





1. ANTECEDENTES	3
2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	9
3. TRABAJOS REALIZADOS	10
3.1. Modelo digital del terreno (MDT)	10
3.2. Modelo hidráulico	12
4. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	14
5. CONCLUSIÓN	17
6. ¿Y AHORA QUÉ?	17



# 1. ANTECEDENTES

Cabañas de Ebro se ubica en la ribera del Ebro, en la parte exterior de un gran meandro. Históricamente, las avenidas del Ebro inundaban el meandro situado frente a la población, de manera que las aguas no alcanzaban gran altura ni velocidad.



Figura 1. Recreación de una avenida del río Ebro en Cabañas de Ebro sobre la fotografía aérea de 1927 (elaboración propia).

Durante las décadas de 1960 a 1990 del siglo pasado se produce la construcción de los diques<sup>1</sup> de defensa frente a inundaciones del río Ebro.

En el caso de la población de Cabañas de Ebro, las defensas del tramo situado aguas arriba de la localidad quedan conformadas en forma de embudo (ver figura 2), de modo que se fuerza a las aguas en circulación a realizar todo el recorrido perimetral del meandro, lo que conlleva transitar frente a las defensas del casco urbano.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Estructura conformada con tierra, en forma de terraplén, cuya dimensión predominante es la longitudinal y que protegen del desbordamiento frontal. Localmente conocidos como motas.



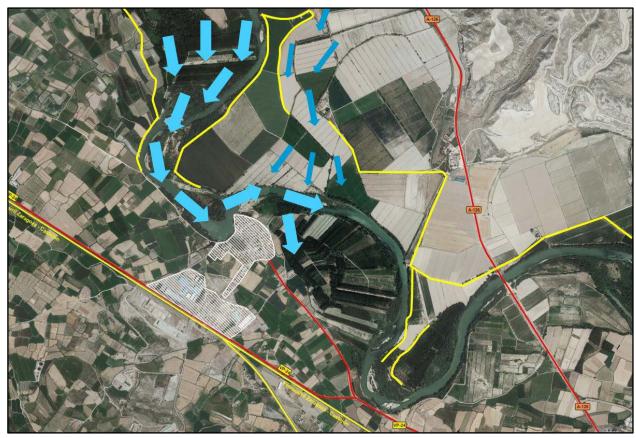


Figura 2. Configuración de las defensas actuales (en amarillo) entorno a la población de Cabañas de Ebro (elaboración propia).

Esta circunstancia favorece los desbordamientos hacia la parte externa del meandro, al incrementar la altura de las aguas en circulación, y aumenta los procesos de erosión en el lecho del cauce en esta zona, donde se ubica el casco urbano.

Para paliar estos efectos, las defensas de la localidad han ido reforzándose paulatinamente con la construcción de espigones, muros y diques de defensa, que han sido reforzados o recrecidos tras cada episodio de avenida.





Figura 3. Refuerzo del muro de protección de la zona urbana con piedra (Eduardo Berian Luna).

Tras las importantes avenidas de 2015, se realizó el refuerzo del dique de defensa oeste del casco urbano, el rebaje de la defensa perimetral al meandro situado frente a la población y la construcción de un cauce de alivio<sup>2</sup> para reducir la cantidad de agua que circula frente a las defensas de la localidad.



Figura 4. Actuaciones realizadas tras las avenidas de 2015 (Confederación Hidrográfica del Ebro).

 $<sup>^{2}\,</sup>$  Brazo de río artificial que entra en funcionamiento en crecidas.



En el año 2017 se delimitó un perímetro de seguridad de la población. Este perímetro de seguridad consiste en la delimitación de las estructuras de defensa del núcleo urbano, su nivelación, su preparación para poder realizar trabajos de emergencia con garantía de seguridad y la construcción de un sistema de hitos marcados con una escala, que sirven de control de los niveles de la avenida y ayudan al seguimiento de su evolución y a la toma de decisiones.



Figura 5. Perímetro de seguridad de Cabañas de Ebro (Confederación Hidrográfica del Ebro).

De la misma forma, después de la avenida de 2018 se realizó el refuerzo del muro principal de defensa del casco urbano y se repuso parte de la escollera<sup>3</sup> de protección del muro, que se había perdido.

 $<sup>^{\</sup>rm 3}$  Estructura conformada por bloques de piedra de gran tamaño.





Figura 6. Actuaciones realizadas tras la avenida de 2018 (Confederación Hidrográfica del Ebro).

Actualmente y tras estas intervenciones, Cabañas de Ebro se encuentra protegida para avenidas de un periodo de retorno<sup>4</sup> de 10 años, de acuerdo a los estudios hidráulicos realizados.

Por otra parte, en el meandro ubicado entre Cabañas de Ebro y el puente sobre el Ebro de la carretera A-126, de Alagón a Tudela, se produce un fenómeno similar. En este caso, los diques de defensa perimetrales al meandro no pudieron ser consolidados en su totalidad y se encuentran en diferente estado de conservación. No obstante, las últimas avenidas han aumentado los procesos erosivos en la orilla exterior del meandro y es probable que a corto plazo llegue a peligrar la integridad de la carretera VP-24, de Alagón a Gallur, a su paso junto a este punto.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Promedio del tiempo que tarda en producirse una avenida de caudal similar.





Figura 7. Erosión en el vértice del meandro. Detrás, la carretera VP-24 (Eduardo Berian Luna).



#### 2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

En el ámbito de la Estrategia Ebro Resilience, se están estudiando un total de 260 kilómetros de longitud del río Ebro, divididos en 15 tramos.

El tramo 8 se centra en la localidad de Cabañas de Ebro y abarca los 4 km del cauce anteriores a la población y los 4 km posteriores, aproximadamente, finalizando en el puente de la carretera A-126 sobre el río Ebro.

Los objetivos específicos del estudio realizado han sido:

- Evaluar el nivel de protección de la zona urbana de Cabañas de Ebro para avenidas de periodo de retorno de 25 años y la proposición de actuaciones para evitar su inundación, en el caso de que se produzca.
- Analizar los procesos de erosión de las defensas de la localidad y proponer actuaciones para reducirlos en caso de que estos procesos se constaten.
- Reducir la probabilidad de daños en la carretera VP-24.
- Reducir el riesgo de inundación en zonas no urbanas, disminuyendo la velocidad de circulación de las aguas y/o la altura que alcanzan las inundaciones sobre los campos.



## 3. TRABAJOS REALIZADOS

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. Modelo digital del terreno (MDT)

Para comenzar el estudio, se realiza un modelo digital del terreno<sup>5</sup> (denominado MDT) que reproduzca la situación actual. 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.

Primeramente se reproduce a gran escala el terreno, utilizando topografía LIDAR<sup>6</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).

Seguidamente se obtiene la topografía de los elementos más importantes para el estudio como son: la coronación de los diques, muros, espigones, puentes, drenajes, cauces de alivio, perímetros de seguridad, etc. Este trabajo ha sido realizado mediante métodos clásicos de topografía, aumentando la precisión de los datos en estos elementos clave.

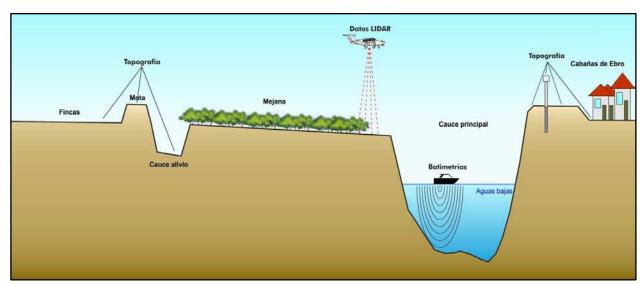


Figura 8. Esquema de la toma de datos realizada (elaboración propia).

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

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> El equivalente a una maqueta del terreno pero en un entorno digital.

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Acrónimo del inglés Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging.



encontrado estudios de inundación realizados con anterioridad. Actualmente existe tecnología que permite obtener la topografía del lecho del río de manera continua. Como novedad para estos estudios realizados en el marco de la Estrategia Ebro Resilience, se han utilizado medios acuáticos dotados de un sonar<sup>7</sup> para la toma de datos batimétricos<sup>8</sup> del lecho del cauce, incorporando estos datos al estudio.

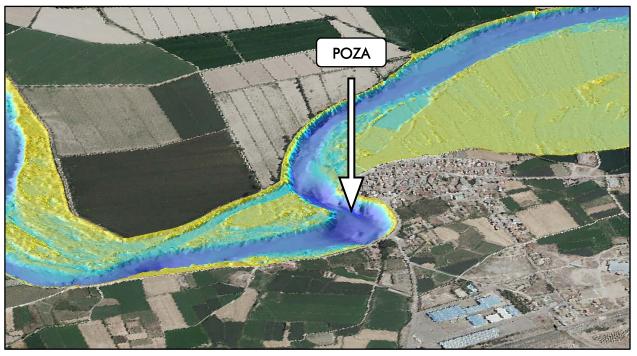


Figura 9. Topografía de lecho del cauce obtenida en la zona junto al núcleo urbano (elaboración propia).

Los datos obtenidos se combinan para la elaboración del modelo digital del terreno. El análisis del MDT ha puesto de manifiesto que las defensas perimetrales a los meandros han ocasionado que el lecho del cauce se profundice a su paso por estas defensas y que, al forzar a las aguas a realizar todo el recorrido perimetral al meandro, el cauce se haya erosionado fuertemente en la punta de los meandros.

El efecto descrito es más acusado junto a la población de Cabañas de Ebro, donde se ha generado una poza con una profundidad media de 15 metros frente a las defensas del núcleo urbano (figura 9).

<sup>&</sup>lt;sup>7</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>&</sup>lt;sup>8</sup> Topografía realizada debajo del agua.



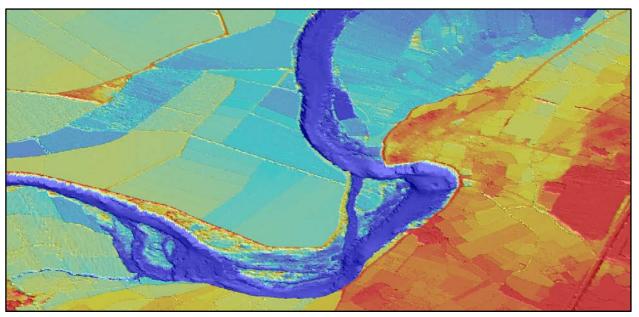


Figura 10. Fragmento del modelo digital del terreno (elaboración propia).

#### 3.2. 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. Calibración del modelo hidráulico con la avenida de 2018 (elaboración propia).

Una vez configurado y calibrado el modelo hidráulico se reproduce la avenida objetivo, en este caso la correspondiente a un periodo de retorno de 25 años, que equivale a un caudal de 3.100 m³/s en este tramo, y se analizan los efectos producidos.



#### 4. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

En la simulación de la avenida objetivo (3.100 m³/s en este tramo) se ha puesto de manifiesto que la zona urbana de Cabañas de Ebro resultaría inundada debido a un desbordamiento lateral que se produciría sobre el camino de Alcalá a Cabañas y que se desplazaría hacia aguas abajo a través de los campos, hasta llegar a la población.

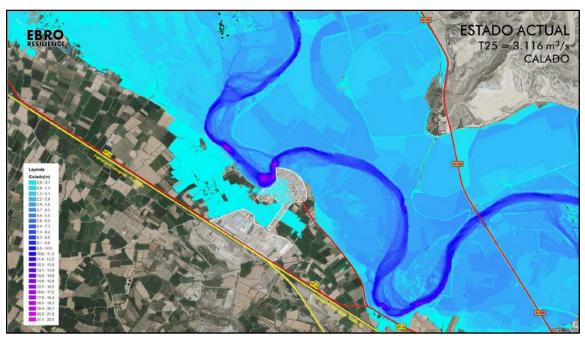


Figura 12. Resultados del modelo hidráulico para la avenida de estudio (elaboración propia).

Además se constata la elevada velocidad de circulación de las aguas en las zonas donde se ha detectado erosión del lecho del río, con velocidades de paso superiores a los 6 m/s (21 km/h) cuando, a modo de comparativa, en tuberías de hormigón no se recomiendan velocidades de circulación del agua superiores a 5 m/s (18 km/h).



Figura 13. Velocidad de circulación de las aguas a su paso por las defensas de la población. Colores rojos y amarillos señalan mayor velocidad, tonos verdosos y azules muestran menor velocidad (elaboración propia y Eduardo Berian Luna).

#### Estudio de detalle Tramo 8 - Resumen



Una vez constatadas con los datos obtenidos las problemáticas determinadas de antemano, se procede a la simulación de varias alternativas con distintas actuaciones. Para cada alternativa estudiada se procede a la modificación del MDT, incorporando las hipotéticas actuaciones a acometer, y se vuelve a reproducir la avenida objetivo sobre ese terreno modificado, comparando los resultados obtenidos con los anteriores y evaluando si se consigue la mejora esperada. Si no es así, esa propuesta se desestima. Las actuaciones que sí se muestran favorables a los objetivos perseguidos se simulan también de forma combinada, para comprobar si su efecto integrado es más favorable, neutro o las propuestas se anulan entre sí.

Finalmente, la alternativa que se ha mostrado como más eficiente en las simulaciones es una combinación de intervenciones de la siguiente manera (figura 14):

- A. Recrecimiento y refuerzo del camino de Alcalá a Cabañas, de manera que se consiga evitar el desbordamiento lateral y sus características permitan realizar labores de inspección y trabajos de emergencia con seguridad para los operarios en episodios de avenida, si fuera necesario.
- B. Retirada total de la mota de defensa perimetral al meandro situado frente a la población, para permitir que pueda ser ocupado por las aguas en crecidas por encima de los 1.000 m³/s.
- C. Construcción de una nueva defensa para las fincas que permanecerían en la margen izquierda, retranqueada 800 metros.
- D. Construcción de un cauce de alivio en el cuello del meandro frente al núcleo urbano, que es la posición óptima determinada en las simulaciones hidráulicas. Este cauce entrará en funcionamiento para caudales en circulación del entorno de los 900 m³/s, evitando el paso de hasta 650 m³/s por las defensas de la población. Además consigue reducir la velocidad de paso de las aguas por la zona de interés.



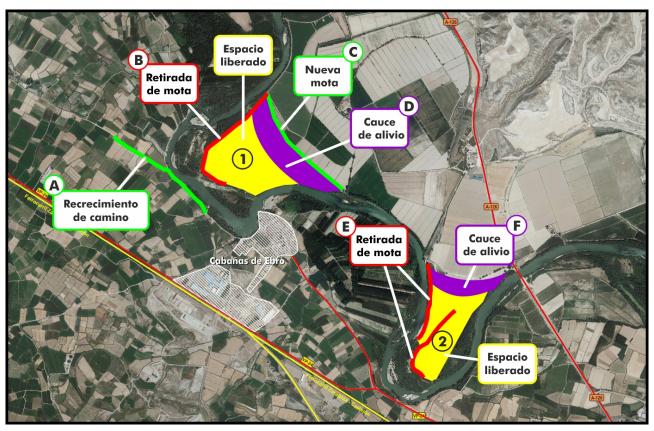


Figura 14. Alternativa seleccionada (elaboración propia).

- E. En el meandro situado aguas abajo de la población se procedería de una forma similar. Primeramente, eliminando los restos de las defensas perimetrales al meandro.
- F. Construyendo un cauce de alivio en el cuello del meandro, el cual dirige las aguas de una manera más eficiente hacia el puente de la carretera A-126. Este cauce entraría en funcionamiento para caudales en circulación del entorno de los 600 m<sup>3</sup>/s.



#### 5. CONCLUSIÓN

Con la alternativa seleccionada como más eficiente se conseguiría evitar el desbordamiento lateral sobre el camino de Alcalá a Cabañas y con ello la inundación de la localidad.

El efecto de los cauces de alivio en funcionamiento consigue limitar los caudales en circulación por los vértices de ambos meandros. En el caso del meandro situado aguas arriba de la población a 1.100 m³/s, aproximadamente, y en el meandro ubicado aguas abajo de la localidad a 800 m³/s, aproximadamente, lo que es una situación más similar a lo que serían unas condiciones naturales de inundación en el río Ebro. Esta circunstancia reduce a su vez la velocidad de circulación de las aguas en las zonas donde se ha detectado erosión.

Con la intervención se liberarían dos grandes espacios, marcados con 1 y 2 en la figura 14, cuyos usos futuros y posterior mantenimiento deberían ser consensuados con la comunidad local.

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, especialmente la reducción de los procesos erosivos frente a las defensas de la población.

### 6. ¿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.