias las dos soluciones se eligió la Actuación 1 para facultar una mejor restauración paisajística del meandro y a su vez supone un movimiento de tierras menor, que la retirada total del relleno.

En la primavera de 2017 el Ayuntamiento de Huarte iniciará las obras de evacuación y reperfilado de tierras de acuerdo al proyecto realizado. Una vez concluidos los movimientos de tierras se ejecutará la restauración fluvial proyectada y se incorporará este espacio en el Parque Fluvial de la Comarca de Pamplona.

---

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Excmo. Ayuntamiento de Huarte así como a la Excma. Mancomunidad de la Comarca de Pamplona la confianza depositada en la realización de este estudio de detalle. Asimismo, es de recibo agradecer al Excmo. Gobierno de Navarra, a su sección de Servicio del Agua al ser los propietarios del Estudio Hidráulico de la Comarca de Pamplona sobre el que se fundamenta el presente estudio de detalle.