

# APLICACIÓN DEL SOFTWARE IAHRIS (ÍNDICES DE ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN RÍOS) A UN TRAMO REGULADO: RÍO CABRIEL AGUAS ABAJO DEL EMBALSE DE CONTRERAS

José Antonio Fernández Yuste y Carolina Martínez Santa-María

Departamento de Ingeniería Forestal. Escuela Universitaria de Ingeniería Forestal. Universidad Politécnica de Madrid. 28040-MADRID (España) Correo electrónico: [tasio.fyuste@upm.es](mailto:tasio.fyuste@upm.es); [carolina.martinez@upm.es](mailto:carolina.martinez@upm.es)

## Resumen

Índices de Alteración Hidrológica en RÍOS (IAHRIS) es una aplicación informática que permite obtener: 1. Parámetros con los que caracterizar el régimen hidrológico, tanto natural como alterado, en un punto de un río. Estos parámetros valoran aspectos del régimen de caudales con marcada trascendencia ambiental (magnitud, variabilidad, estacionalidad y duración). En su definición ha sido objetivo prioritario el intentar reflejar las peculiaridades de los regímenes mediterráneos. 2. Si el usuario facilita datos del régimen natural y de cualquier otro régimen posible para el mismo punto o tramo (régimen alterado, ambiental, propuesta de gestión, etc.) la aplicación calcula, además, unos índices que permiten valorar el grado de alteración del régimen hidrológico respecto a la situación natural. Estos índices de alteración han sido definidos atendiendo a las recomendaciones del CIS-WDF (2003) para los Ecological Quality Ratios. Esta metodología se ha aplicado al río Cabriel aguas abajo del embalse de Contreras detectándose como alteraciones más importantes una inversión total en las pautas estacionales a nivel mensual y graves alteraciones en múltiples aspectos de los caudales más bajos.

Palabras clave: *Informática, Régimen de caudales, Alteración hidrológica, Río Cabriel*

## INTRODUCCIÓN

### *¿Por qué evaluar la alteración en el régimen de caudales?*

Se puede contestar a esta pregunta considerando tres puntos de vista: legal, científico y de gestión.

Desde el punto de vista legal, es necesario evaluar la alteración del régimen de caudales porque así lo establece la Directiva Marco del Agua (DMA). Esta Directiva plantea como objetivo prioritario que la gestión de los recursos hídricos debe alcanzar el buen estado eco-

lógico de los ecosistemas vinculados. Para conseguir este objetivo es necesario disponer de protocolos que permitan conocer de manera objetiva y eficiente el estado ecológico de los ríos, y la DMA, en su anejo V, cita expresamente al régimen hidrológico como componente a estudiar.

Desde una óptica científica, la trascendencia del régimen de caudales como elemento articulador y vertebrador del ecosistema fluvial es incuestionable (RICHTER et al., 1998; ARTHINGTON, 1997; POFF et al., 1997): el éxito en la conservación de la biodiversidad y funcionalidad

dad de nuestros ríos depende de nuestra capacidad de conocer, proteger y/o restaurar los principales aspectos del régimen natural de caudales.

Para los responsables públicos de la gestión de los ríos, es necesario conocer en qué situación se encuentran los aspectos del régimen de caudales más relevantes desde el punto de vista ambiental. Sólo desde ese conocimiento es posible formular diagnósticos adecuados sobre los que cimentar políticas de uso y gestión que permitan avanzar hacia el objetivo del “buen estado ecológico”. También para las masas de agua que puedan resultar calificadas como “fuertemente modificadas”, es necesario caracterizar tanto la situación que actualmente presenta su régimen de caudales como el óptimo potencial hidrológico compatible con los condicionantes que obliguen a asignar esa condición.

IAHRIS v2.2. es un software gratuito, disponible en [http://www.ecogesfor.org/IAHRIS\\_es.html](http://www.ecogesfor.org/IAHRIS_es.html) que caracteriza el régimen de caudales y evalúa para una situación no natural el grado de alteración hidrológica (MARTÍNEZ Y FERNÁNDEZ YUSTE, 2010a,b). También permite asignar la condición de masa de agua muy alterada según criterios objetivos basados en los resultados obtenidos con los índices de alteración hidrológica (MARTÍNEZ Y FERNÁNDEZ YUSTE, 2010c). Por último, IAHRIS permite definir a nivel mensual escenarios de regímenes ambientales siguiendo la metodología RAC (FERNÁNDEZ YUSTE Y MARTÍNEZ, 2010).

## OBJETIVOS

El objetivo de la presente comunicación es dar a conocer los fundamentos, el alcance y las utilidades de IAHRIS respecto a dos líneas de trabajo fundamentales:

1. Caracterizar los aspectos ambientalmente más relevantes del régimen natural de caudales y así establecer condiciones de referencia hidrológicas, de especial interés si trabajamos en tramos singulares. Conocer ese estado de referencia permitirá saber qué régimen debemos preservar, tanto en sus aspectos cuantitativos como cualitativos, para garantizar la integridad del ecosistema,

y articular, en torno a esos valores y referencias, criterios de uso sostenible de los recursos hídricos.

2. Evaluar la alteración existente en el régimen hidrológico natural como consecuencia de infraestructuras hidráulicas. La caracterización cuantitativa y cualitativa de esa alteración aportará una valiosa información que, junto con la obtenida por otros indicadores de calidad, permitirá establecer un diagnóstico del estado ecológico de dicha masa de agua.

## ¿CÓMO CARACTERIZAR EL RÉGIMEN DE CAUDALES EN SUS ASPECTOS AMBIENTALMENTE MÁS SIGNIFICATIVOS?

El paradigma del régimen de caudales (POFF *et al.*, 1997) indica los principales aspectos del mismo que poseen una mayor significación ambiental: magnitud, frecuencia, estacionalidad, duración y tasas de cambio.

En el ámbito científico está ampliamente aceptado la estrecha relación existente entre cada uno de esos aspectos y distintas cualidades ambientales (SVENDSEN *et al.*, 2009; SMALL *et al.*, 2009; HANRAHAN, 2008; ARTHINGTON *et al.*, 2006; HENRIKSEN *et al.*, 2006; BUNN & ARTHINGTON, 2002; RICHTER & RICHTER, 2000; RICHTER *et al.*, 1997). Así, la magnitud de los caudales determina la disponibilidad general de agua en el ecosistema. Su variabilidad es uno de los condicionantes de la dinámica geomorfológica y ecológica, y un factor clave de la biodiversidad. La duración de los distintos eventos es una característica especialmente relevante en situaciones extremas, avenidas y sequías, y está íntimamente ligada a los umbrales de resiliencia de las especies. La estacionalidad condiciona la sincronía de los ciclos vitales de los organismos vinculados al ecosistema fluvial. Por último, las tasas de cambio son umbrales a los que deben acomodar su capacidad de respuesta las especies que viven en el río.

En IAHRIS, el proceso de caracterización contempla esos cinco aspectos, atendiendo tanto a los valores medios o habituales –determinantes de la disponibilidad general de agua

en el ecosistema—, como a los valores extremos —avenidas y sequías—, al definir éstos las condiciones más críticas que soporta el ecosistema. Además, para los valores habituales se estudian por separado los años húmedos, medios y secos, caracterizando así la variabilidad inter e intranual, rasgo identificativo de los regímenes del ámbito mediterráneo.

La Tabla 1 resume, para cada componente del régimen, los aspectos considerados y el parámetro propuesto para su caracterización. La justificación de los mismos junto a las variables implicadas y el proceso de cálculo puede consultarse en MARTÍNEZ Y FERNÁNDEZ YUSTE (2010b, 2006).

Esta caracterización puede realizarse para cualquier régimen del que se disponga de información suficiente, ya sea natural o alterado (bien como resultado real de un aprovechamiento y/o regulación o resultado de una simulación como respuesta a distintos escenarios de gestión).

### ¿CÓMO CUANTIFICAR LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA QUE SUPONE LA CIRCULACIÓN DE UN RÉGIMEN DISTINTO DEL NATURAL?

Para la evaluación de la alteración hidrológica se utilizan los Índices de Alteración Hidrológica (IAH) recogidos en la Tabla 2 y cuyo proceso de cálculo puede consultarse en MARTÍNEZ Y FERNÁNDEZ YUSTE (2010b).

En la definición de los mismos se han seguido las recomendaciones del CIS-WDF (2003) referentes a los Ecological Quality Ratios (EQR). Es por ello que la mayoría de los índices propuestos se calculan como cociente entre el valor del parámetro en régimen alterado y el valor en régimen natural.

Se proponen un total de 21 índices (6 para valores habituales, 8 para avenidas y 7 para sequías). Todos ellos, para homogeneizar y facilitar su interpretación, presentan valores

ASPECTO	PARÁMETRO	
<b>VALORES HABITUALES</b>	magnitud y variabilidad interanual	Media de las aportaciones anuales por tipo de año (húmedo, medio, seco y año ponderado)
	magnitud y variabilidad intranual	Para cada tipo de año, mediana de las aportaciones mensuales
	variabilidad extrema	Para cada tipo de año, diferencia entre la aportación máxima y mínima mensual
	variabilidad en caudales diarios	Diferencia entre los caudales medios diarios correspondientes a los percentiles de excedencia del 10% y 90%
	estacionalidad	Para cada tipo de año, mes de máxima y mínima aportación
<b>AVENIDAS</b>	magnitud y frecuencia	Media de los máximos caudales diarios anuales ( $Q_c$ ) Caudal generador del lecho ( $Q_{GL}$ ) Caudal de conectividad con la llanura de inundación Caudal de limpieza o de la avenida habitual ( $Q_{5\%}$ )
	variabilidad	Coeficiente de variación de $Q_c$ y del $Q_{5\%}$
	duración	Máximo nº de días consecutivos al año con $q > Q_{5\%}$
	estacionalidad	Para cada mes, nº medio de días con $q > Q_{5\%}$
<b>SEQUIÁS</b>	magnitud y frecuencia	Media de los mínimos caudales diarios anuales ( $Q_s$ ) Caudal de la sequía habitual ( $Q_{95\%}$ )
	variabilidad	Coeficiente de variación de $Q_s$ y de $Q_{95\%}$
	duración	Máximo nº de días consecutivos al año con $q < Q_{95\%}$ Para cada mes, nº medio de días con $q = 0$
	estacionalidad	Para cada mes, nº medio de días con $q < Q_{95\%}$

**Tabla 1.** Parámetros propuestos en la caracterización del régimen de caudales ( $q$ = caudal medio diario)

<b>IAH 1</b>	Magnitud de las aportaciones anuales
<b>IAH 2</b>	Magnitud de las aportaciones mensuales
<b>IAH 3</b>	Variabilidad habitual
<b>IAH 4</b>	Variabilidad extrema
<b>IAH 5</b>	Estacionalidad de máximos
<b>IAH 6</b>	Estacionalidad de mínimos
<b>IAH 7</b>	Magnitud de las avenidas máximas
<b>IAH 8</b>	Magnitud del Caudal Generador del Lecho
<b>IAH 9</b>	Frecuencia del Caudal de conectividad
<b>IAH 10</b>	Magnitud de las avenidas habituales
<b>IAH 11</b>	Variabilidad de las avenidas máximas
<b>IAH 12</b>	Variabilidad de las avenidas habituales
<b>IAH 13</b>	Duración de avenidas
<b>IAH 14</b>	Estacionalidad de avenidas (12 valores, uno para cada mes)
<b>IAH 15</b>	Magnitud de las sequías extremas
<b>IAH 16</b>	Magnitud de las sequías habituales
<b>IAH 17</b>	Variabilidad de las sequías extremas
<b>IAH 18</b>	Variabilidad de las sequías habituales
<b>IAH 19</b>	Duración de sequías
<b>IAH 20</b>	Nº de días con caudal nulo (12 valores, uno para cada mes)
<b>IAH 21</b>	Estacionalidad de sequías (12 valores, uno para cada mes)

**Tabla 2.** Índices de Alteración Hidrológica

acotados entre 1 y 0, siendo el uno indicativo de ausencia de alteración y el cero de alteración máxima. Se establecen además cinco niveles o grados de alteración (I a V) distribuidos linealmente en ese rango, con colores asignados siguiendo las pautas observadas en los EQR (Figura 1).

**¿QUÉ DATOS SON NECESARIOS EN IAHRIS Y QUÉ RESULTADOS SE OBTIENEN?**

**Datos necesarios**

La aplicación se ha diseñado de manera que sólo genera resultados si el usuario suministra, como mínimo, quince años completos de registros, ya sean caudales diarios, ya sean aportaciones mensuales. Se ha establecido ese umbral entendiendo que son necesarios al menos quince años para poder asegurar un mínimo de información con la que poder obtener conclusiones razonablemente aceptables relacionadas con la variabilidad y con los valores extremos.

- Los datos se agrupan en dos tipos:
- i) Serie en régimen NATURAL: Contiene registros correspondientes al régimen natural de caudales. En cada punto de análisis sólo es posible aportar a la aplicación un máximo de dos series, una con aportaciones mensuales y otra con caudales diarios.
  - ii) Serie en régimen ALTERADO: Contiene registros correspondientes a un régimen distinto del natural

La aplicación admite en cada punto de análisis tantos regímenes alterados como el usuario quiera analizar, aportando para cada uno de esos regímenes un máximo de dos series, una con aportaciones mensuales y otra con caudales diarios.

**Resultados obtenidos**

El tipo de información suministrada a la aplicación determina los resultados obtenidos (MARTÍNEZ Y FERNÁNDEZ YUSTE, 2010a). En particular, esos resultados dependen de la periodicidad de los registros –diario o mensual–, y de si los datos de los regímenes natural y alterado que se comparan son o no coetáneos.

<b>Nivel I</b> <b>0,8 &lt; IAH ≤ 1</b>	<b>Nivel II</b> <b>0,6 &lt; IAH ≤ 0,8</b>	<b>Nivel III</b> <b>0,4 &lt; IAH ≤ 0,6</b>	<b>Nivel IV</b> <b>0,2 &lt; IAH ≤ 0,4</b>	<b>NIVEL V</b> <b>0 ≤ IAH ≤ 0,2</b>
---	--	---	--	--

**Figura 1.** Niveles de alteración definidos según el valor de los Índices de Alteración Hidrológica (IAH)

Cuando en un punto de cálculo se aporta la información más completa –series de caudales diarios en régimen natural y alterado, siendo los registros coetáneos–, la aplicación facilita:

*Para la caracterización del régimen natural:*

- Variabilidad interanual, clasificando los años en húmedos, medios o secos según su aportación anual esté en el cuartil que corresponde a los valores más altos –húmedos–, en el cuartil de los más bajos –secos– o en los dos intermedios –medios–.
- Variabilidad intranual. Para los años que entran en cada tipo –húmedo, medio, seco– calcula la aportación mensual mediana que corresponde a cada mes.
- 19 parámetros (variables que, numéricamente, permiten caracterizar los aspectos de mayor trascendencia ambiental del régimen de caudales): 4 para la caracterización de los valores habituales del régimen, 8 para la caracterización de las avenidas, 7 para la caracterización de las sequías.
- Curva media de caudales clasificados.

*Para la caracterización del régimen alterado:*

- Variabilidad intranual. Para los años que entran en cada tipo –húmedo, medio, seco, según el criterio obtenido con el régimen natural– pero con los registros correspondientes al régimen alterado, calcula la aportación mensual mediana que corresponde a cada mes.
- 19 parámetros (variables que, numéricamente, permiten caracterizar los aspectos de mayor trascendencia ambiental del régimen de caudales): 4 para la caracterización de los valores habituales del régimen; 8 para la caracterización de las avenidas, 7 para la caracterización de las sequías.
- Curva media de caudales clasificados.

*Para la evaluación de la alteración:*

- 21 índices individuales –cada uno evalúa la alteración de un parámetro–: 6 para la caracterización de los valores habituales del régimen; 8 para la caracterización de las avenidas y 7 para la caracterización de las sequías.
- 3 índices globales –cada uno evalúa la alteración de un componente; considera conjuntamente la alteración de los parámetros utilizados para la caracterización de ese componente–.

Todos estos resultados, con tablas numéricas y gráficos, IAHRIS los ofrece ordenados en informes como hojas contenidas en un libro Excel.

## **APLICACIÓN AL RÍO CABRIEL EN EL TRAMO AGUAS ABAJO DEL EMBALSE DE CONTRERAS**

### **Datos utilizados**

Los datos correspondientes al régimen natural se obtuvieron como suma de los caudales medios diarios registrados en las estaciones de Enguidanos, Camporrobles, Villora, Paracuellos y Villora-Martín que constituyen en conjunto las entradas al embalse de Contreras. Como serie alterada se utilizaron los registros correspondientes a la estación de Contreras, localizada aguas abajo del embalse. Para evitar “perturbaciones” en los resultados, que no estuvieran vinculadas a la afección directa del embalse se trabajó exclusivamente con el período coetáneo a estos dos regímenes, 1990/91-2005/06.

### **Caracterización del régimen de caudales (natural y alterado):**

La limitación de espacio exigida a este documento no permite ofrecer los resultados completos obtenidos con IAHRIS. A continuación sólo se presentan los rasgos más destacados de ambos regímenes tras analizar esos resultados:

- El régimen natural (Figura 2) muestra una influencia muy fuerte del acuífero, apreciable en los años medios, y de modo más intenso en los secos, influencia que se manifiesta a lo largo de todo el río, haciéndose más marcado en el tramo medio-bajo y bajo. Es característico también la alta variabilidad intranual en años húmedos y muy baja en años secos. La estacionalidad de las aportaciones es muy marcada a nivel mensual, con mínimos en el período julio-septiembre y más dispersa en máximos, período diciembre-mayo. En la Figura 3 puede observarse como en el régimen alterado ha desaparecido por completo esta variabilidad y se ha trastocado la estacionalidad tanto en máximos como en mínimos.
- Rasgo destacado del régimen natural es la alta variabilidad interanual: el rango de

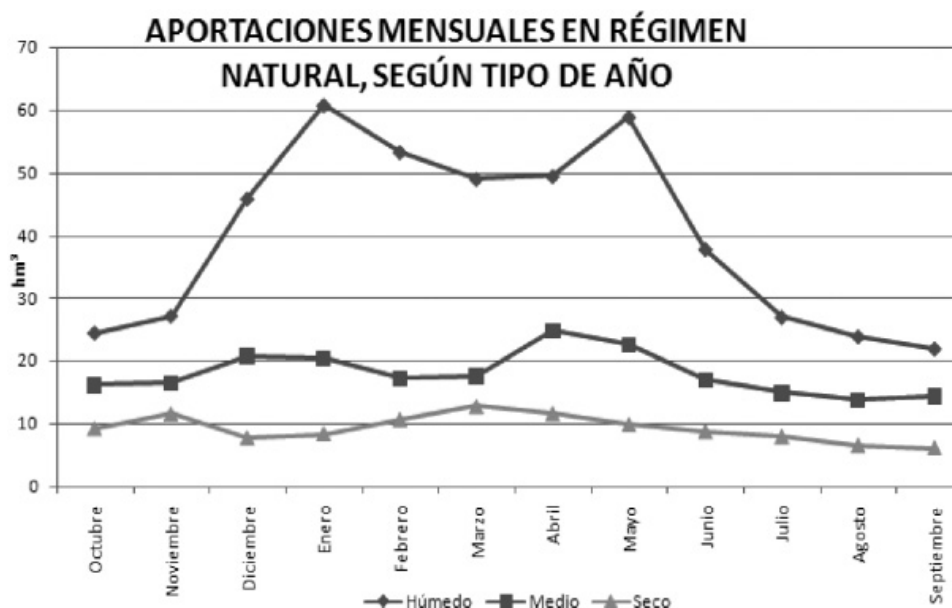


Figura 2. Magnitud y variabilidad intranual de las aportaciones mensuales en régimen natural

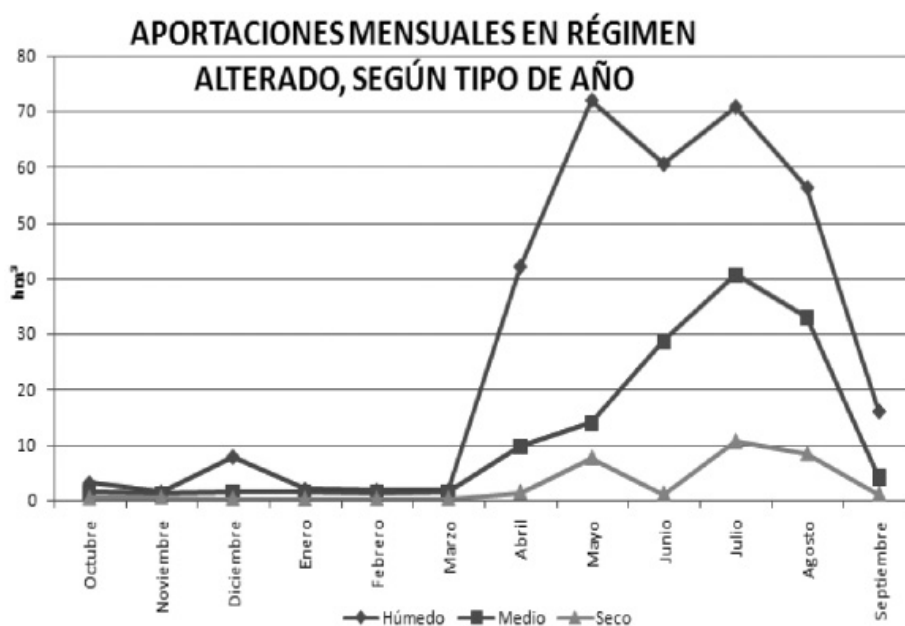


Figura 3. Magnitud y variabilidad intranual de las aportaciones mensuales en régimen alterado

aportaciones oscila entre 450 hm<sup>3</sup> correspondientes al año húmedo, y 115 hm<sup>3</sup> para el año seco, siendo 270 hm<sup>3</sup> el valor correspondiente al año ponderado. En la Tabla 3 se representan las aportaciones anuales para los dos regímenes en el período de estudio. La gestión de la presa, a nivel anual produce una disminución en los volúmenes circulantes (de 273 a 170 hm<sup>3</sup>, en un año ponderado), y

una pérdida de variabilidad interanual. La afección en magnitud varía por tipo de año: las detracciones que realiza el embalse, en un año húmedo están en torno al 40%, bajando al 20% en un año seco.

- La curva de caudales clasificados (Figura 4) proporciona información muy interesante sobre el comportamiento hidrológico de la cuenca. Respecto a los caudales más

TIPO DE AÑO	APORTACIÓN ANUAL (hm <sup>3</sup> )		% Alterad/natural
	Rég natural	Rég alterado	
húmedo	452,5	287,5	63,5
medio	262,9	149,1	56,7
seco	115,6	96,8	83,7
ponderado	273,5	170,7	62,4

Tabla 3. Aportaciones anuales en régimen natural y alterado en el período de estudio

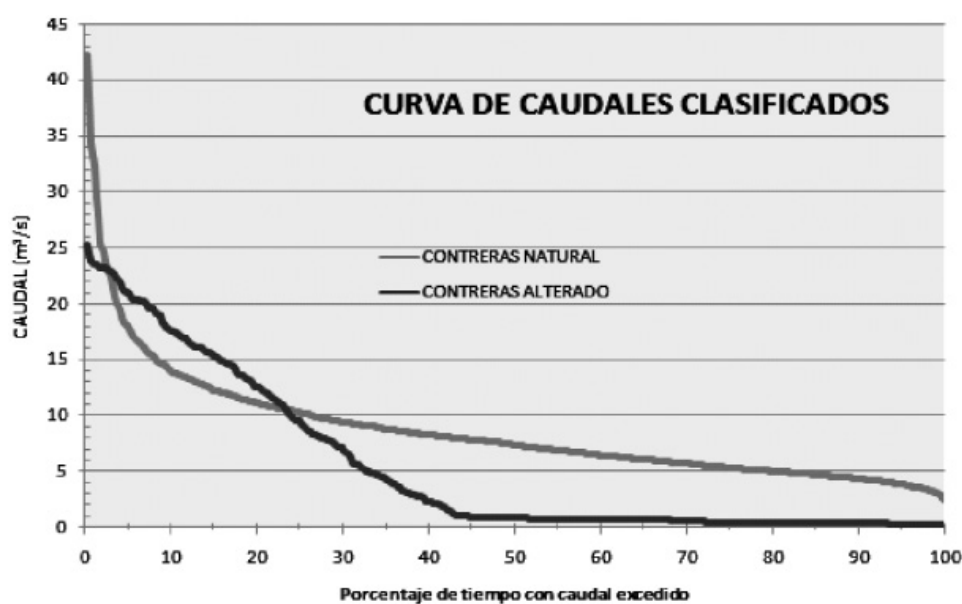


Figura 4. Curva media de caudales clasificados para régimen natural y alterado

altos, en régimen natural se presentan muy pocos días al año, pero alcanzan valores de más de  $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . En régimen alterado prácticamente no se superan los  $25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . La permanencia de caudales altos es mucho mayor en el régimen alterado, pues más del 20% del año tenemos caudales que superan los  $14 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , mientras que en régimen natural esta magnitud sólo se supera un 10% del año. Respecto a sequías o caudales bajos, el carácter kárstico de la cuenca origina que en régimen natural, la parte derecha de la curva se mantenga con una pendiente muy suave, indicativa de que el freático aporta caudales en época de bajas precipitaciones. El 90% del tiempo se presentan caudales superiores a  $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Este carácter se pierde por completo en el régimen alterado, donde casi el 60% del año tiene caudales muy próximos a cero.

- En régimen natural se presentan pocas avenidas con caudales altos ( $42 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  es la media de los máximos) y de corta duración (15 días como media). Como valores más destacados pueden citarse los siguientes: el umbral que define una avenida habitual es de  $18 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , el caudal generador del lecho  $49 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  y la avenida de conectividad  $68 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Todas estas magnitudes se han visto reducidas considerablemente en el régimen alterado, en torno a un 45% para las geomorfológicas y de conectividad y un 60% en los máximos anuales. Por el contrario las avenidas habituales o de limpieza han visto incrementada su magnitud en un 16%. La estacionalidad de las avenidas naturales indica presencia localizada de estos eventos en el período de diciembre a mayo con máximos en enero, febrero y mayo (Figura 5), pautas que se trastocan totalmente en régimen alterado.

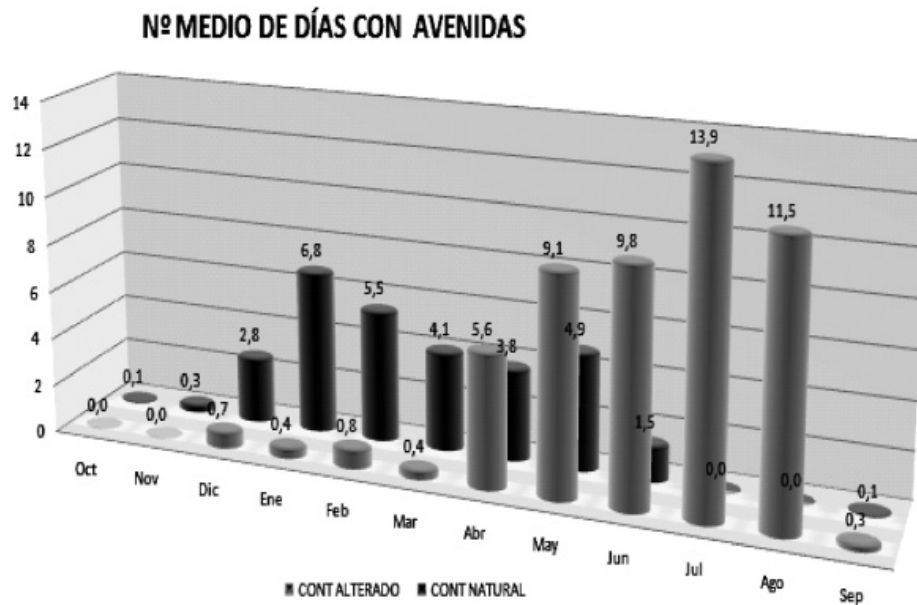


Figura 5. Estacionalidad de avenidas en ambos regímenes

- Los caudales mínimos en régimen natural son muy bajos  $2,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  es la media de los mínimos) que se reduce a 0,3 en alterado. La duración de estos eventos en la situación natural era como media de 21 días, contabilizándose en alterado hasta 237 días en condiciones de sequía (no necesariamente consecutivos). Referente a la estacionalidad de las sequías, la alteración ha sido también drástica (Figura 6), pues se han modificado casi por completo las

pautas estacionales naturales. En régimen alterado, prácticamente todos los días de octubre a marzo son días secos, mientras que julio y agosto tienen entre 5-8 días secos.

**Evaluación de la alteración:**

*Alteración en valores habituales:* La alteración en valores habituales se evalúa de modo independiente para cada tipo de año (húmedo, medio, seco y ponderado), obteniéndose resulta-

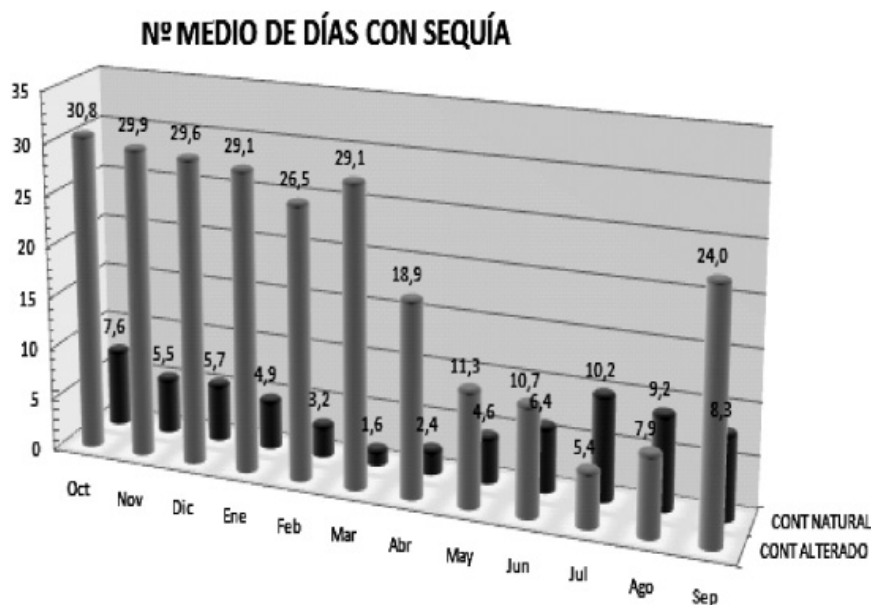


Figura 6. Estacionalidad de sequías en ambos regímenes



dos muy similares de un año a otro. En la Tabla 4 se presentan los correspondientes al año ponderado, manifestándose una mayor alteración en la magnitud de las aportaciones mensuales y en la estacionalidad de máximos.

*Alteración en avenidas:* de todos los aspectos evaluados es la frecuencia del caudal de conectividad el que ha sufrido mayor alteración, el IAH 9 alcanza un valor de 0,01. El índice de estacionalidad, IAH 14 muestran una grave alteración (0,38). Un estudio detallado de este índice mes a mes pone de manifiesto un nivel V con valores 0 o próximos a 0 en seis meses.

Respecto a magnitudes, las avenidas habituales muestran un IAH 10 = 0,86, frente al IAH 7 = 0,60 de los máximos anuales. El caudal generador (IAH 8 = 0,70) permanece en un nivel II.

*Alteración en sequías:* Respecto a sequías, la situación es mucho más grave pues cuatro de los siete aspectos estudiados (magnitud de las sequías extremas, y de las sequías habituales,

duración y estacionalidad) tienen un nivel V, con valores del índice muy próximos a cero lo que denota una alteración total.

Por el contrario los índices de variabilidad arrojan un resultado excelente y dado que ni el régimen natural ni el alterado presentan días con caudales nulos, el índice 20 también recibe la valoración de excelente. El índice de estacionalidad de sequías se estudia también mes a mes, mostrando que de los doce meses sólo dos (junio y agosto) no presentan la máxima alteración (valor 0).

*Aspectos críticos de la alteración detectada:* Alteración total en las pautas estacionales a nivel mensual.

Alteración extrema en la magnitud de todos los tipos de avenidas estudiadas (máximas anuales, morfológicas y de conectividad) salvo en las avenidas habituales o de limpieza.

Inversión en la estacionalidad de las avenidas habituales.

CÓDIGO	DENOMINACIÓN	VALOR	NIVEL
IAH 1	Magnitud de las aportaciones anuales	0,62	II
IAH 2	Magnitud de las aportaciones mensuales	0,30	IV
IAH 3	Variabilidad habitual	0,55	III
IAH 4	Variabilidad extrema	0,52	III
IAH 5	Estacionalidad de máximos	0,34	IV
IAH 6	Estacionalidad de mínimos	0,50	III
IAH 7	Magnitud de las avenidas máximas	0,60	III
IAH 8	Magnitud del Caudal Generador del Lecho	0,70	II
IAH 9	Frecuencia del Caudal de conectividad	0,01	V
IAH 10	Magnitud de las avenidas habituales	0,86	I
IAH 11	Variabilidad de las avenidas máximas	0,52	III
IAH 12	Variabilidad de las avenidas habituales	0,65	II
IAH 13	Duración de avenidas	0,43	III
IAH 14	Estacionalidad de avenidas (12 valores, uno para cada mes)*	0,38	IV
IAH 15	Magnitud de las sequías extremas	0,09	V
IAH 16	Magnitud de las sequías habituales	0,09	V
IAH 17	Variabilidad de las sequías extremas	0,97	I
IAH 18	Variabilidad de las sequías habituales	0,97	I
IAH 19	Duración de sequías	0,11	V
IAH 20	Nº de días con caudal nulo (12 valores, uno para cada mes)*	1,00	I
IAH 21	Estacionalidad de sequías (12 valores, uno para cada mes)*	0,08	V

**Tabla 4.** Índices de Alteración Hidrológica en el río Cabriel aguas abajo del Embalse de Contreras. \*se ofrece el valor medio de los 12 índices mensuales

Reducción considerable en la variabilidad de las avenidas circulantes.

Reducción extrema en la magnitud tanto de los caudales mínimos anuales como de las sequías habituales.

Inversión de las pautas estacionales de las sequías que pasan a tener una presencia alarmante en el período de noviembre a mayo y se reducen considerablemente en los meses de verano.

Agravamiento extremo en la duración de los períodos secos

## APLICABILIDAD DE IAHRIS

La metodología cuyos fundamentos conceptuales se han presentado en este trabajo:

- Ofrece la posibilidad de hacer una cuantificación objetiva de la alteración del régimen natural de caudales que induce el aprovechamiento de los recursos hídricos del río, considerando aquellos aspectos del régimen que tienen mayor significación ambiental.
- Pone a disposición de la comunidad científica y de los gestores de recursos hídricos un instrumento que permite cumplir lo exigido por la DMA para la caracterización del estado hidrológico de las masas de agua.
- Cuantifica objetivamente la alteración que inducen los aprovechamientos de los recursos hídricos sobre el régimen natural de caudales.
- Interpretar las consecuencias de la alteración del régimen de caudales en la integridad del ecosistema fluvial.
- Valora la alteración que sobre el régimen natural de caudales producirían distintos escenarios de usos y gestión de los recursos hídricos
- Identifica los aspectos del régimen actual que en mayor medida condicionan la rehabilitación o recuperación del tramo estudiado.
- Fija criterios objetivos para establecer prioridades en la restauración de ecosistemas fluviales.

## BIBLIOGRAFÍA

ANUARIO DE AFOROS DEL CEDEX; 2008. Versión digital  
ARTHINGTON, A.H.; 1997. *Wounded Rivers, Thirsty Land: Getting Water Management*

*Right*. Inaugural Professorial Lecture, Griffith University. Queensland.

ARTHINGTON, A.; BUNN, S.; POFF, N. & NAIMN, R.; 2006. The challenge of providing environmental flows rules to sustain river ecosystems. *Ecol. Appl.* 16: 1311-1318.

BUNN, S.E. & ARTHINGTON, A.; 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management* 30(4).

CIS-WFD, EUROPEAN COMMON IMPLEMENTATION STRATEGY (CIS) FOR THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE; 2003. *Guidance on establishing reference conditions and ecological status class boundaries for inland surface waters. Working Group 2.3, REFCOND Guidance.* <http://forum.europa.eu.int/comm/Public/irc/en/wdf/library1>.

HENRIKSEN, J.A.; HEASLEY, J.; KENNEN, J.G. & NIEWSAND, S.; 2006. *User's manual for the hydroecological integrity assessment process software (including the New Jersey Assessment Tools)*. Biological Resources Discipline, Open File Report 2006-1093. U.S. Geological Survey.

HANRAHAN, T.P.; 2008. Effects of river discharge on hyporheic exchange flows in salmon spawning areas of a large gravel-bed river. *Hydrol. Process.* 22: 127-141.

FERNÁNDEZ YUSTE, J.A. Y MARTÍNEZ, C.; 2010. *Régimen Ambiental de Caudales. Manual de Referencia Metodológica.* [http://www.ecogesfor.org/IAHRIS\\_es.htm](http://www.ecogesfor.org/IAHRIS_es.htm).

MARTÍNEZ, C. Y FERNÁNDEZ YUSTE, J.A.; 2006. *Índices de Alteración Hidrológica en ríos.* Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica. Ministerio de Fomento. CEDEX. Madrid.

MARTÍNEZ, C. Y FERNÁNDEZ YUSTE, J.A.; 2010 a. *IAHRIS 2.2 Índices de Alteración Hidrológica en Ríos. Manual de Usuario.* [http://www.ecogesfor.org/IAHRIS\\_es.htm](http://www.ecogesfor.org/IAHRIS_es.htm).

MARTÍNEZ, C. Y FERNÁNDEZ YUSTE, J.A.; 2010 b. *IAHRIS 2.2 Índices de Alteración Hidrológica en Ríos. Manual de Referencia Metodológica.* [http://www.ecogesfor.org/IAHRIS\\_es.htm](http://www.ecogesfor.org/IAHRIS_es.htm).

MARTÍNEZ, C. Y FERNÁNDEZ YUSTE, J.A.; 2010 c. *Indicador de masas de agua muy alteradas: Manual de referencia metodológica.* [http://www.ecogesfor.org/IAHRIS\\_es.htm](http://www.ecogesfor.org/IAHRIS_es.htm).

- POFF, N.; ALLAN, J.D.; BAIN, M.B.; KARR, J.R.; PRESTEGAARD, K.L.; RICHTER, B.D.; SPARKS, R.E. & STROMBERG C.; 1997. The Natural Flow Regime. A paradigm for river conservation and restoration. *BioScience* 47(11): 770-784.
- RICHTER, B.D. & RICHTER, H.E.; 2000. Prescribing Flood Regimes to Sustain Riparian Ecosystems along Meandering Rivers. *Conservation Biology* 14(5): 1467-1478.
- RICHTER, B.D.; BAUMGARTNER, J.V.; BRAUN, D.P. & POWELL, J.; 1998. A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. *Regulated Rivers: Research & Management* 14: 329-340.
- RICHTER, B.D.; BAUMGARTNER, J.V.; WIGINGTON, R. & BRAUN, D.P.; 1997. How much water does a river need? *Freshwater Biology* 37: 231-249.
- SMALL, M.F.; BONNER, T.H. & BACCUS, J.T.; 2009. Hydrologic alteration of the lower rio Grande terminus: a quantitative assessment. *River Res. Applic.* 25: 241-252.
- SVENDSEN, K.M.; RENSHAW, C.E.; MAGILLIGAN, F.J.; NISLOW, K.H. & KASTE, J.M.; 2009. Flow and sediment regimes at tributary junctions on a regulated river: impact on sediment residence time and benthic macroinvertebrate communities. *Hydrol Process* 23: 284-296.