



Jornada divulgativa
Magnitud y frecuencia de las crecidas en el Ebro.
Estimación, medición y actualización de caudales en el tramo medio

Resumen de la presentación

Esta presentación, enmarcada en la estrategia Ebro Resilience, quiere servir para divulgar de un modo sencillo para qué necesitamos conocer el caudal de los ríos, cómo lo hacemos y para poner de manifiesto la frecuencia de las avenidas en el tramo medio del río Ebro y sus caudales máximos asociados.

El objetivo de medir los caudales en la cuenca del Ebro es conocer la cantidad de agua aportada por los ríos de la cuenca y su variación a lo largo del tiempo. La **estadística de caudales** que se obtiene sirve para: saber cuánta agua superficial se podrá destinar a los distintos usos (abastecimiento, agrícola, energético, industrial, lúdico, etc.), dimensionar/calcular las obras que se realizan en el entorno de los ríos (presas, canales, puentes, etc.) y para gestionar los episodios extremos de sequía y crecidas, entre otras cosas.

El **caudal** se define como volumen de agua que circula por una sección de un río por unidad de tiempo, se expresa en metros cúbicos por segundo (m^3/s). Depende básicamente de la altura que alcance el agua (en consecuencia, la anchura que ocupe) y de la velocidad que lleve. El caudal es muy variable en un río en sus diferentes tramos y también a lo largo del tiempo ya que depende de las aportaciones naturales (lluvia, deshielo, manantiales, etc.). En el tramo medio del río Ebro, durante los últimos veinte años, estas oscilaciones han ido desde los escasos $30 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta los más de $2500 \text{ m}^3/\text{s}$.

Los caudales de los ríos se obtienen a partir de la medición continua y directa de las alturas (niveles) del agua en unas instalaciones denominadas **estaciones de aforo**. La altura de agua se expresa siempre (en metros y centímetros) respecto a una escala de referencia fija para cada estación. De este modo, las alturas serán comparables entre distintos episodios de crecida en una misma estación de aforo. En la cuenca del Ebro hay 227 estaciones de aforo en ríos.

La obtención de caudales circulantes a partir de los niveles registrados se realiza a través de una tabla de transformación altura-caudal denominada **curva de gasto**. Su cálculo es laborioso y exige un trabajo continuo de ajuste a partir de datos teóricos (hidráulica) y de campo. Cada curva de gasto es propia de cada estación de aforo y tiene un periodo de validez temporal concreto que ha de ser sistemáticamente revisado.

Los datos que nos permiten establecer y ajustar las curvas de gasto para obtener el caudal correspondiente a cada altura de agua medida son los **aforos directos de caudal**, que consisten en la medición de las velocidades del agua y de la extensión (altura-anchura) del área ocupada por el agua en el momento concreto de hacer el aforo directo. Cada aforo constituye un dato

puntual (altura-caudal) en el que apoyar la curva de gasto; cuantos más aforos directos se hagan para diferentes alturas mejor se podrá ajustar la curva. El aforo directo es necesario para conocer las distintas velocidades y profundidades en la sección del río, ya que pueden ser muy variables, para poder calcular así la velocidad media del agua en la sección mojada completa. Son especialmente importantes los aforos en aguas altas para disminuir la incertidumbre en la estimación de caudales (difícilmente inferior a un 10%), pero son difíciles de conseguir por escasos y complicados por las circunstancias adversas.

Los métodos, **tecnologías** e instrumentos que se utilizan y se han utilizado en el pasado para la medición de caudales van desde la estimación de velocidades superficiales con elementos flotantes hasta los actuales perfiladores acústicos de velocidad (ecosondas Doppler que “escanean” las velocidades en las diferentes zonas de la sección), pasando por los molinetes o hélices. Los nuevos sistemas Doppler son muy ventajosos en la obtención de aforos directos de grandes caudales de forma completa (profundidades y velocidades) y rápida.

Las crecidas han sido un fenómeno natural recurrente en el tramo medio del Ebro. Se muestra una gráfica con las crecidas históricas documentadas en Zaragoza superiores a 3500 m³/s junto con los caudales máximos anuales registrados en las estaciones de aforo desde la segunda mitad del siglo XX hasta la actualidad. No se observan tendencias en la magnitud de los episodios de crecida; todas las crecidas son diferentes entre sí, bien sea por el nivel máximo alcanzado por las aguas, su duración o sus efectos. En cuanto a la frecuencia de aparición, durante los últimos 20 años se han registrado tres crecidas cuyos caudales máximos superan los 2600 m³/s (años 2003, 2015 y 2018) y, sin embargo, es curioso constatar que no tuvieron lugar episodios de esta magnitud en los veinte años anteriores al año 2000.

Gracias a las nuevas tecnologías y al haber tenido la oportunidad de realizar aforos directos de grandes caudales durante las recientes avenidas (años 2003, 2007, 2013, 2016, 2018, 2019...) se han podido revisar los caudales máximos de crecidas en los pasados años, desde finales del siglo XX.

Los datos de **caudales máximos anuales** que figuran en los anuarios oficiales de aforo han sido ajustados paulatinamente mediante nuevas curvas de gasto (corregidas para las alturas mayores) gracias a balances entre estaciones de aforo durante un mismo evento de crecida (coherencia entre afluentes del volumen total de agua circulante) y, especialmente, a nuevos aforos directos. Se observa una disminución de los caudales máximos actuales ajustados, alrededor del 20%, respecto a los caudales máximos estimados anteriormente con curvas de gasto de los años 90 (recordemos que estaban poco calibradas por ausencia de eventos de crecida y de aforos altos). Este proceso de reajuste de la estadística se ha realizado en los últimos veinte años (siglo XXI), en los que las condiciones de la llanura de inundación y el funcionamiento hidrológico de la cuenca es comparable y conocido; sin embargo, no se han modificado los datos de caudales anteriores a los años ochenta del pasado siglo porque el comportamiento hidrológico-hidráulico de la cuenca era diferente al haberse sucedido importantes transformaciones (usos del suelo, explotación de nuevos embalses, ocupación de la llanura de inundación por diversas infraestructuras, etc.). Por tanto, los valores de las mayores crecidas del siglo XX, incluida la de 1961, se han mantenido.

La **gestión del riesgo de inundación** comprende numerosas medidas relativas a los tres factores que determinan el riesgo: la peligrosidad, la exposición y la vulnerabilidad. La peligrosidad, asociada a la magnitud y frecuencia de las crecidas, se basa en el conocimiento. Hay que distinguir claramente cuando nos enfrentamos a un episodio de crecida entre los datos observados (niveles, caudales en ríos, volúmenes en embalses, etc.) y los datos previstos (con modelos para la ayuda

a la decisión, que trasladan la incertidumbre meteorológica a la hidrología en las predicciones). Como medida de preparación durante las crecidas es indispensable el **seguimiento de las alturas de agua** en las estaciones de aforo de los ríos de la cuenca, referidas a una escala fija, que permite generar avisos a los servicios de protección civil según los umbrales (amarillo, naranja y rojo) establecidos. Gracias a las referencias históricas de niveles alcanzados, en esas mismas escalas, durante eventos anteriores es posible estimar el alcance de la inundación, por analogía local, para poner en marcha medidas de autoprotección. Adicionalmente se pueden consultar los mapas de peligrosidad del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables que indican la extensión de la inundación para las avenidas de 10, 100 y 500 años de período de retorno estadístico.

Otras medidas de gestión del riesgo de inundación, adicionales al conocimiento de los caudales y el seguimiento de niveles que se han tratado aquí, son: los Sistemas Automáticos de Información Hidrológica (SAIH), el Sistema de Ayuda a la Decisión (SAD), el protocolo de avisos a Protección Civil, etc. Todas ellas implantadas y en continuo proceso de mejora en la cuenca del Ebro.

Área de Hidrología y Cauces. Confederación Hidrográfica del Ebro.