

VALORACIÓN AMBIENTAL DE RÉGIMENES DE CAUDALES ECOLÓGICOS CON IAHRIS V2.2. APLICACIÓN AL RÍO CABRIEL AGUAS ABAJO DEL EMBALSE DE CONTRERAS

Martínez, C. y Fernández, J. A.

*ECOGESFOR-UPM. Grupo de investigación en ecología y gestión forestal sostenible. Universidad Politécnica de Madrid. E.U.I.T. Forestal, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid
carolina.martinez@upm.es

RESUMEN

El método que se presenta a continuación, utiliza los resultados facilitados por la aplicación informática IAHRIS v2.2. (Índices de Alteración Hidrológica en Ríos) para:

- ▶ Caracterizar el régimen natural de caudales en sus componentes ambientalmente más significativos.
- ▶ Establecer un conjunto de escenarios de regímenes ambientales, definidos con base hidrológica y tomando como referente al régimen natural.
- ▶ Valorar ambientalmente mediante los Índices de Alteración Hidrológica la "distancia" de cada escenario respecto al de referencia.
- ▶ Valorar realizando una simulación plurianual, la demanda en recurso que cada escenario conlleva.
- ▶ Representar conjuntamente para todos los escenarios estudiados, su valoración ambiental y su demanda.

Esta representación constituye una herramienta que permite interpretar fácilmente dos de los principales aspectos implicados en la toma de decisiones a la hora de seleccionar un régimen ambiental: la mejora que se consigue respecto a la situación actual, en lo que a alteración del régimen se refiere, y la cantidad de agua necesaria.

Palabras claves: régimen ambiental caudales, alteración hidrológica, río Cabriel

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día los ríos se entienden desde una perspectiva holística, y esa nueva manera integradora e integral de considerar el ecosistema fluvial es la pieza clave a la hora de formular los criterios para la estimación de los caudales ecológicos.

El régimen ambiental de caudales (RAC) es un patrón -cuantitativo y temporal- de caudales que debe asegurar un cierto nivel de integridad del ecosistema fluvial. El nivel de conocimiento actual permite afirmar que el régimen natural (RN) de caudales es el elemento vertebrador de los ecosistemas fluviales, estructurando tanto el medio acuático como el ripario, modelando sus condiciones ambientales y posibilitando la variedad de hábitats y el dinamismo en sus interacciones (Poff *et al.* 1997; Strange *et al.*, 1999; Arthington, 2002; Bunn y Arthington, 2002; Naiman *et al.*, 2002; Nilsson y Svedmark, 2002). Es por ello que la etapa básica y crucial en la definición del régimen ambiental es la caracterización del RN en aquellos aspectos ecológicamente más significativos. Es cierto que las interacciones entre el régimen de caudales y los procesos más críticos del ecosistema fluvial todavía no están establecidas cuantitativamente con precisión, y que a menudo se muestran relaciones no lineales (DPIPWE, 2010). Sin embargo, y mientras no se disponga de una información científica más precisa, debe mantenerse el RN como referencia, y evaluar la alteración como el cambio que cualquier régimen, incluido el RAC supone respecto al natural.

En España, el Reglamento de Planificación Hidrológica (R.D. 907/2007) y la Instrucción de Planificación Hidrológica (ARM/2656/2008), sin ningún antecedente legislativo que presentase un nivel de detalle similar, formulan un protocolo exhaustivo para el establecimiento de regímenes de caudales ecológicos y su inclusión en los Planes de Cuenca. Se trata de un texto que establece una oportunidad histórica, cimentada en unos fundamentos conceptuales sólidos y actualizados, que lo sitúan en un primer plano a nivel internacional y sienta las bases sobre las que establecer e implementar un régimen de caudales: (i)ambientalmente homologable; (ii)versátil; (iii)con demanda cuantificable; (iv)aplicable; (v)ambientalmente valorable (vi)identificando y valorando económicamente los bienes y servicios suministrados por el ecosistema fluvial; (vii) adecuado para la participación y (viii) con un programa de gestión adaptativa.

COMPONENTE Y ASPECTO		ESTRUCTURA DEL RAC		DATOS DISPONIBLES EN IAHRIS
PRESERVAR DEL RN		METODOLOGÍA		
APORTA MENS.	VARIABILIDAD INTERANUAL	Proporción de años húmedos, medios y secos	Definir un RAC para cada "tipo" de año	Inf. Nº1 y 2
	VARIABILIDAD INTRANUAL	Fluctuación estacional	Escala de la variabilidad interanual: $F_{mes\ i}^{RAC} = (F_{mes\ i}^{NAT})^{1/m}$	
AVENIDAS	FUNCIÓN GEOMORFOLÓGICA (Q_{GL})	Magnitud y frecuencia	$Q_{GL}^{RAC} \geq 0.64 * Q_{GL}^{NAT}$ Mantener frecuencia de Q_{GL}^{NAT}	Inf. Nº4
		Estacionalidad y duración	Tomar la referencia de las avenidas ($Q \geq Q_{5\%}$) naturales	
	FUNCIÓN BIOLÓGICA ($Q_{5\%}$)	Magnitud	Caudal de la avenida habitual del RAC de manera que se mantenga la proporción observada en RN entre la avenida habitual y el caudal medio diario del mes considerado.	Inf. Nº2 y Nº4
		Estacionalidad y duración	Tomar la referencia de las avenidas ($Q \geq Q_{5\%}$) naturales	
CAUDALES EXTREMOS	FUNCIÓN CONECTIVIDAD (Q_{CONEC})	Magnitud y frecuencia	$Q_{CONEC}^{RAC} \geq 0.64 * Q_{CONEC}^{NAT}$	Inf. Nº4
		Estacionalidad y duración	Tomar la referencia de las avenidas ($Q \geq Q_{5\%}$) naturales	
	HABITUALES	Magnitud	Escala de mínimo: Factor de variabilidad para el mes más seco = 1 $K_{SECO} = [Ap_{min}^{RAC}]^{SECO} / [Ap_{min}^{NAT}]^{SECO}$, siendo $[Ap_{min}^{RAC}]^{SECO}$ un valor determinado por el usuario a partir de caudales de sequía observados en el RN.	Inf. Nº2 y Nº9
		Frecuencia	Mantener la variabilidad interanual: $K_{HUMEDO} = K_{MEDIO} = K_{SECO}$	
EXCEPCIONALES	Estacionalidad y duración	Tomar la referencia de las sequías ($Q \leq Q_{95\%}$) naturales	Inf. Nº2 y Nº4	
	Magnitud y frecuencia	Escala de mínimo: $K_{SECO} = [Ap_{min}^{RAC}]^{SECO} / [Ap_{min}^{NAT}]^{SECO}$, tomando como referencia para $[Ap_{min}^{NAT}]^{SECO}$ uno de los caudales naturales de sequía del RN de frecuencia baja.		
Q=0	Estacionalidad y duración	Tomar la referencia de las sequías ($Q \leq Q_{95\%}$) naturales	Inf. Nº4 y Nº9	
	Estacionalidad	Respetar las pautas naturales		
	Duración	Ajustarse al nº medio de días con $Q=0$ del RN En casos extremos, no superar el nº máximo de días consecutivos con $Q=0$ del RN	Inf. Nº4	

Tabla nº1: Aplicación de IAHRIS v2.2 para la caracterización del régimen natural (RN) como base en la definición de escenarios de Régimen Ambiental (RAC).

Las innovaciones en el marco legislativo han ido acompañadas de avances metodológicos e instrumentales en el campo científico. Así, la última versión del software IAHRIS (Martínez Santa-María & Fernández Yuste, 2010a), incluye la capacidad de generar escenarios de régimen ambiental que cumplen las cinco primeras características indicadas.

2. MÉTODO

Las premisas expuestas anteriormente avalan la consideración del RN como estado de referencia para la definición del RAC, tratando de reproducir en este último las pautas con mayor significación ambiental observadas en el primero. La aplicación IAHRIS a partir de un mínimo de 15 años de registros (diarios y/o mensuales), recoge en sus informes 1 a 6 una caracterización detallada del RN en valores habituales, avenidas y sequías (tabla nº1). A partir de esta información se construye el armazón que permite diseñar un escenario de RAC. Este armazón se estructura en torno a cuatro patrones fundamentales:

- ▶ **PATRÓN DE VARIABILIDAD INTERANUAL:** Para su caracterización se contará con la serie de aportaciones anuales en RN: el percentil de excedencia correspondiente al 25% se tomará como umbral para los años húmedos, el del 75% para los secos y los medios quedarán en el rango intermedio.
- ▶ **PATRÓN DE LA VARIABILIDAD INTRANUAL:** Para los tipos de año que reflejan la variabilidad interanual (año húmedo, medio y seco) se caracteriza la fluctuación estacional a escala mensual con las medianas de las aportaciones mensuales y los correspondientes factores de variabilidad (Palau, 1998), $F_{mes\ i}^{NAT} = AP_{mes\ i}^{NAT} / AP_{min}^{NAT}$ siendo $AP_{mes\ i}^{NAT}$ la aportación mediana del mes considerado y AP_{min}^{NAT} la aportación mediana mensual mínima en el año, ambas estimadas en RN.
- ▶ **PATRÓN PARA SEQUÍAS:** En sequías no se considera la variabilidad interanual, porque se buscan los eventos extremos, con independencia del tipo de año en el que se producen. Las variables del RN a considerar son:
 - ▶ Serie de caudales diarios mínimos anuales (Qs): Definida esta serie, se toma el mínimo -Qsmin-, que será el umbral mínimo absoluto en el RAC.
 - ▶ Serie de valores mínimos anuales de caudales medios en 15 días consecutivos: Para cada año se calcula la media móvil sobre la serie de caudales diarios con paso de 15 días y se elige el mínimo anual. De esa serie de mínimos anuales se toma el menor -Qs15Dmin-, que se considerará como una referencia de umbral mínimo ambiental, y se utilizará para definir el caudal diario en el mes de mínima aportación del año tipo seco de distintos escenarios de RAC.
 - ▶ Curva de caudales diarios clasificados: se determina el caudal que es igualado o superado, como promedio, el 95% de los días del año -Q95%-. Ese caudal se asume representativo de las condiciones de sequías habituales, ya que, como promedio, sólo se presentan caudales menores durante unos 18 días al año.
 - ▶ Número medio de días al mes con $Q < Q95\%$. Además de servir como referencia de la duración media de situaciones de sequía, permite conocer la estacionalidad de estos caudales mínimos.
- ▶ **PATRÓN PARA AVENIDAS:** Al igual que en sequías, este patrón busca los eventos extremos, con independencia del tipo de año en el que se producen. En la tabla nº1 se incluyen las avenidas de conectividad (Q CONEC) con la llanura de inundación como un elemento a considerar en la generación de escenarios de RAC. En este trabajo no se aborda su cuantificación, porque se trata de avenidas de gran magnitud que sólo pueden recomendarse después de haber verificado con los modelos hidráulicos, del terreno y de ocupación, que no generan situaciones de riesgo sobre personas y/o bienes (para su cálculo se remite a Martínez y Fernández Yuste, 2010a). Sí se analizarán las avenidas biológicas (limpieza del lecho; llamada para fases reproductivas...) y geomorfológicas (responsables de la geometría del cauce). Las variables del RN a considerar son:
 - ▶ Curva de caudales diarios clasificados: se determina el caudal que es igualado o superado, como promedio, el 5% de los días del año -Q5%-. Ese caudal se asume representativo de las condiciones de avenidas biológicas.
 - ▶ Caudal de la máxima crecida ordinaria (QMCO): con la media y la desviación típica de la serie de caudales máximos diarios anuales se calcula con la expresión recomendada por el MIMAM (2003). Ese caudal, que se utiliza, entre otros criterios, para definir el Dominio Público Hidráulico, puede asimilarse con el caudal de "bankfull" término empleado en geomorfología fluvial para valorar las avenidas geomorfológicas. En este trabajo, para denominarlo se utiliza "caudal generador del lecho" (QGL).

2.1 Generación de escenarios de RAC

Con las referencias establecidas a partir del RN hay que formular los protocolos para generar escenarios de RAC. Estos escenarios tratarán de reproducir los comportamientos del RN, necesariamente escalados a la baja. Como instrumentos para este fin, esta metodología permite al usuario "jugar" con dos tipos de escalado:

- ▶ Escalado de la variabilidad intranual. El factor de variabilidad en el régimen ambiental F^{RAC} se calcula para cada mes y tipo de año, estando definido como una función potencial del factor de variabilidad natural (F^{NAT}).

$$F_{mes\ i}^{RAC} = (F_{mes\ i}^{NAT})^{1/m} \text{ con } m > 1$$

La función potencial considerada aplica un factor de reducción que no es constante a lo largo del año: la reducción de caudales para un mes dado es tanto más intensa cuanto mayor es la diferencia entre la aportación del mes considerado y la del mes de mínima aportación. A su vez esa reducción es tanto mayor cuanto mayor es "m", y menor, por tanto, el exponente. El exponente 1/m introducido en este trabajo puede considerarse una generalización del propuesto por Palau (1998), que asume m=constante=2. Ello permite disponer de un abanico muy amplio de escenarios de patrones para regímenes ambientales.

- ▶ Escalado de los mínimos. La metodología propuesta para mantener la variabilidad intranual implica que, sea cual sea el escenario considerado, para el mes más seco, y para los tres tipos de año, se cumple $F_{\text{mes más seco}}^{\text{NAT}} = F_{\text{mes más seco}}^{\text{RAC}} = 1$, con independencia del valor de m. Eso supone que en el RAC la aportación del mes más seco será igual a la que se tome como referencia para caracterizar el mes más seco del RN. Si se utilizan los valores que aporta el informe nº2 de IAHRIS, la aportación del mes más seco, para los tres tipos de año, es la mediana de los valores registrados: $AP_{\text{min}}^{\text{NAT}}$. Mantener ese valor en el RAC puede resultar un criterio demasiado rígido. Para permitir utilizar en el RAC otro valor de aportación mínima que no se corresponda con la mediana, se ha considerado la opción del escalado de la aportación mensual mínima o escalado de los mínimos. Para ese escalado, el informe nº9 de IAHRIS permite introducir un factor de minoración K, de tal forma que:

$$[AP_{\text{min}}^{\text{RAC}}] = K * (AP_{\text{min}}^{\text{NAT}}) \text{ con } K \leq 1$$

En dicho informe, el usuario puede seleccionar valores de m y K para cada tipo de año. La hoja de cálculo actualiza las aportaciones en RAC que corresponden a los valores seleccionados, cuantifica la demanda correspondiente a ese escenario (en esa cuantificación no se tienen en cuenta las avenidas, ya que su número y magnitud pueden variar considerablemente de un año a otro), y ofrece unos gráficos del RAC y del RN.

A la versatilidad para generar escenarios para las aportaciones mensuales, hay que añadir las que la metodología ofrece para las avenidas y las sequías. En las avenidas, se establece una recomendación para que en el RAC, la reducción de los caudales de los tres tipos de avenidas consideradas esté acotada:

- ▶ $QGL^{\text{RAC}} \leq 0,64 * QGL^{\text{NAT}}$
- ▶ $QCONEC^{\text{RAC}} \leq 0,64 * QCONEC^{\text{NAT}}$
- ▶ $AV_{\text{HAB}}^{\text{RAC}}$ tal que se mantenga la proporción observada en RN entre la avenida habitual y el caudal medio diario del mes considerado.

En cuanto a la estacionalidad, el gestor tiene un rango amplio para aplicarlas, dentro de los meses en los que de manera natural se presentan las avenidas; la información que facilita IAHRIS (Informe nº 4) con los meses en los que aparecen un número notable de días con avenidas será la referencia a considerar.

Respecto a la frecuencia, todos los años, con uno o varios episodios, deberá aplicar avenidas de limpieza, acomodándose al régimen de avenidas que de manera natural presente ese año. La frecuencia de las avenidas generadoras de lecho y de conectividad viene determinada por su período de retorno; el gestor deberá aplicarlas, como promedio, con esa frecuencia. Es importante señalar que el período de retorno es un promedio, y que no implica una periodicidad exacta. Será el régimen de avenidas de cada año el que aconseje al gestor la conveniencia de dotar al ecosistema con una avenida generadora de lecho y/o de conectividad, o ninguna, si en el RN de ese año no aparecen.

Para las sequías, la metodología permite establecer un escalado del mínimo para situaciones extremas, por ejemplo seleccionando 10Q10 (caudal mínimo en 10 días consecutivos para un período de retorno de 10 años) para estimar la aportación del mes más seco del año seco del RAC $[AP_{\text{min}}^{\text{RAC}}]_{\text{SECO}}$ y obtener el valor de Kseco correspondiente. Así se puede generar un escenario RAC para años singularmente secos, que el gestor puede aplicar cuando los criterios de sequía prologada así lo aconsejen.

2.2 Implementación

Para que el escenario RAC finalmente elegido sea aplicable en tiempo real, es necesario disponer de un criterio que permita al gestor asignar el caudal ambiental que corresponda. La metodología propuesta permite asignar una aportación RAC al mes i+1 a partir de las aportaciones mensuales naturales acumuladas en el año hidrológico hasta el mes i. Por limitaciones de espacio en este documento no se describe el protocolo de implementación y se remite a Martínez y Fernández Yuste (2010b)

3. APLICACIÓN AL RÍO CABRIEL

3.1 Datos

El río Cabriel es el principal afluente del Júcar. La metodología descrita anteriormente se aplica al tramo inmediato aguas abajo del embalse de Contreras. Las series de referencia utilizadas son las correspondientes al período 80/81 a 05/06, ya que será este período el que preferi-

blemente se utilice en la redacción del futuro Plan de Cuenca. El RN circulante aguas arriba del embalse se obtiene como suma del registrado en las estaciones de aforo 8092 Camporobles, 8139 Villora, 8140 Paracuellos y 8141 Villora-Martín, que registran los caudales que llegan al embalse de los ríos Cabriel, Guadazaón, Ojos de Moya y San Martín. En los cuatro casos no hay aguas arriba ninguna infraestructura de regulación que altere el régimen, por lo que los registros de estas estaciones corresponden a RN.

3.2 Resultados

Los resultados numéricos aportados en los distintos epígrafes deben ser interpretados como umbrales a respetar –preferentemente el protocolo propuesto define valores mínimos a salvaguardar-. A partir de estos umbrales, el gestor dispone de total flexibilidad para compatibilizar requerimientos ambientales con demandas de distinta tipología.

3.2.1 Escenarios generados

Los escenarios que pueden generarse aplicando una o varias de las hipótesis antes presentadas son múltiples. En este trabajo se han generado seis escenarios (tabla nº2), cuya elección se justifica a continuación:

SIN VARIABILIDAD INTRA E INTERANUAL	Escenarios E1 y E2		
CON VARIABILIDAD INTRA E INTERANUAL			
HIPÓTESIS PARA ESCALADO VARIABILIDAD INTERANUAL	HIPÓTESIS PARA ESCALADO VARIABILIDAD INTRANUAL		
	mH,M,S=1	mH,M,S=2	mH=4; mM=3; mS=2
$[Q_{\min}^{\text{RAC}}]_{\text{SECO}} = Q_{\text{smin}}$	Escenario E3		
$[Q_{\min}^{\text{RAC}}]_{\text{SECO}} = Q_{\text{s15Dmin}}$	Escenario E4	Escenario E5	Escenario E6

Tabla nº2. Escenarios simulados. m= factor para el escalado de la variabilidad intranual. H= año húmedo; M= año medio ;S=año seco.

- ▶ Escenarios E1 y E2 : Hipótesis Q_{smin} y Q_{s15Dmin} constantes respectivamente. Se asume un caudal constante, a lo largo del año y durante todos los años. El RAC no contempla ni variabilidad interanual –no considera años húmedos, medios y secos- ni intranual.

Estas hipótesis presentan situaciones extremas. Sus aportaciones anuales requeridas, permiten fijar unos umbrales entre los que debe situarse la demanda ambiental mínima *minimorum* a satisfacer. Cualquier RAC que se establezca, sea con criterios hidrológicos, biológicos o mixtos, requerirá aportaciones anuales superiores, si se le quiere dotar de variabilidad inter e intra anual. Ambos escenarios no son referencias ambientales, ya que asumir un caudal constante a lo largo del año y con valores mínimos extremos registrados en el RN no salvaguarda la integridad de ningún aspecto del ecosistema fluvial. Se plantean para ofrecer unos umbrales de la aportación ambiental mínima que debe considerarse. Cualquier RAC que quiera ser consecuente con su denominación, deberá reservar una aportación anual superior a esos umbrales, y conviene conocer esos valores para aportarlos como punto de partida incuestionable para cualquier proceso de concertación.

- ▶ Escenario E3: combina la hipótesis más restrictiva de escalado de la variabilidad interanual con la que no altera la intranual. Es importante hacer notar que aunque en el mes más seco del año tipo seco asume un caudal mínimo extremo, durante el resto de meses, y para todos los tipos de años, ofrece caudales mayores que ese mínimo absoluto, y con una variabilidad análoga a la natural.

Los escenarios restantes son todos menos exigentes en cuanto al escalado de la variabilidad interanual, ya que como umbral de caudal mínimo contemplan Q_{s15Dmin} , sensiblemente superior al considerando en E1 y E3. El Escenario E4 mantiene el patrón de variabilidad intranual natural; E5 aplica un criterio más restrictivo ($m=2$), análogo al que se utiliza en el método de Palau. E6 asume valores de "m" distintos según el tipo de año, con reducción del factor de variabilidad mayor en los húmedos ($m=4$), moderada en los medios ($m=3$), y más baja en los secos ($m=2$).

3.2.2 Aportaciones anuales y mensuales requeridas por cada escenario

En la tabla nº3 se presentan las aportaciones anuales requeridas en cada escenario y para cada tipo de año, así como para el año ponderado (AP año ponderado = 0,5AP año medio +0,25 (AP año seco +AP año húmedo).

En la tabla nº 4 se recogen las aportaciones mensuales para el año medio en los seis escenarios simulados

Escenario	Régimen	Tipo de año			
		Húmedo	Medio	Seco	Ponderado
	Natural	488	251,1	143,7	283,5
E1	RAC	17,3	17,3	17,3	17,3
	%	3,4	6,9	12	6,1
E2	RAC	38,6	38,6	38,6	38,6
	%	7,6	15,4	26,8	13,5
E3	RAC	87,8	45,2	25,9	51,0
	%	18	18	18	18
E4	RAC	195,7	100,7	57,6	113,7
	%	40,1	40,1	40,1	40,1
E5	RAC	140,8	81,6	46,8	87,7
	%	28,8	32,5	32,6	30,9
E6	RAC	121,1	76,4	46,8	80,2
	%	24,8	30,4	32,6	28,3

Tabla n°3. Aportaciones anuales (hm³) correspondientes a los escenarios simulados. Como referente se presentan los valores correspondientes al régimen natural.

mes	Régimen natural	Escenario					
		E1	E2	E3	E4	E5	E6
octubre	6,2	0,5	1,2	1,1	2,5	2,3	2,2
noviembre	6,9	0,5	1,2	1,2	2,8	2,4	2,3
diciembre	7,6	0,5	1,2	1,4	3,1	2,5	2,4
enero	7,9	0,5	1,2	1,4	3,2	2,6	2,4
febrero	9,3	0,5	1,2	1,7	3,7	2,9	2,7
marzo	10,8	0,5	1,2	1,9	4,3	3,0	2,7
abril	11,7	0,5	1,2	2,1	4,7	3,2	2,8
mayo	11,0	0,5	1,2	2,0	4,4	3,0	2,7
junio	7,6	0,5	1,2	1,4	3,1	2,6	2,4
julio	5,9	0,5	1,2	1,1	2,4	2,2	2,2
agosto	5,2	0,5	1,2	0,9	2,1	2,1	2,1
septiembre	5,5	0,5	1,2	1,0	2,2	2,2	2,2

Tabla n°4. Aportaciones mensuales (hm³) correspondientes a los escenarios simulados. Como referente se presentan los valores correspondientes al régimen natural.

3.3 Avenidas y sequías en los escenarios considerados

Para todos los escenarios, salvo E1 y E2, el RAC plantea las mismas recomendaciones para avenidas y sequías:

- ▶ Estacionalidad: tanto para avenidas como para sequías el gestor debe mantenerse dentro de las pautas naturales (Informe n° 4 de IAHRIS) que se ponen de manifiesto en la distribución mensual del n° medio de días con $Q < 95\%$ y $Q > 5\%$. Hay, por tanto, un rango amplio que ofrece una flexibilidad importante. En el caso de las avenidas, se prestará especial atención a la estacionalidad de las biológicas, considerando singularmente las fechas más adecuadas en función de los ciclos biológicos y necesidades de las especies objetivo de la ictiofauna.
- ▶ Magnitud y duración para las sequías: quedan definidas, para las situaciones habituales, con la hipótesis de RAC considerada. Para situaciones extremas, el gestor puede llegar a mantener durante siete días consecutivos el mínimo valor observado en RN $-Q_{s7Dmin} = 1,1 \text{ m}^3/\text{s}$.
- ▶ Magnitud, duración y frecuencia para las avenidas: en geomorfológicas se propone a los gestores considerar magnitudes del $QGL^{RAC} > 0,64 \bullet QGL^{NAT} = 0,64 \bullet 54,7 = 35 \text{ m}^3/\text{s}$. Caudales de ese orden de magnitud y superiores deberían estar circulando por el río, al menos, entre uno y dos días consecutivos, con una frecuencia entre 2 y 3 años (el período de retorno para QGL^{NAT} es de 2,8 años).

En avenidas biológicas -un umbral a considerar podría ser el $Q_{10\%}^{NAT}$ de la curva de caudales diarios anuales clasificados (Informe n° 6 de IAHRIS) -aquel que es superado, como promedio- sólo el 10% de los días del año-. Atendiendo a estos valores, se propone a los gestores considerar magnitudes del caudal para avenidas biológicas $Q_{biol}^{RAC} > Q_{10\%}^{NAT} = 15,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Caudales iguales o mayores deberán estar circulando, al menos, entre dos y tres días consecutivos y con una media de cinco o seis episodios al año, para así presentar una frecuencia similar al $Q_{5\%}^{NAT}$ (en promedio 18 días al año).

3.2.4. Implementación, demanda ambiental y valoración ambiental de los escenarios

Los escenarios propuestos se implementaron durante el período 1980/81-2005/06. La figura n° 1 muestra el resultado de esa simulación para los Escenarios 1 y 4 respectivamente.

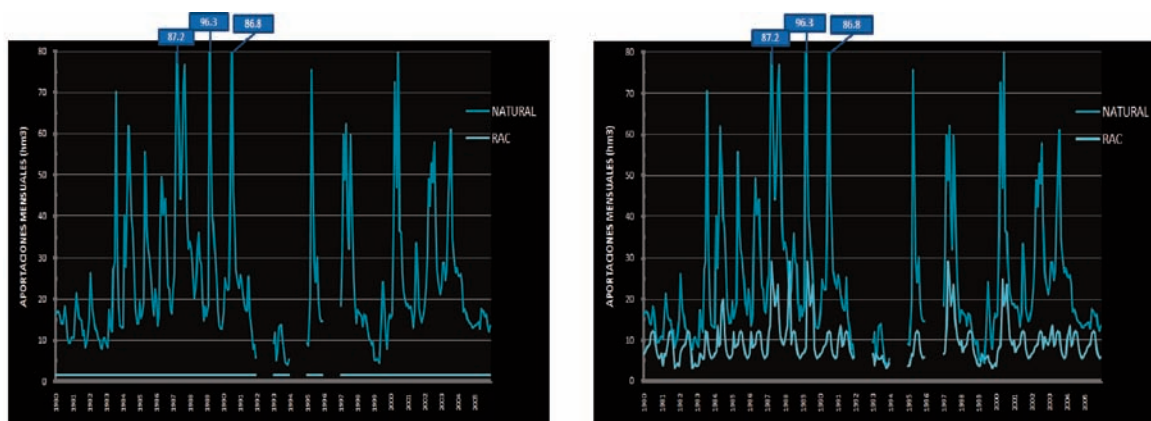


Figura n°1. Aportaciones mensuales para el escenario 1 y 4 en el periodo de simulación.

En la tabla n° 5 se presentan los valores medios de aportación anual que para la simulación realizada cada escenario requiere y el valor del índice de demanda ambiental (IDA= Aportación anual media requerida por el escenario para el período simulado/ Aportación anual media correspondiente al régimen natural)* 100.

Por último y utilizando las aportaciones mensuales del RAC en el período simulado se ha calculado el índice de Alteración Global (IAG) para cada escenario. Este índice (Martínez y Fernández Yuste, 2010a) evalúa la alteración como el cambio que el régimen ambiental supone respecto al natural. Valores del índice próximos a 1 implican ausencia de alteración, reflejando el valor 0 la alteración máxima.

Integrando la información obtenida para los escenarios considerados, se presenta la figura n°2. Se muestra, para cada escenario, sus Índices de Demanda Ambiental y de Alteración Hidrológica Global (IAG). Esta figura permite tener una idea conjunta de las mejoras que, en lo que a valores habituales de caudales se refiere, se consigue con los distintos escenarios, y el volumen anual requerido para su implementación.

	Régimen natural	Escenario					
		E1	E2	E3	E4	E5	E6
Demanda ambiental (hm ³ /año)	236,9	17,3	38,6	50,72	113,0	88,1	80,8
Índice de demanda ambiental (%)	100	7,3	16,3	19,3	43,0	33,9	31,6
Valoración ambiental	1	0,01 Muy deficiente	0,02 Muy deficiente	0,09 Deficiente	0,25 Moderado	0,19 Moderado	0,17 Moderado

Tabla n°5. Demanda y valoración ambiental de cada escenario en el periodo simulado.

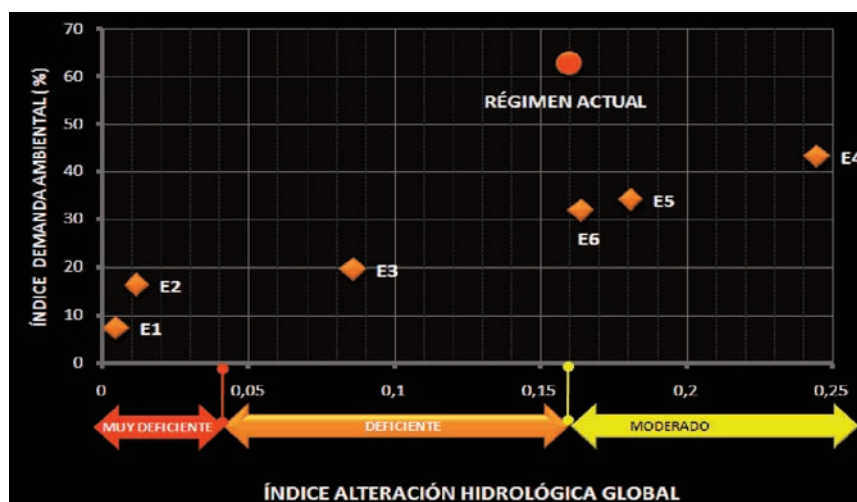


Figura n°2. Índices de Alteración Global y de demanda ambiental para los escenarios simulados.

4. CONCLUSIONES

El régimen alterado que tiene el río Cabriel aguas abajo de Contreras presenta tres alteraciones fundamentales: 1)El río se utiliza como canal, y los caudales circulantes responden a las demandas a satisfacer. 2) Se laminan las avenidas correspondientes a periodos de retorno moderados y altos, mientras que los caudales de las avenidas habituales de alta frecuencia apenas cambian. Sin embargo, si se ve muy afectada la estacionalidad de las avenidas habituales. 3) Las sequías habituales sufren una reducción muy significativa en su magnitud. Además, la estacionalidad se altera drásticamente, y las sequías se mantienen durante un período muy amplio, desde octubre hasta marzo.

El incremento en el número de días consecutivos con sequía es espectacular, pasando de 21 a 185 días (un 880%). Estas alteraciones en los patrones naturales de las sequías en magnitud, estacionalidad y duración, es difícilmente compatible con la integridad del ecosistema fluvial. A la vista de esta síntesis, es inmediato plantearse la siguiente cuestión: ¿Qué pueden hacer los escenarios analizados frente a estas tres alteraciones?.

Respecto a la primera, y mientras el río se utilice como canal para la distribución de los recursos regulados, el ecosistema seguirá soportando una alteración completa de la estacionalidad de los caudales. Ninguno de los escenarios, que siempre consideran una variabilidad estacional similar a la natural, será aplicable. Sin embargo sí hay posibilidades de mejorar las otras dos alteraciones. Para las avenidas el principal aspecto a mejorar es la estacionalidad de las avenidas habituales, en consonancia con las naturales. La pauta propuesta - $Q_{biol}(RAC) > Q_{10\%}(NAT) = 15,1 m^3/s$, con caudales iguales o mayores, circulando, al menos, entre dos y tres días consecutivos, y con una media de cinco o seis episodios al año-debe aplicarse en los períodos más adecuados para las especies autóctonas más significativas del tramo, y siempre entre diciembre y mayo. Para paliar las sequías habituales artificiales y para los meses de octubre a marzo, se podrían aplicar patrones de caudales al menos como los del escenario E6. En años medios este escenario se sitúa en valores del orden de magnitud del caudal que caracteriza la media de los mínimos anuales en régimen natural ($2,41 m^3/s$) y el doble del $Q_{s15DminNAT}$ ($1,2 m^3/s$); además, introduce variabilidad según el patrón natural, atenuada con un factor moderado ($m=2$) para los años secos, más alto para los húmedos ($m=4$) e intermedio para los años medios ($m=3$). Estos umbrales deberían validarse con modelización del hábitat para las especies objetivo del tramo.

Bibliografía

- Arthington, A.H (2002): Environmental flows: ecological importance, methods and lessons from Australia. Mekong Dialogue Workshop. International transfer of river basin development.
- DPIPWE (2010). Tasmanian Environmental Flows (TEFlows) Project Technical Report. Water Assessment Aquatic Ecology Report Series, Report No. WA 09/10. Water and Marine Resources Division. Department of Primary Industries, Parks, Water and Environment, Hobart, Tasmania.
- Instrucción de Planificación Hidrológica (2008). Boletín Oficial del Estado núm. 229 de 22 de septiembre de 2008: 38472-38582.
- Martínez C. y Fernández Yuste J.A. (2010a): IAHRIS Índices de Alteración Hidrológica en Ríos. Versión 2.2. Manual de usuario y Manual de referencias metodológicas. http://www.ecogesfor.org/IAHRIS_es.html
- Martínez C. y Fernández Yuste J.A (2010b): Régimen ambiental de caudales: Manual de referencia. http://www.ecogesfor.org/IAHRIS_es.html
- MIMAM, Ministerio de Medio Ambiente (2003): La delimitación del Dominio Público Hidráulico y de sus zonas inundables. El Proyecto Linde. Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad del Agua.
- Naiman, R.J., Bunn, S.E., Nilsson C., Petts G.E., Pyinay G. Y Thompsom L.C. (2002): "Legitimizing Fluvial Ecosystems as Users of Water: An Overview" *Environmental Management* Vol. 30, No.4, pp.455-467.
- Nilsson y Svedmark (2002): "Basic principles and ecological consequences of changing water regimes: riparian plant communities". *Environmental Management* Vol. 30, No. 4, pp. 468-480.
- Palau A. (1998): El caudal básico. Método para la gestión hidrobiológica de ríos regulados, Madrid, CEDEX.
- Poff N.L., Allan J.D., Bain M.B., Karr J.R., Prestegard K.L., Richter B.D. Sparks R.E. Y Stromberg C. (1997): "The Natural Flow Regime. A paradigm for river conservation and restoration" *BioScience* Vol. 47 No.11
- Strange E.M., Fausch K.D. y Covich A.P. (1999): "Sustaining Ecosystem Services in Human-Dominated Watersheds: Biohydrology and Ecosystem Processes in the South Platte River Basin". *Environmental Management* Vol. 24, No. 1, pp.39-54.