

CÁLCULO DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS: ANÁLISIS DE LAS CONSECUENCIAS EN FUNCIÓN DE LA TIPOLOGÍA HIDROLÓGICA.

Tema B, Tema A.

Francisco J. Peñas^{1}, José Barquín Ortiz¹, Ton Snelder², Doug Booker², Cesar Álvarez Diaz¹, Mario Álvarez-Cabria¹, Diego Fernández¹*

¹*Instituto de Hidráulica ambiental "IH Cantabria". Universidad de Cantabria. Avda. de los Castros s/n C.P. 39005. Santander, Cantabria*

²*National Institute of Water and Atmospheric Research, PoBox 8602, Christchurch, New Zealand*

Correo electrónico: penasfj@unican.es

La sobreexplotación de los recursos hídricos ha conducido, en muchos casos, al progresivo deterioro de los ecosistemas fluviales. Esto ha puesto de manifiesto la necesidad de limitar los cambios producidos sobre el régimen hídrico mediante el establecimiento de un régimen de caudales que asegure las funciones y procesos del ecosistema (Poff et al. 2010). Con el fin de resolver este problema se han desarrollado en las últimas décadas multitud de métodos para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos (RCE; Tharme 2003). En situaciones donde la explotación de los recursos es intensa y los valores ecológicos existentes son altos se utilizan, por lo general, métodos más precisos y específicos para esos tramos de río en cuestión. Sin embargo, cuando los caudales ecológicos tienen que ser establecidos con carácter general para zonas más amplias, normalmente se aplican métodos o reglas más simples y prácticas (Acreman 2005). Este es el caso de los métodos hidrológicos.

En España, la Instrucción de planificación Hidrológica (IPH) propone una metodología genérica mediante la que se deberá establecer una distribución temporal de caudales mínimos a través de la aplicación de un método hidrológico, cuyos resultados deberán ser ajustados mediante un método de modelización del hábitat. Sin embargo, los métodos de simulación de hábitat sólo han de aplicarse en un 10% de las masas de agua.

La variabilidad hidrológica es un factor fundamental que influye significativamente en la estructura y función de las comunidades de los ecosistemas fluviales (Poff et al. 1997, Palau and Alcázar 2010) y, por lo tanto, debe ser considerada a la hora de desarrollar una gestión eficiente y sostenible de los recursos hídricos. La aplicación de métodos hidrológicos homogéneos y reglas simples para el cálculo de caudales ecológicos en regiones amplias donde existe una importante variabilidad hidrológica y ambiental, como es el caso de la Península Ibérica, puede conducir a la obtención de resultados poco coherentes entre diferentes sistemas fluviales. Por un lado, al no tener en cuenta la variabilidad espacial de las características hidrológicas y ecológicas, el mismo método puede generar importantes diferencias en el grado de protección del ecosistema alcanzado. Por otro, la fiabilidad de suministro, es decir, la proporción de tiempo que el caudal de un río es suficientemente grande para proporcionar los recursos "asignados", también se verá afectada y variará en función de la naturaleza hidrológica del río.

El objetivo de este estudio es desarrollar un método para valorar los RCEs establecidos mediante métodos hidrológicos a través del análisis de las consecuencias que estos pueden tener sobre el hábitat fluvial y sobre la fiabilidad del suministro en diferentes tipologías hidrológicas. Este método ha sido aplicado para diferentes ríos de cuencas atlánticas y mediterráneas. El método se basa en la clasificación y modelación de clases ecológicas y la modelización de curvas de excedencia de caudales (CEC) para todos los segmentos de la red fluvial, y en el uso de modelos de simulación del hábitat a escala regional para valorar los regímenes propuestos.

En primer lugar se desarrolló una clasificación hidrológica a partir de las series de caudales de 165 estaciones de aforo con caudales en régimen natural que contaban con, al menos, 10 años de registros. Para cada estación se calcularon 71 índices hidrológicos que consideran diferentes aspectos ecológicamente significativos del régimen natural de caudales (magnitud, frecuencia, duración, estacionalidad y tasa de cambio; Olden and Poff 2003). Se utilizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para disminuir la redundancia entre los índices y establecer un número óptimo de variables sintéticas ortogonales que explicasen el mayor porcentaje de la varianza. Posteriormente, las clases hidrológicas fueron obtenidas mediante un cluster basado en el valor de los componentes principales de cada estación. Las clases obtenidas se extrapolaron a todos los segmentos de la red fluvial mediante un modelo de Random Forest, atendiendo a variables de cuenca y climáticas asociadas a cada

tramo fluvial. Por otro lado, el análisis requiere la estima de un RCE y CEC para cada segmento fluvial. Para cada estación de aforo utilizada previamente en la clasificación hidrológica se obtuvieron la CEC y el RCE mediante métodos de variables de centralización móviles y mediante la definición de los percentiles del 5 y el 10%. Posteriormente estos valores se extrapolaron al resto de la red siguiendo dos pasos: en primer lugar cada segmento fluvial se asoció con la estación de aforos más cercana perteneciente a la misma clase hidrológica; en segundo lugar, las curvas de excedencia y los RCE se extrapolaron a partir del ratio entre los caudales medios modelados en el segmento y en la estación de aforos. Para ello se utilizaron los caudales medios obtenidos mediante el modelo SIMPA-2. Finalmente, se desarrollaron modelos de simulación de hábitat para diferentes especies y estadios de peces en 110 estaciones repartidas en diferentes tramos de los ríos analizados. Mediante estos modelos fue posible predecir la cantidad de hábitat potencial útil (HPU) bajo diferentes situaciones de caudal.

Para analizar el efecto de los RCEs, se ha evaluado, en primer lugar, la cantidad de HPU disponible bajo esas condiciones de caudal. Para realizar las comparaciones se ha calculado el ratio entre el HPU retenido con los RCEs y con el caudal medio anual. Por otro lado se ha analizado para cada segmento de la red fluvial la fiabilidad del suministro, es decir, la proporción de tiempo que el caudal natural está por encima de los RCEs propuestos. Este análisis se ha llevado a cabo con base en las curvas de excedencia previamente calculadas.

Los análisis han puesto de manifiesto que existen importantes diferencias entre ríos en cuanto a la proporción de HPU generada bajo los RCEs, relacionando dicho patrón con el tamaño del río. De esta manera, ante los RCEs propuestos los ríos más grandes retienen mayor proporción de HPU que los ríos pequeños. En cuanto a la capacidad de suministro, encontramos mucha más variabilidad entre ríos, dependiendo en gran medida de la clase hidrológica a la que pertenezcan. Nuestro trabajo supone un método válido para analizar las consecuencias de establecer un RCE utilizando reglas homogéneas para territorios hidrológicamente diferentes, lo que posee una gran utilidad de cara a una gestión eficiente de los recursos hídricos. De esta manera para determinados ríos se podrían alcanzar los mismos objetivos ambientales y fiabilidad del suministro con RCEs más laxos, mientras que lo contrario sucedería con los ríos pequeños, en los que los RCEs obtenidos no asegurarían el mantenimiento de un hábitat mínimo.

- Acreman, M. 2005. Linking science and decision-making: features and experience from environmental river flow setting. *Environmental Modelling & Software* **20**:99-109.
- Olden, J. D., and N. L. Poff. 2003. Redundancy and the choice of hydrologic indices for characterizing streamflow regimes. *River Research and Applications* **19**:101-121.
- Palau, A., and J. Alcázar. 2010. The basic flow method for incorporating flow variability in environmental flows. *River Research and Applications*:n/a-n/a.
- Poff, N. L., J. D. Allan, M. B. Bain, J. R. Karr, K. L. Prestegard, B. D. Richter, R. E. Sparks, and J. C. Stromberg. 1997. The natural flow regime. A paradigm for river conservation and restoration. *BioScience* **47**:769-784.
- Poff, N. L., B. D. Richter, A. H. Arthington, S. E. Bunn, R. J. Naiman, E. Kendy, M. Acreman, C. Apse, B. P. Bledsoe, M. C. Freeman, J. Henriksen, R. B. Jacobson, J. G. Kennen, D. M. Merritt, J. H. O'Keeffe, J. D. Olden, K. Rogers, R. E. Tharme, and A. Warner. 2010. The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. *Freshwater Biology* **55**:147-170.
- Tharme, R. E. 2003. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications* **19**:397-441.