



# **EBRO RESILIENCE**

Estudio de detalle **Tramo 10**

Ebro en **Utebo**

**Monzalbarba**

**Alfocea**

**y Zaragoza**

1. INTRODUCCIÓN .....	3
2. ANTECEDENTES Y PROBLEMÁTICAS DETECTADAS.....	4
3. ANÁLISIS DE LAS POSIBLES CAUSAS .....	8
3.1.    Evolución histórica .....	8
3.2.    Modelo digital del terreno (MDT).....	11
3.3.    Modelo hidráulico .....	14
4. OBJETIVOS DEL ESTUDIO .....	15
5. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS .....	16
5.1.    Alternativas en el Soto de la Almozara.....	18
5.2.    Alternativas en el entorno de Utebo, Monzalbarba y Alfocea .....	19
5.3.    Descripción de la alternativa propuesta .....	20
6. CONCLUSIÓN.....	24
7. ¿Y AHORA QUÉ? .....	24

## 1. INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la Estrategia Ebro Resilience, se están estudiando un total de 260 kilómetros de longitud del río Ebro, divididos en 18 tramos. El tramo 10 comprende el curso del río Ebro a su paso por el término municipal de Utebo y el entorno de las poblaciones de Monzalbarba y Alfocea hasta la ciudad de Zaragoza (figura 1). El estudio se centra, principalmente, en la propuesta de soluciones para la reducción del riesgo de inundación de las zonas urbanas de Utebo, Alfocea, Monzalbarba y Zaragoza, así como de las edificaciones aisladas existentes en la llanura de inundación.

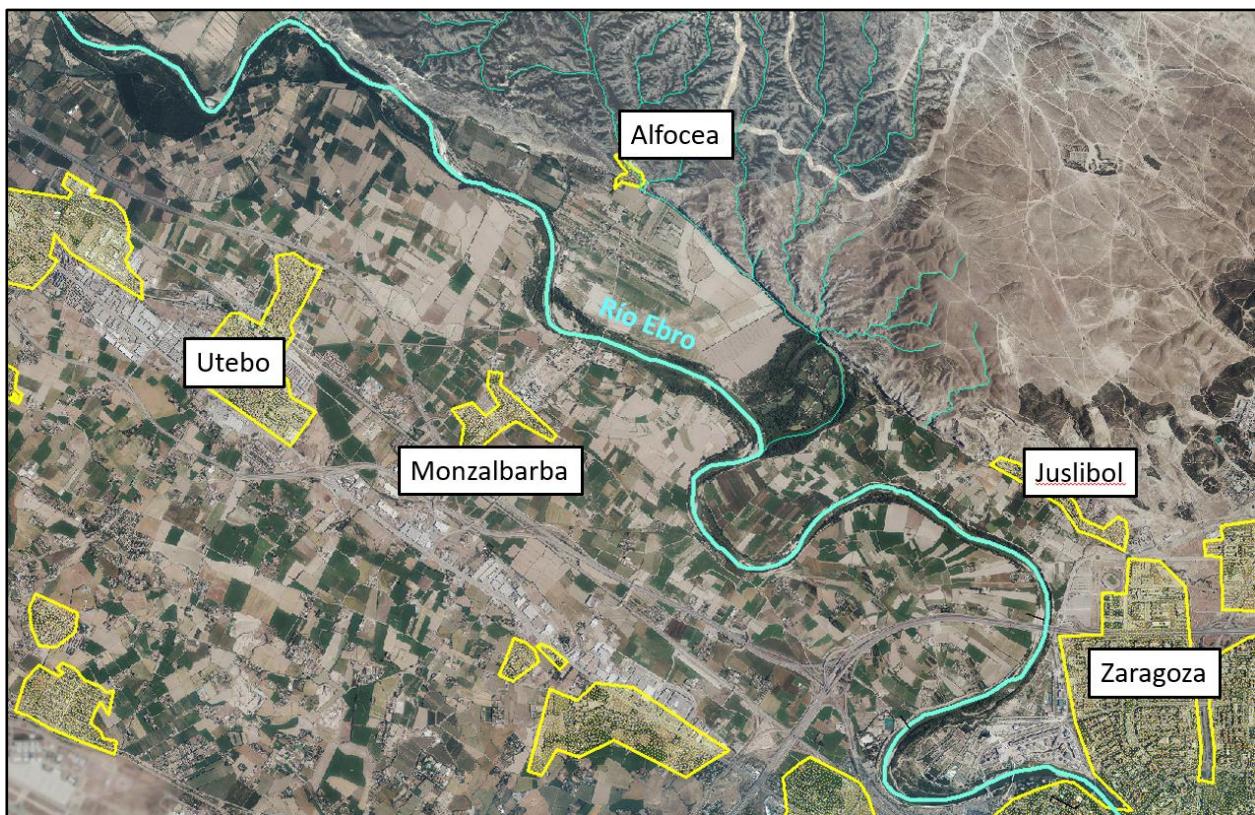


Figura 1. Tramo de estudio sobre fotografía aérea del PNOA 2018 (elaboración propia).

## 2. ANTECEDENTES Y PROBLEMÁTICAS DETECTADAS

El tramo de estudio presenta un río Ebro con una fértil y amplia llanura aluvial en la margen derecha y con un escarpe yesífero ejerciendo de elemento limitante al movimiento en la margen izquierda. En este tramo, el río tiene tendencia a divagar hacia el norte, encajándose contra el mencionado escarpe, dejando en su margen derecha una sucesión de terrazas escalonadas creadas por los continuos cambios de trazado del río, donde deposita sus fértils sedimentos.

A partir de la segunda mitad del siglo XX, comienzan a ejecutarse obras de defensa para proteger los campos de cultivo de las inundaciones. Por un lado, se construyen diques longitudinales<sup>1</sup> con el objeto de limitar la inundación de la mayor parte de la huerta, pero también surgen una serie de caminos elevados que tienen la finalidad de reducir las erosiones en campos de cultivo ubicados en el espacio que queda entre los diques longitudinales. Este conjunto de infraestructuras solo protegen estos terrenos frente a avenidas pequeñas y, además, producen un aumento artificial de la altura de las aguas en circulación por el río, al haber estrechado considerablemente la sección de desagüe del cauce. Asimismo, estos diques están conformados por tierras y no resisten el desbordamiento por coronación (figura 2), en el momento en el que desbordan suelen colapsar y se producen inundaciones repentinas y grandes erosiones en los terrenos del trasdós.



Figura 2. Inicio del desbordamiento de un dique y comienzo de la erosión en su trasdós (CHE).

<sup>1</sup> Estructura con forma trapezoidal, conformada por tierras y construida en la ribera de un río de forma paralela a la dirección de la corriente. Su objetivo es contener la crecida de las aguas del río, evitando la inundación de los terrenos ubicados en su trasdós.

A partir de la construcción de estas obras de defensa, realizadas durante las décadas de 1960 a 1990 (principalmente diques de defensa longitudinales, espigones<sup>2</sup> y refuerzos de ambos elementos con escolleras<sup>3</sup>), se aprecia una mayor ocupación de las tierras situadas en ambas riberas del río, fijando y estabilizando sus orillas y evitando el desplazamiento del cauce hacia las nuevas fincas de cultivo. Del mismo modo, se observa la construcción de edificaciones en zonas inundables, algunas especialmente vulnerables.

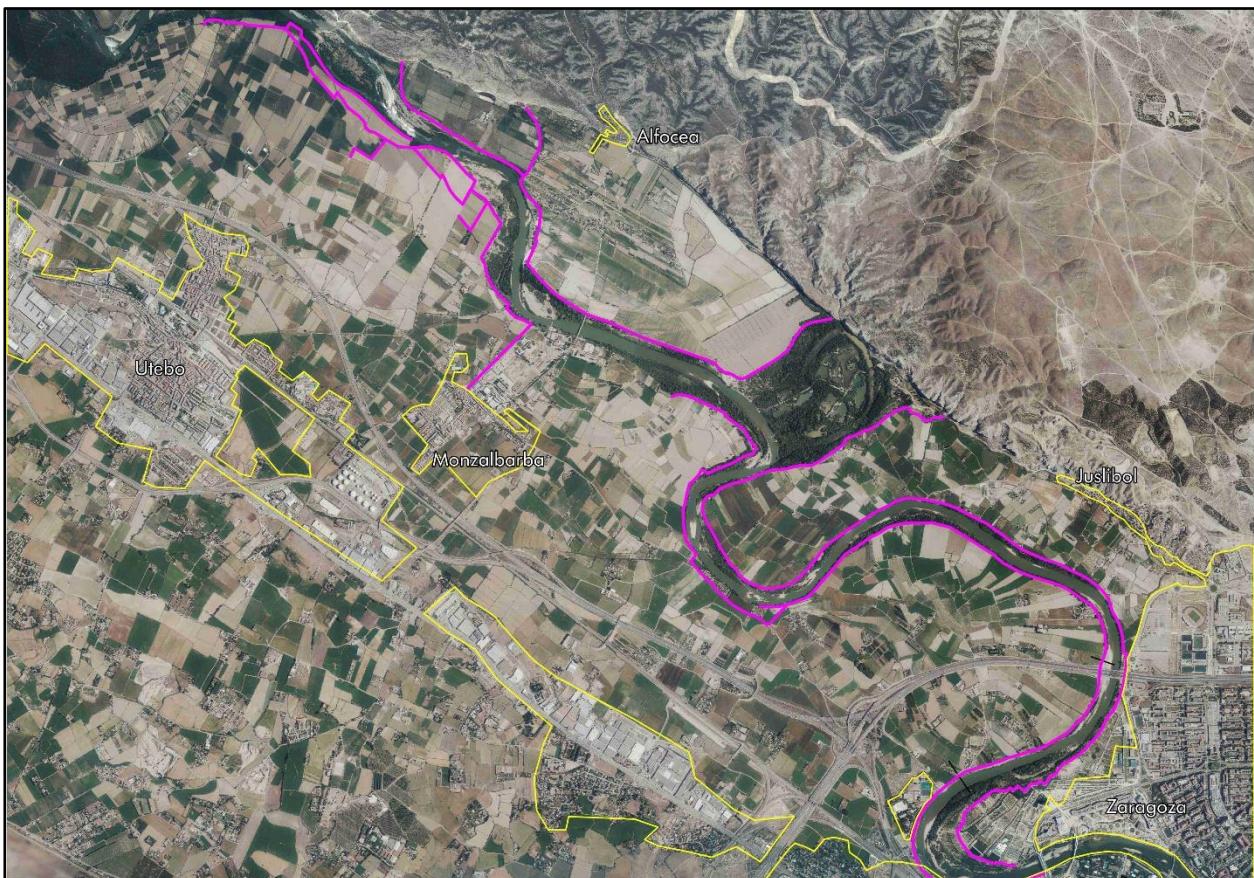


Figura 3. En color magenta, diques de defensa longitudinales en el tramo estudiado (Inventario de alteraciones morfológicas - CHE).

Cuando se desbordan los diques longitudinales de defensa (figura 3), conocidos localmente como “motás”, el agua desbordada se extiende por la llanura de inundación (① en figura 4). La actual canalización tiene capacidad para caudales en el entorno de los  $1.800 \text{ m}^3/\text{s}$ , para caudales superiores, los diques son desbordados en todo el tramo (② en figura 4). El desbordamiento habitualmente produce la rotura de los diques, concentrando el flujo en las zonas de rotura e incrementando allí los daños. El agua desbordada llegaría al terraplén de la autovía A-68 y, a

<sup>2</sup> Estructura construida desde la orilla del río hacia su centro, de forma perpendicular a la dirección de la corriente, con el objetivo de reducir la erosión del terreno de la orilla.

<sup>3</sup> Cubrimiento con grandes piedras que se utiliza para proteger estructuras.

través de los pasos inferiores y las obras de cruce de las acequias, a la zona baja del núcleo urbano de Utebo (③ en figura 4). Durante las avenidas, el ayuntamiento recurre a unas compuertas para cerrar estos pasos e impedir la inundación de las zonas habitadas. En la margen derecha, las aguas llegan hasta el cuartel de Pontoneros y las proximidades de la población de Monzalbarba (④ en figura 4).

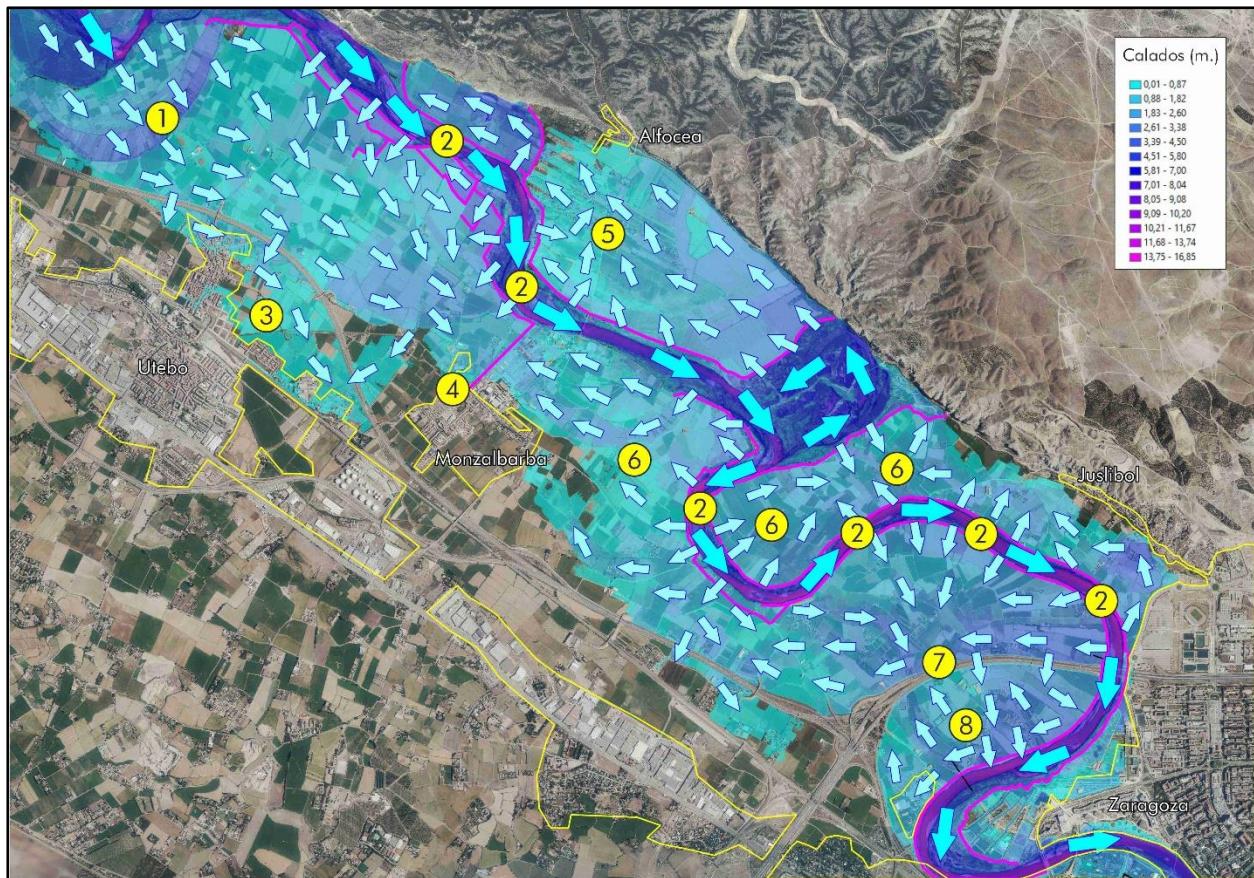


Figura 4. Esquema de inundación para avenidas de 25 años de periodo de retorno (elaboración propia).

El dique que defiende la huerta de Alfocea proyecta el flujo hacia la margen derecha y reduce sensiblemente la capacidad de desagüe de la llanura de inundación. Esto provoca el incremento de la cota de lámina de agua en el río en el tramo situado aguas arriba y el desbordamiento y rotura de la defensa situada en la ribera izquierda. Las aguas desbordadas producen la inundación de edificaciones especialmente vulnerables (⑤ en figura 4).

Las tierras agrícolas del tramo estudiado resultan anegadas (⑥ en figura 4) para caudales superiores a  $1.800 \text{ m}^3/\text{s}$ . Las roturas de las defensas son múltiples tras cada episodio de avenida extraordinaria. Para reducir los daños, deberían plantearse medidas de adaptación similares a las aplicadas en otros tramos del Ebro con problemáticas similares (ver vídeo: Zonas de amortiguación de flujo lateral, <https://www.youtube.com/watch?v=EKWnxjCugj8>).

En el meandro de La Almozara, las aguas desbordadas se acumulan contra el terraplén de la autovía A-2, cruzándolo a través de sus pasos (7 en figura 4). Al otro lado de la autovía, el dique impide el retorno de las aguas al cauce y las aguas se acumulan contra esta estructura, llegando a desbordar desde el dique hacia el cauce, al tener una cota más elevada el agua acumulada que la circula por el cauce (8 en figura 4).

### 3. ANÁLISIS DE LAS POSIBLES CAUSAS

Una vez expuestas las afecciones detectadas, es necesario estudiar las posibles causas de estas problemáticas, de manera que la propuesta de intervención que derive de este **estudio se centre en actuar sobre las causas** y no sobre sus consecuencias.

Para la elaboración del estudio se han realizado una serie de trabajos técnicos con las últimas tecnologías disponibles que han permitido evaluar la situación actual del tramo respecto a los objetivos planteados. Una vez evaluada la situación actual, se han estudiado distintas alternativas de actuación, de forma individual y combinada, seleccionando aquellas que han producido los efectos deseados y descartando las menos favorables o contraproducentes.

#### 3.1. Evolución histórica

En la fotografía aérea de 1927 (figura 5) se aprecia un río Ebro con amplias barras de grava, fruto de una activa dinámica fluvial que impide el desarrollo de grandes bosques de ribera. En las terrazas ubicadas en la margen izquierda, de difícil acceso, sólo se cultivan los terrenos ubicados a mayor cota. Las zonas más próximas al río no pueden ser cultivadas debido al efecto de la corriente incluso durante las avenidas más pequeñas y frecuentes o por el elevado nivel freático.



Figura 5. Fotografía aérea de la zona de estudio en el año 1927 (CHE).

Esta situación permanece casi invariable a mediados del siglo XX, salvo por algunos tímidos intentos de poner en cultivo la mejana del Tambor, en Sobradiel. Esto se debe a que el río todavía conserva una cierta dinámica y se sigue desplazando lateralmente, modificando sus meandros en el proceso.

A partir de la segunda mitad del siglo XX, la construcción de los diques de defensa se traduce en una mayor ocupación de la llanura aluvial por campos de cultivo y, en las últimas décadas, por edificaciones e infraestructuras de transporte.



Figura 6. Fotografía aérea (PNOA 2018) de la zona de estudio en la actualidad. En trazo azul se muestra el cauce en el año 1927.

La canalización del Ebro no fue construida con criterios hidráulicos que tuvieran en cuenta fenómenos como la capacidad de desagüe del río o las inundaciones. El objetivo de su construcción fue obtener la mayor superficie de terreno disponible para el cultivo. La canalización presenta zonas muy estrechas o con diques perpendiculares al flujo principal, combinadas con otras de más anchura. En las zonas estrechas, las aguas se sobreelevan aguas arriba y el río se profundiza en el tramo estrecho. En los tramos anchos, el nivel de las aguas se reduce y también su velocidad de circulación, produciéndose el depósito de los sedimentos excavados en las zonas estrechas.

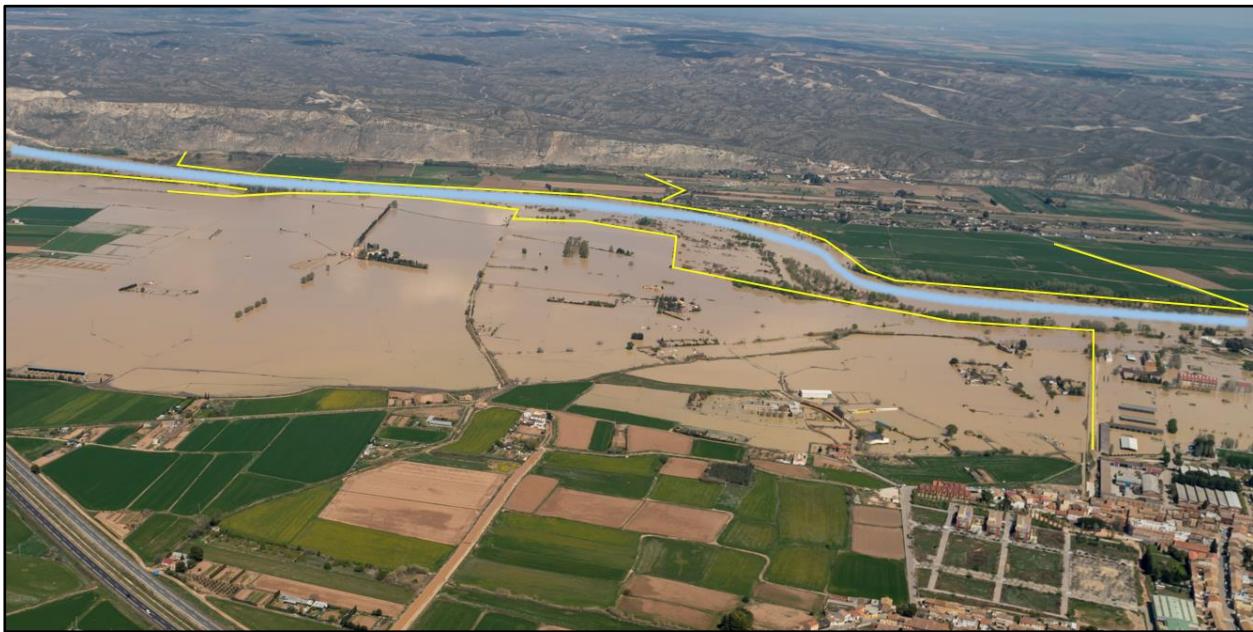


Figura 7. Fotografía de la avenida de 2018. En trazo amarillo las motas y obstáculos existentes (elaboración propia).

### 3.2. Modelo digital del terreno (MDT)

Uno de los trabajos realizados para el estudio es la elaboración de un modelo digital del terreno<sup>4</sup> (denominado MDT) que reproduzca la situación actual. El MDT es una maqueta en formato digital del terreno que se quiere estudiar. Es importante que este MDT reproduzca fielmente los condicionantes del tramo de río en análisis, para ello se han realizado los trabajos enumerados a continuación.

En primer lugar, se reproduce a gran escala el terreno, utilizando topografía LIDAR<sup>5</sup> que consiste en la realización de un escáner del terreno mediante el uso de medios aéreos (normalmente para grandes superficies se utiliza una avioneta, pero es común el uso de drones).

En segundo lugar, se obtiene la topografía de los elementos más importantes para el estudio como son: la coronación de los diques, muros, espigones, puentes, drenajes, etc. Este trabajo ha sido realizado mediante métodos clásicos de topografía, aumentando la precisión de los datos en estos elementos clave (figura 8).

<sup>4</sup> El equivalente a una maqueta del terreno, pero en un entorno digital.

<sup>5</sup> Acrónimo del inglés Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging.

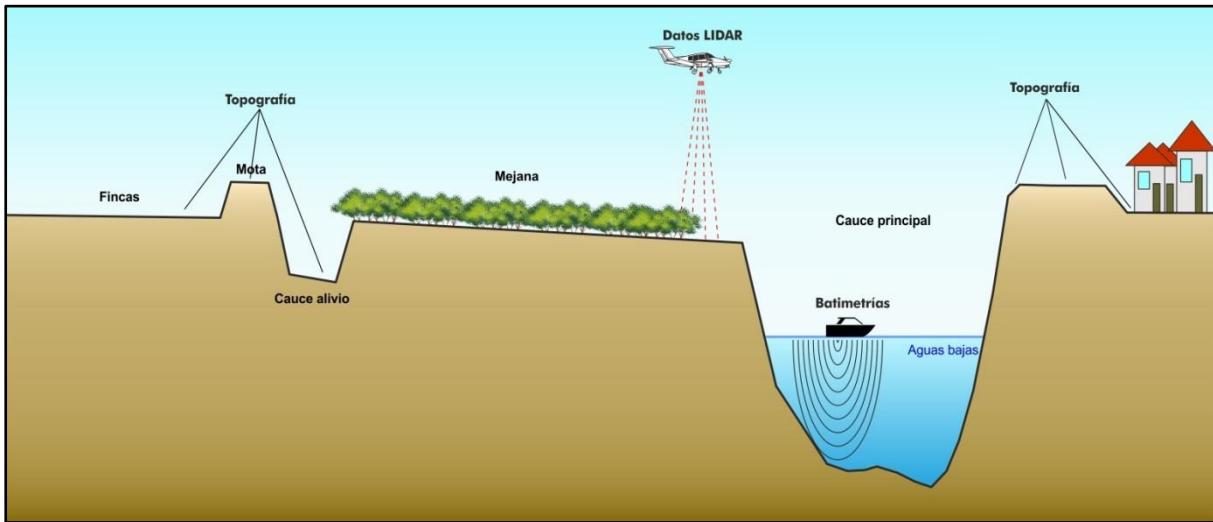


Figura 8. Esquema de la toma de datos realizada (elaboración propia).

Los métodos anteriores tienen el inconveniente de que no son capaces de obtener datos del terreno que se encuentra debajo del agua. Este ha sido el principal inconveniente que se han encontrado estudios de inundación realizados con anterioridad. Actualmente existe tecnología que permite obtener la topografía del lecho del río de manera continua.

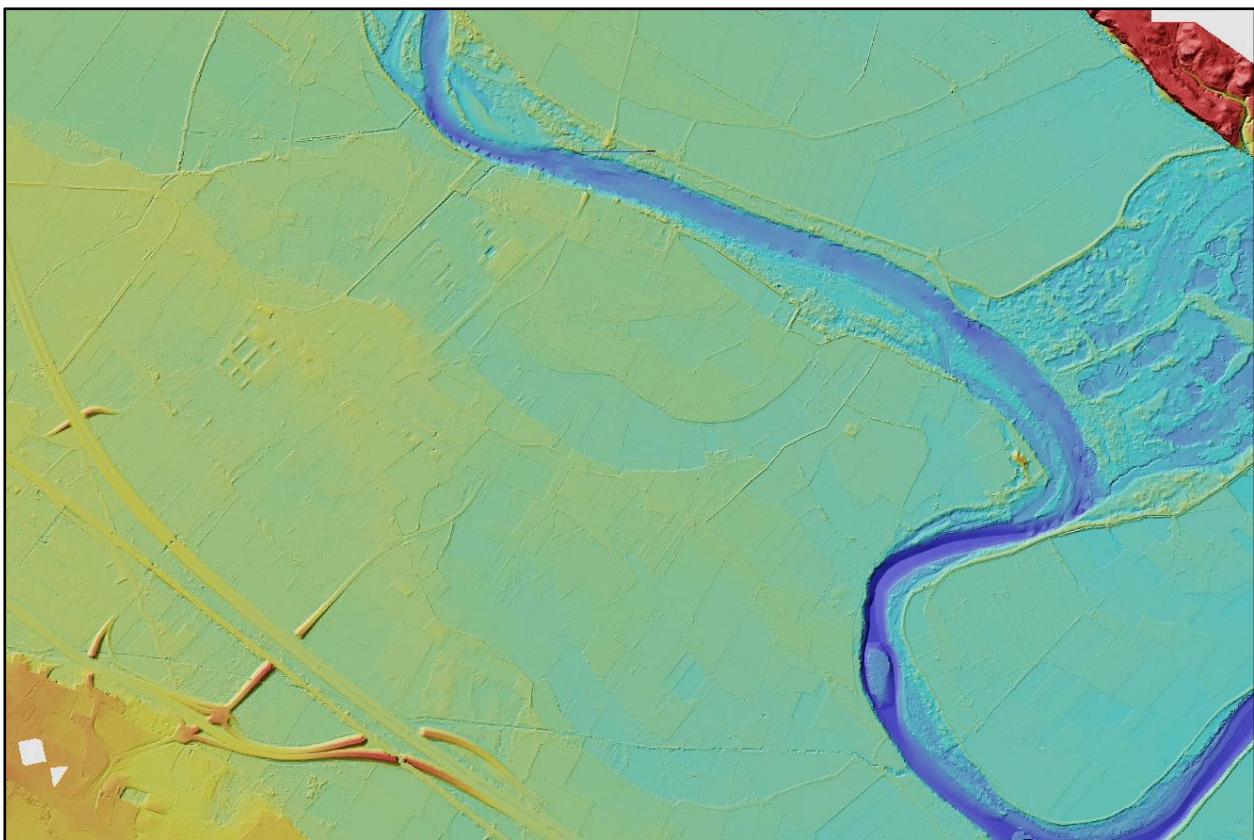


Figura 9. Fragmento del modelo digital del terreno. Colores rojizos y naranjas indican las zonas más elevadas y los tonos amarillo, azul y azul oscuro las zonas más profundas, en ese orden (elaboración propia).

Como novedad para estos estudios realizados en el marco de la Estrategia Ebro Resilience, se han utilizado medios acuáticos dotados de un sonar<sup>6</sup> para la toma de datos batimétricos<sup>7</sup> del lecho del cauce, incorporando estos datos al estudio. Todos los datos obtenidos se combinan para la elaboración del MDT (figura 9).

El análisis del MDT permite confirmar los efectos que las defensas provocan sobre el lecho del río. Se puede apreciar cómo se produce una clara incisión del cauce allí donde este se encuentra con obstáculos transversales o donde se producen estrechamientos (figura 10).

Por otra parte, se puede observar la compartimentación de la llanura aluvial por infraestructuras de transporte y acequias.

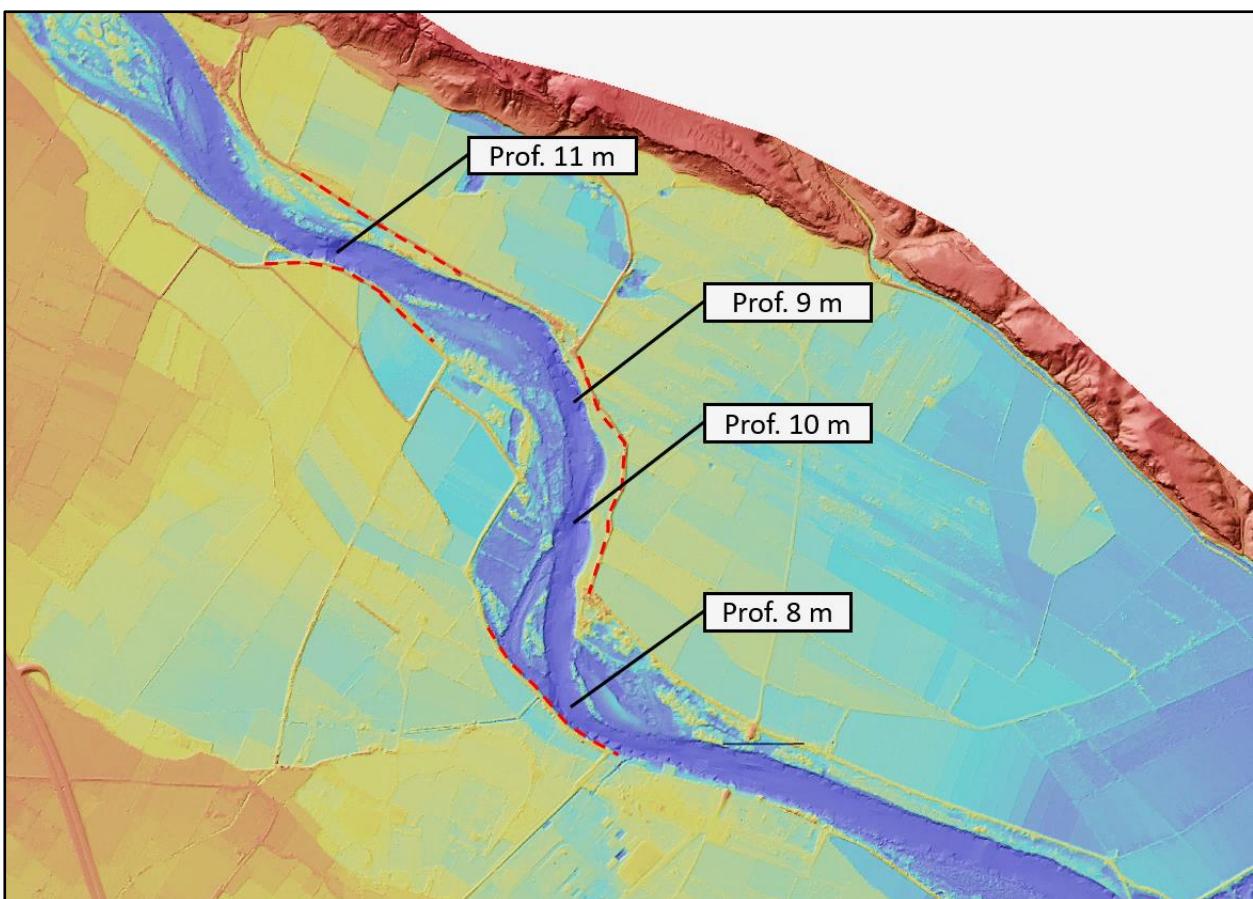


Figura 10. Profundidad del cauce en las zonas estrechas de la canalización (elaboración propia).

<sup>6</sup> Elemento que obtiene la profundidad del fondo del mar o un río mediante la emisión de sonidos y la medición de su reflexión.

<sup>7</sup> Topografía realizada debajo del agua.

### 3.3. Modelo hidráulico

El siguiente paso del estudio es el análisis de los episodios de inundación. Para realizar este trabajo se utilizan modelos hidráulicos, que consisten en una herramienta informática que aplica sobre el MDT un caudal determinado y reproduce los efectos de la inundación.

Estas herramientas informáticas necesitan de un proceso denominado calibración para ajustar los resultados obtenidos a las características del tramo en estudio. En este caso, se han utilizado las fotos aéreas de la avenida de abril de 2018 y de diciembre de 2019, consiguiendo una buena calibración.

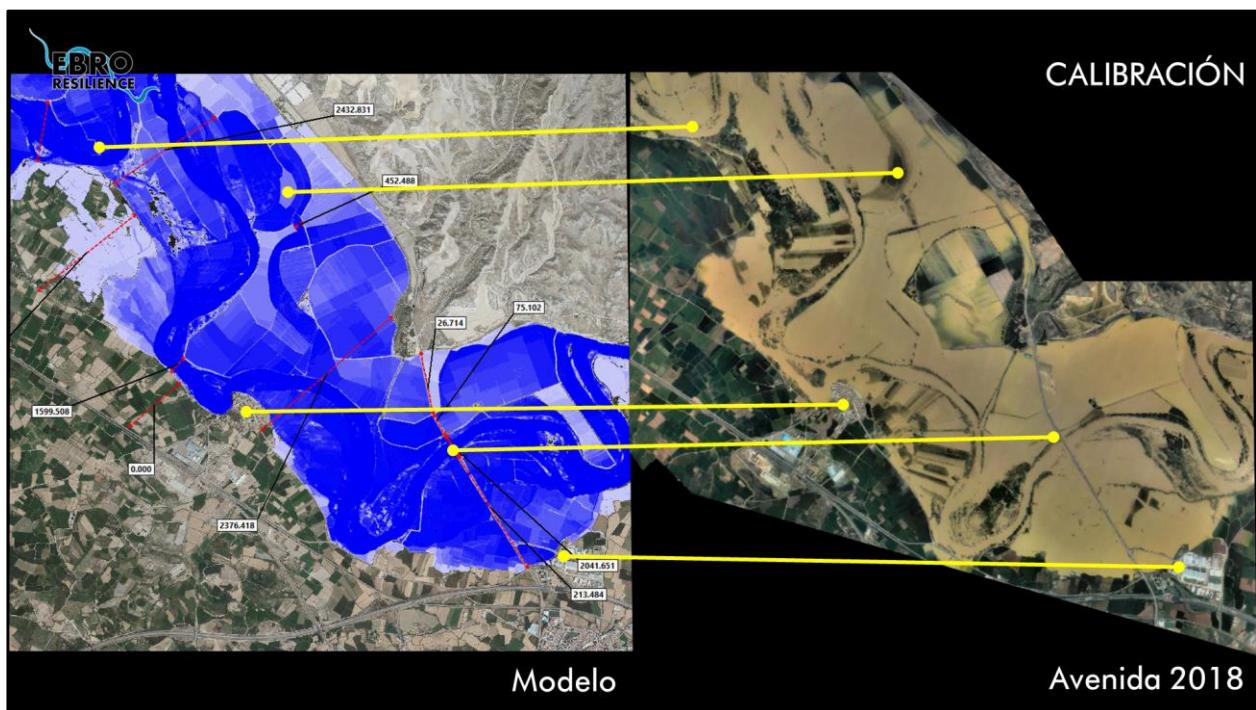


Figura 11. Ejemplo de calibración de un modelo hidráulico con la avenida de 2018 (elaboración propia).

Una vez configurado y calibrado el modelo hidráulico se reproduce la **avenida objetivo** y se analizan los efectos producidos sobre las zonas urbanas.

Respecto a los problemas que puedan originar los posibles desbordamientos hay que tener en cuenta que el modelo hidráulico considera el terreno rígido, es decir, las motas no colapsan en ningún momento, aunque sean desbordadas. Para compensar esta circunstancia, la punta de la avenida en la simulación se prolongará en el tiempo, consiguiendo efectos de inundación análogos a los producidos en un suceso real.

El resultado de la modelización se comenta en el apartado 5 “Estudio de Alternativas”.

#### 4. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

De acuerdo con los planteamientos de la Estrategia Ebro Resilience, los objetivos específicos del estudio realizado han sido:

- Evaluar el nivel de protección de las zonas urbanas frente a avenidas de 25 años de periodo de retorno.
- Proponer actuaciones para evitar la inundación de las zonas urbanas, en el caso en que se produzcan.
- Reducir daños en zonas no urbanas para avenidas de 10 años de periodo de retorno.

En este tramo el caudal para las avenidas de 25 años de periodo de retorno es de 2.600 m<sup>3</sup>/s y de 2.300 m<sup>3</sup>/s para avenidas de 10 años de periodo de retorno.

El estudio tiene nivel de anteproyecto, estando determinado para seleccionar las alternativas más adecuadas y permitir realizar la evaluación ambiental de las soluciones propuestas. La definición de las dimensiones exactas de las actuaciones a ejecutar y sus detalles deberá realizarse en el correspondiente proyecto constructivo.

## 5. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

En el análisis de la simulación de la avenida objetivo para un periodo de retorno de 25 años se puede observar que el río Ebro discurre desbordado por la margen derecha desde el inicio del tramo en estudio. Al llegar al dique de defensa de Alfocea, se desborda también en la margen izquierda.

El modelo hidráulico genera un plano con las zonas inundadas en el momento máximo de la avenida. En este plano se indica, con diferentes colores, la profundidad alcanzada por las aguas durante la inundación (figura 10).

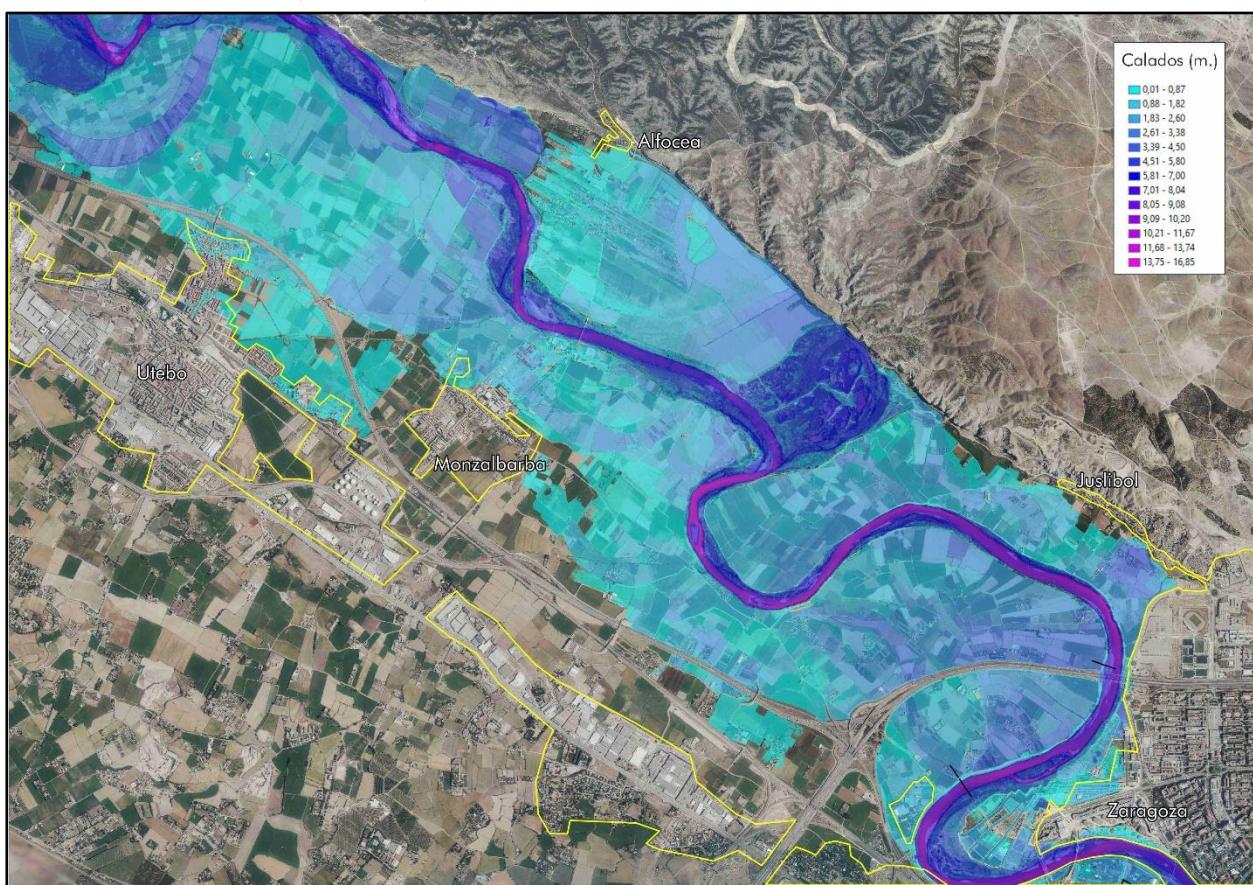


Figura 12. Resultados del modelo hidráulico para la avenida de periodo de retorno de 25 años (elaboración propia).

El río Ebro, cuando se producen las avenidas, se encuentra en este tramo con una serie de estrechamientos y obstáculos transversales. Por un lado, la mota que defiende la huerta de Alfocea (① en la figura 13) supone un importante freno al flujo, proyectándolo hacia la margen derecha y sobre-elevando la lámina de agua en el tramo aguas arriba, lo que aumenta los desbordamientos hacia la margen derecha. Los elevados niveles del río provocan filtraciones en la propia huerta de Alfocea, generando afecciones incluso antes de que se produzca el desbordamiento de la defensa hacia esa zona. Cuando este se produce, el dique colapsa, produciendo grandes erosiones.

Aguas abajo, el terraplén de la autovía A-2 supone un importante obstáculo al flujo de las aguas desbordadas por la margen derecha (② en la figura 13). Esto produce importantes incrementos de calado aguas arriba de esta infraestructura y que todo el flujo que circula por la margen se concentre en las dos obras de paso existentes.

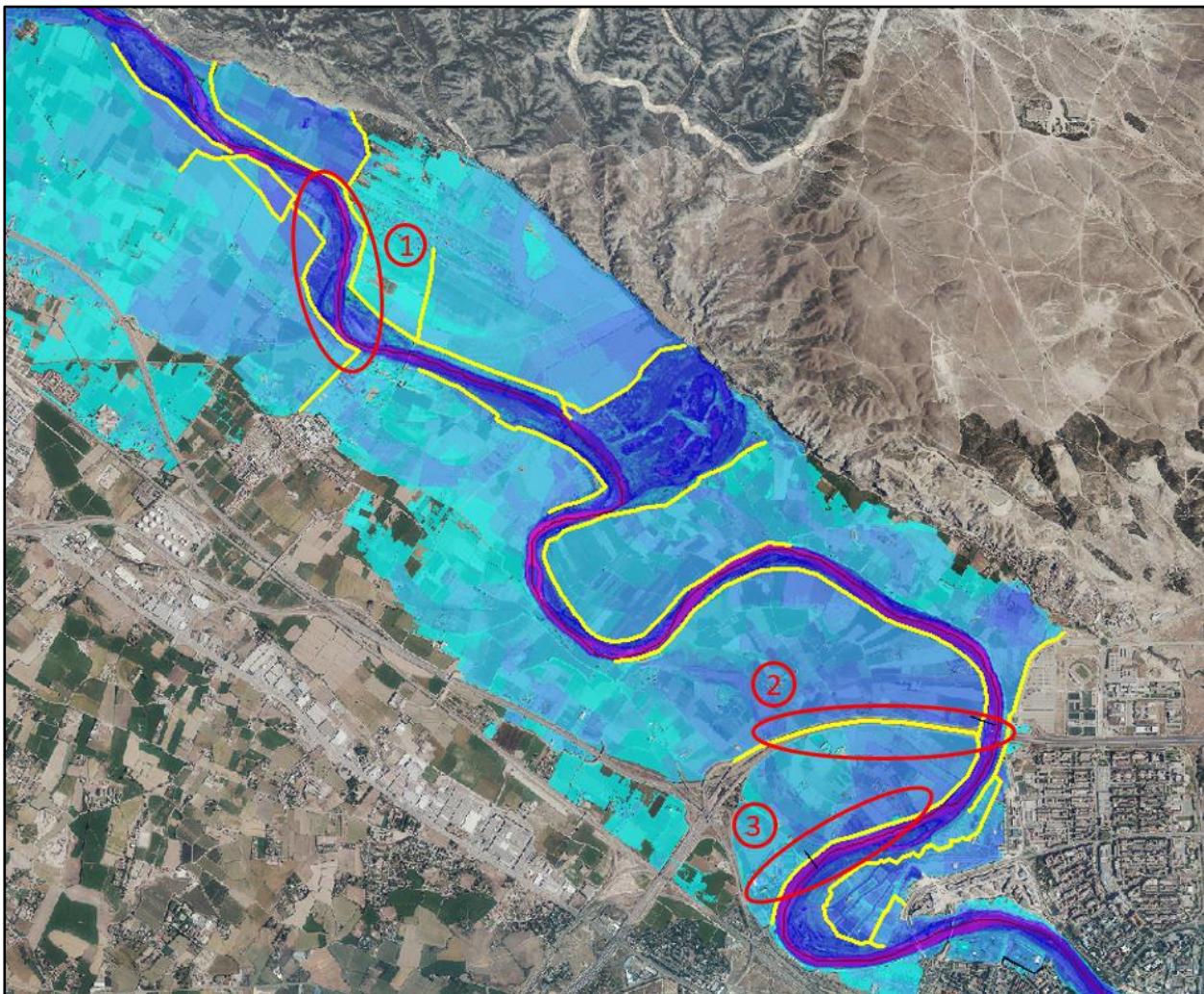


Figura 13. Proceso de inundación de la zona de estudio para avenidas de 25 años de periodo de retorno. En amarillo los diques de defensa e infraestructuras de transporte (elaboración propia).

Posteriormente, todo este caudal se encuentra con el obstáculo que supone la defensa longitudinal de la margen derecha del meandro de La Almozara (③ en la figura 13), que impide el retorno de las aguas al río. Esto provoca otro incremento de la altura del agua sobre el terreno y, posteriormente, la rotura de la defensa cuando se produce el desbordamiento desde la margen hacia el río.

Teniendo en cuenta estas zonas de interés, se han buscado alternativas de actuación para la resolución o mitigación de las problemáticas descritas. Estas actuaciones deben, además, funcionar correctamente de forma conjunta y, para avenidas de periodo de retorno superior a las

consideradas en el estudio, no crear problemas mayores a los que existirían de no haber intervenido.

### 5.1. Alternativas estudiadas en el meandro de la Almozara

En el meandro de la Almozara el terraplén de la autovía A-2 supone un importante obstáculo al flujo a pesar de las obras de paso con las que cuenta. Esto provoca una sobre-elevación de la lámina de agua aguas arriba de esta infraestructura.

Las aguas desbordadas que circulan a través de estas obras de paso se encuentran con el obstáculo de la defensa longitudinal de la margen derecha a la hora de retornar al río. Esto provoca nuevamente sobre-elevaciones y la rotura reiterada de la defensa al verse desbordada. Este desbordamiento se produce, sin embargo, desde la llanura de inundación hacia el río.

Para ello se ha estudiado la instalación de nuevas obras de drenaje transversal en el talud de la autovía A-2 (① en la figura 14), que incrementen la capacidad de desagüe a través de esta infraestructura, así como la construcción de compuertas en la defensa de la margen derecha (② en la figura 14) que permitan el retorno de las aguas desbordadas hacia el río.

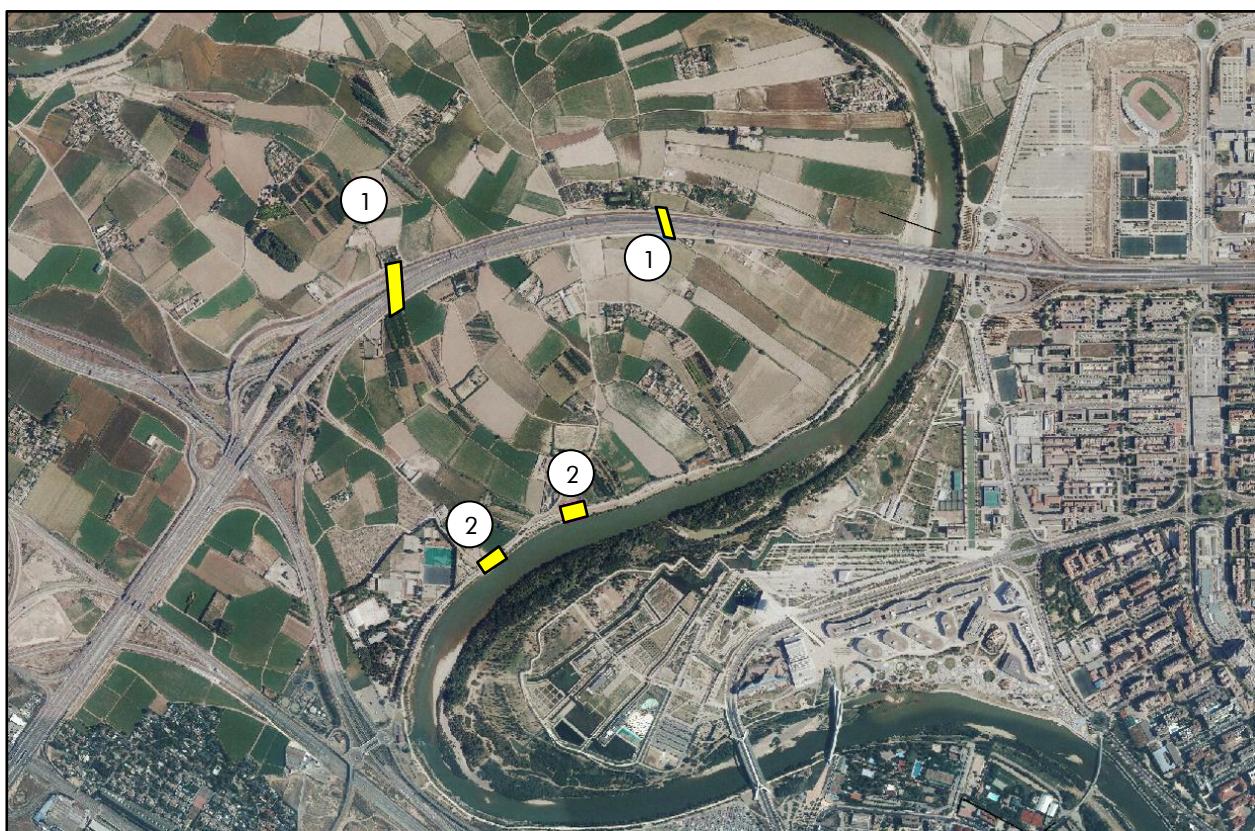


Figura 14. Alternativas de actuación en el meandro de la Almozara (elaboración propia).

Esta alternativa, analizada con diversas ubicaciones de las obras de drenaje, ha sido finalmente descartada, ya que la permeabilización del talud de la autopista A-2 generaría afecciones mayores en la zona urbana de Zaragoza.

### **5.2. Alternativas estudiadas en el entorno de Utebo, Monzalbarba y Alfocea**

En el entorno de Utebo, Monzalbarba y Alfocea se producen afecciones a edificaciones, algunas tan vulnerables como una residencia de ancianos. En buena medida, parte del problema lo provoca la defensa de la huerta de Alfocea (② en la figura 15), que supone un obstáculo transversal a la dirección del flujo y produce sobre-elevaciones aguas arriba. La rotura de esta defensa se traduce en graves daños por erosión en los campos que se intenta proteger. Además, se produce la inundación repentina y con velocidades importantes de las edificaciones ubicadas en este antiguo meandro.

Aguas arriba de esta defensa, las sobre-elevaciones provocan un incremento de las afecciones a elementos vulnerables, como la residencia de ancianos de Monzalbarba y la zona baja del núcleo urbano de Utebo.

Del mismo modo, la defensa de la huerta del soto Viejo (① en la figura 15) produce un estrechamiento de la llanura de inundación, incrementando las cotas de la lámina de agua. Por último, el dique del meandro de El Soto (③ en la figura 15) presenta un trazado perpendicular al flujo principal de la corriente. Esto provoca que el dique sufra una fuerte presión durante las crecidas del río y sea una estructura con tendencia al colapso.

En la zona de la huerta del soto Viejo (① en la figura 15), se ha estudiado la eliminación o retranqueo de la defensa. En base a los resultados obtenidos se ha decidido descartar la intervención, ya que esta zona actualmente funciona como un área de inundación libre.

En el meandro de El Soto (③ en la figura 15), También ha sido descartada la intervención sobre la defensa. Aunque presenta efectos muy positivos sobre el flujo, se encuentra bastante alejada de los elementos vulnerables cuyo riesgo de inundación se pretende reducir. Sus efectos serían bastante discretos en estas zonas y, sin embargo, supondría incrementos de velocidad de la corriente en los terrenos agrícolas ubicados en ese meandro.

En el caso de la defensa de la huerta de Alfocea (② en la figura 15), su traslado hacia el interior de la margen tendría efectos muy positivos en todo el entorno de las edificaciones de Monzalbarba y de la propia Alfocea.

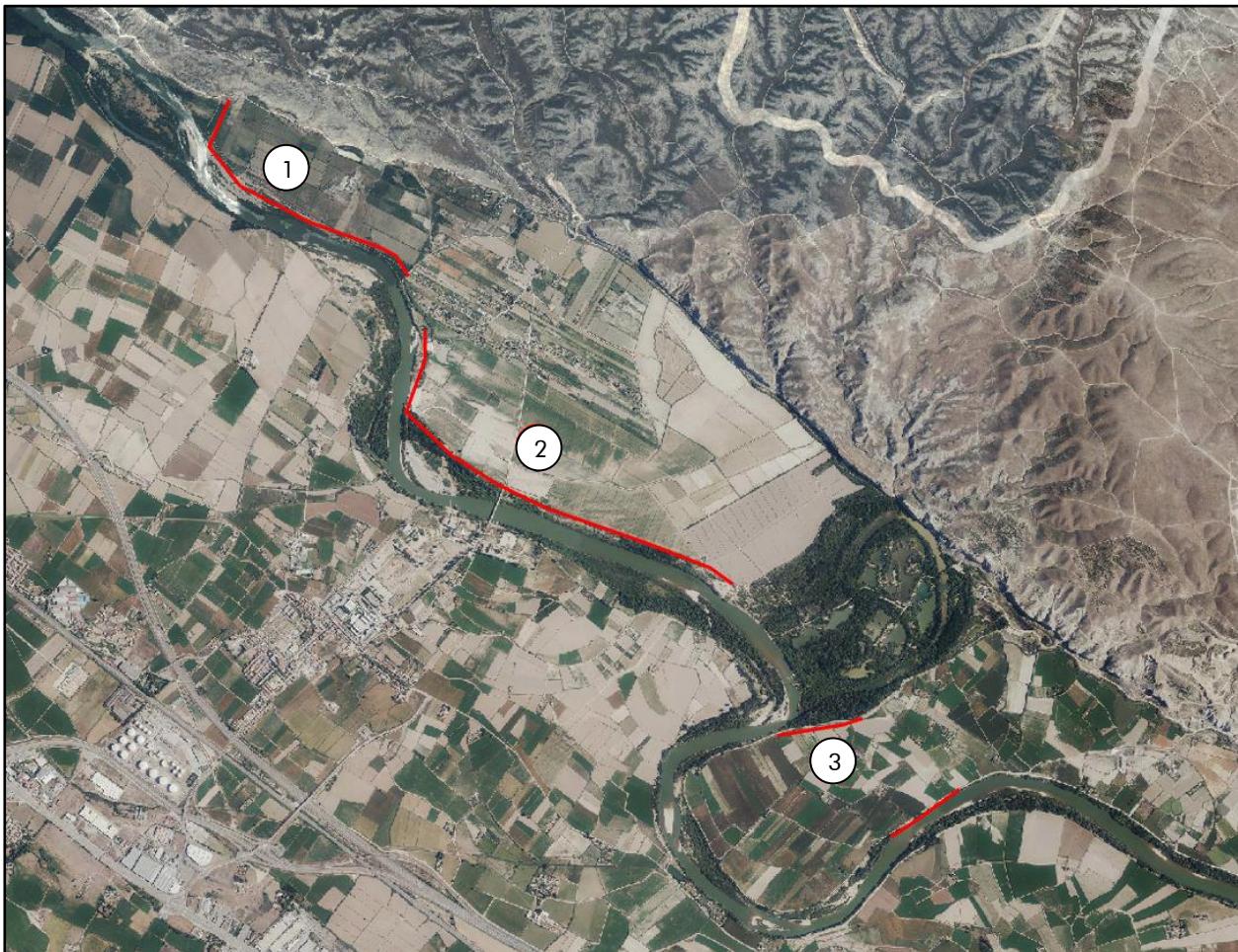


Figura 15. Diques que producen obstáculos al flujo principal: ① defensa de la huerta del soto Viejo, ② defensa de la huerta de Alfocea y ③ dique del meandro de El Soto.

### 5.3. Descripción de la alternativa propuesta

La alternativa que se ha demostrado más eficiente es una combinación de actuaciones que, de forma conjunta consiguen una mejora de las condiciones de inundación en el tramo en estudio.

La primera actuación propuesta consiste en un rebaje de la altura de la defensa de la huerta de Alfocea (③ en la figura 16), rebajar la carretera (④ en la figura 16) a la altura del terreno y la construcción de una nueva defensa retranqueada (⑤ en la figura 16) que protegería estrictamente las edificaciones existentes. También se eliminarían una serie de ribazos elevados que suponen un obstáculo al flujo durante las crecidas (⑥ en la figura 16).

Hay que señalar que esta carretera es cortada al tráfico cada vez que se producen crecidas. Con esta combinación de intervenciones se mantiene una protección para la huerta y se reducen los efectos deflectores de la defensa hacia la orilla opuesta. Asimismo, se aumenta la capacidad

de la llanura de inundación en esa zona, rebajando la altura de las aguas en circulación en las zonas habitadas de Alfocea.

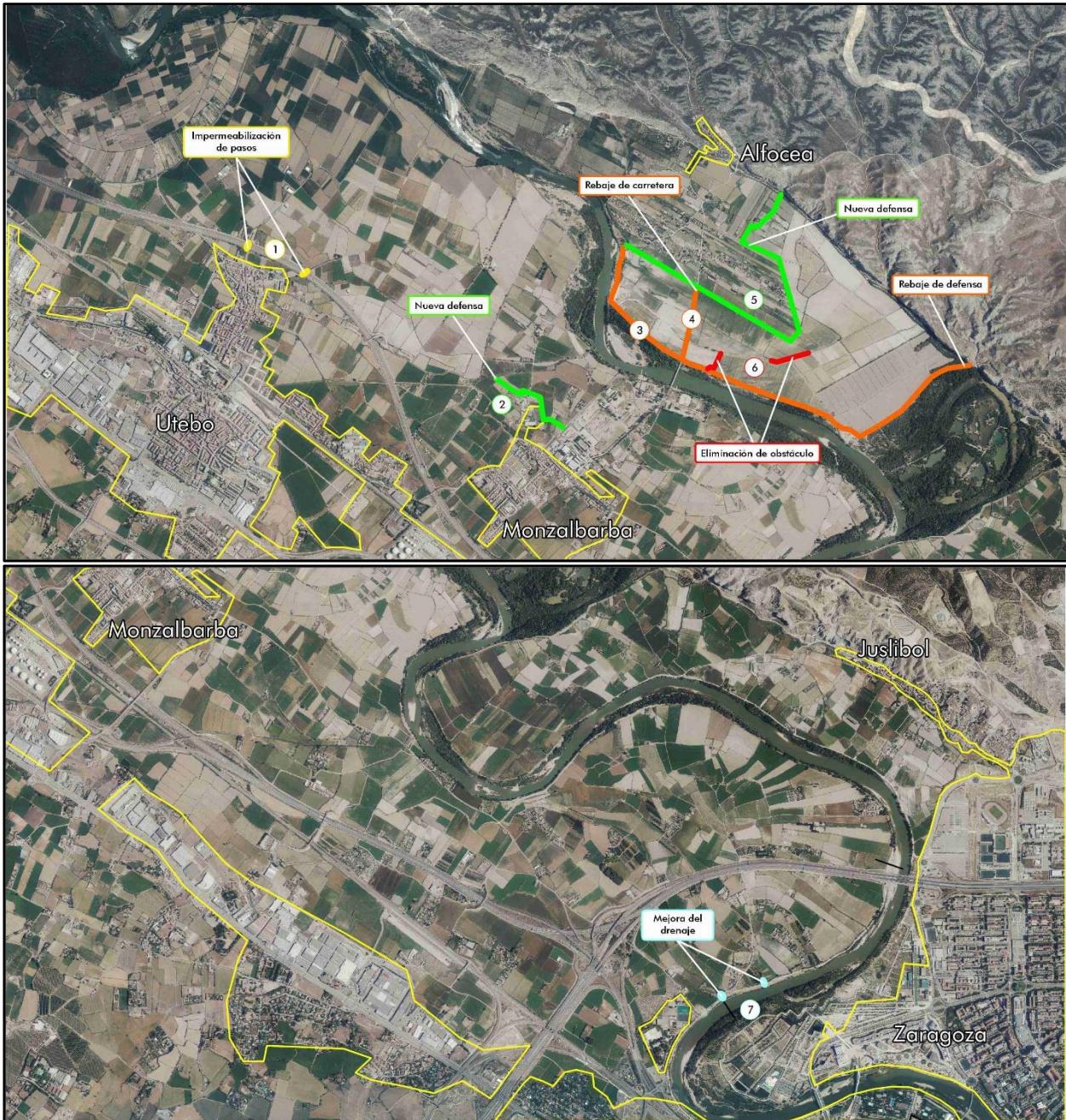


Figura 16. Alternativa propuesta. En amarillo los cierres de la autovía ①, en naranja la defensa a rebajar ③, en verde claro las nuevas defensas retranqueadas ② y ⑤, en naranja el rebaje de la carretera ④, en rojo los obstáculos a eliminar ⑥ y en azul la permeabilización de la defensa de La Almozara ⑦ (elaboración propia).

En la margen opuesta, se propone proteger las zonas urbanas de Monzalbarba mediante la construcción de una pequeña defensa (② en la figura 16). Asimismo, se mejorarían las compuertas en los pasos bajo la autovía (① en la figura 16) para impedir la inundación de la

zona baja del núcleo urbano de Utebo, mediante la instalación de dispositivos que permitan combinar la protección del núcleo urbano con el mantenimiento de la integridad de la infraestructura.

En el meandro de La Almozara se propone la instalación de dos zonas de drenaje para la evacuación automática de las aguas acumuladas en el trasdós de la defensa actual (7) en la figura 16).

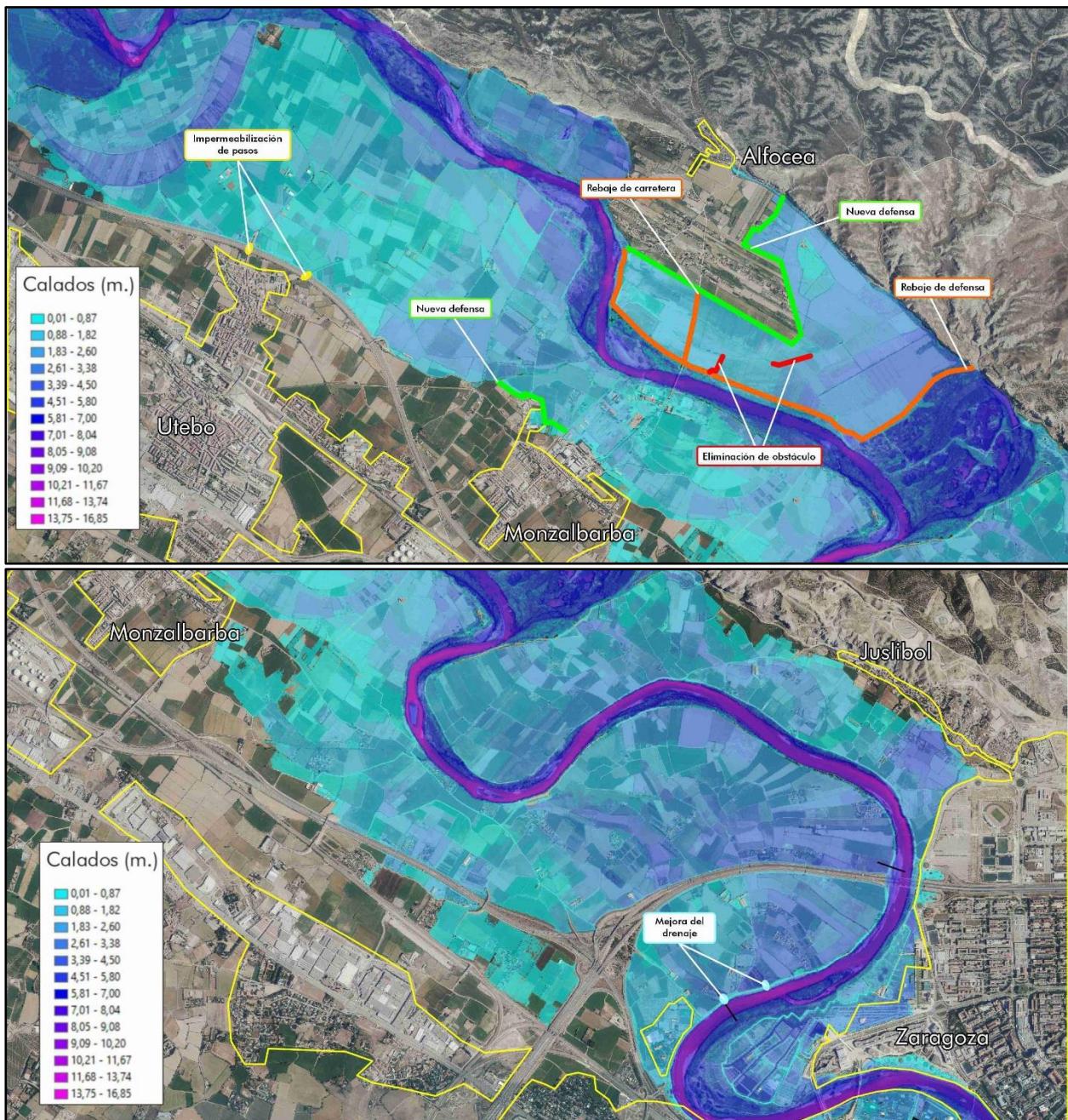


Figura 17. Modelización hidráulica de la combinación de actuaciones seleccionada para una avenida de periodo de retorno de 25 años (elaboración propia).

La simulación hidráulica realizada con la combinación de actuaciones propuesta muestra que se cumplen los objetivos planteados: las zonas habitadas de Utebo, Monzalbarba y Alfocea no se verían inundadas y disminuiría la altura de las aguas en 370 ha de fincas agrícolas (figura 17) para una avenida de 10 años de periodo de retorno.

## 6. CONCLUSIÓN

Con la alternativa seleccionada como más eficiente se conseguiría evitar la inundación de los núcleos urbanos para avenidas con un periodo de retorno de 25 años, alcanzando los objetivos planteados inicialmente.

El estudio tiene nivel de anteproyecto, estando determinado para seleccionar las alternativas más adecuadas y permitir realizar la evaluación ambiental de las soluciones propuestas. La definición de las dimensiones exactas de las actuaciones a ejecutar y sus detalles debe realizarse en el correspondiente proyecto constructivo.

La ejecución de estas actuaciones deberá llevar asociado un seguimiento de su evolución que permita comprobar que los objetivos perseguidos se consiguen.

## 7. ¿Y AHORA QUÉ?

Una vez concluido el estudio de detalle del tramo se realizarán encuentros participativos abiertos al público para conocer la opinión de la población.

Seguidamente se realizarán los correspondientes ajustes a la propuesta, si fuese necesario, y comenzará la tramitación ambiental de las intervenciones.

Finalmente, se redactarán los proyectos constructivos y cada Administración pondrá en marcha, en el ámbito de sus competencias, las actuaciones para una mejor gestión del riesgo de inundación del tramo que corresponda.