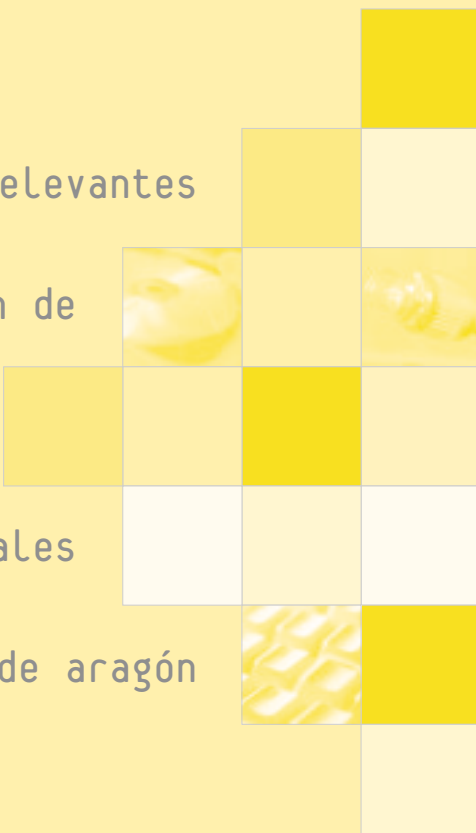


aspectos relevantes
en la gestión de
los recursos hídricos
superficiales
de aragón



Epifanio Miguélez Miguélez
Investigador

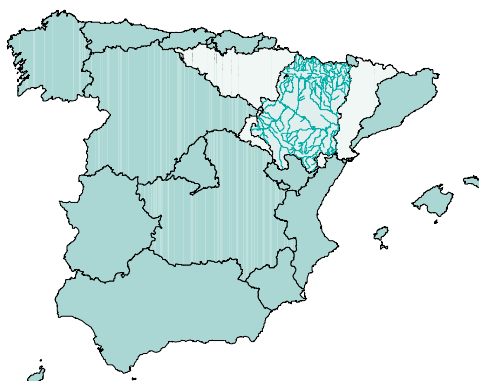
1. introducción

De los 47.682 km² que tiene la Comunidad Autónoma de Aragón, 42.072 km² se enmarcan dentro de la Cuenca del Ebro, lo que supone un 49% de la misma. Se podría decir que la casi totalidad del territorio Aragonés (88%) está comprendido en esta cuenca. Además su población representa el 41% del total de la cuenca. Las cuencas aragonesas contribuyen con una aportación media que se aproxima a la tercera parte de la aportación del río Ebro, por su territorio discurren los principales ríos de la cuenca. Dado el peso que Aragón tiene en la misma, muchos de los aspectos relacionados con los recursos hídricos en ésta se hacen extensibles a los de Aragón, aunque siempre se mantengan las reservas necesarias al ser la cuenca un territorio mucho más extenso, que abarca regiones muy dispares.

Es necesario aclarar que los ríos de la cuenca de Júcar que recorren territorio aragonés no se incluye en el presente trabajo.

Gráfico 1

aragón en el conjunto de la cuenca del ebro y en españa



Fuente: Elaboración propia a partir de ficheros.shp descargados de <http://www.oph.chebro.es/>

El presente trabajo se centra en analizar algunos aspectos de la gestión del agua superficial en Aragón que se han mostrado relevantes en los últimos años. En concreto nos centraremos en cuestiones que tienen o pueden tener importancia en la disponibilidad del recurso hídrico. Comenzaremos por estudiar la evolución del mismo en los últimos años, para ello analizaremos las series históricas de los aforos registrados en las estaciones seleccionadas. Aunque en una etapa preliminar se analizan un número superior de estaciones los comentarios se centrarán en aquellas estaciones que mejor nos permitan estudiar el régimen natu-

ral de los ríos que aforan, evitando así que posibles intervenciones antrópicas alteren este régimen.

Tras observarse una tendencia casi generalizada en los ríos aragoneses de disminución de los caudales medio anuales se indaga en las causas que pueden generar esta recesión.

Una segunda parte se centrará en analizar aspectos relacionados con los caudales ecológicos en los ríos aragoneses. El interés por este tema reside fundamentalmente en dos aspectos, por un lado la existencia de una serie de disposiciones legales que lo determinan y exigen y por otro la creciente demanda social relacionada con los aspectos medioambientales de los territorios que se habitan.

En cuanto al primer aspecto mencionado anteriormente en la propia ley de aguas del año 1985 la que establece la obligación de mantener unos caudales medioambientales en los ríos. En aplicación de tal precepto el Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro (principal instrumento de planificación hidrológica en la cuenca) también establece el mantenimiento de estos caudales. Además, la Directiva Marco del Agua obliga a todos sus Estados miembros a mantener los ríos en buen estado ecológico, para lo cual resulta imprescindible mantener un régimen de caudales ambientales.

La creciente demanda social por el turismo verde, deportes de aventura, pesca fluvial y otras actividades de recreo va acompañada de una petición implícita de recuperación de los ecosistemas fluviales de nuestra región.

El último aspecto tratado, a pesar de tener consideraciones globales, se está mostrando relevante, en los últimos años, en los efectos que sobre los recursos hídricos puede tener: estamos haciendo referencia al *cambio climático*. A pesar de tratarse de un área de investigación en pleno desarrollo y muy dependiente de los modelos de clima que se están desarrollando, ya existen numerosos trabajos que marcan una pauta de cuales pueden ser las repercusiones sobre la gestión del agua. Por tanto, se analizarán los resultados de los estudios más recientes y los efectos que sobre los recursos hídricos de la cuenca del Ebro, y por extensión sobre Aragón, puede tener.

Finaliza el trabajo con una serie de comentarios respecto a las incidencias que estos tres factores pueden tener en su conjunto sobre la disponibilidad del agua en Aragón.

2. fuentes y metodología empleada

Para analizar la evolución de los recursos hídricos superficiales se han seleccionado aquellos ríos que, por su caudal, son los más significativos en Aragón, aunque su cauce no discorra íntegramente en su territorio, como ocurre con el río Aragón o el propio Ebro. Para su estudio, y por cuestiones metodológicas, se ha diferenciado por un lado los ríos de la *margen derecha del Ebro* y por

otro los ríos de la *margen izquierda*, cuyo estudio ha sido más detallado al presentar una mayor relevancia en el conjunto de Aragón.

Los datos empleados para analizar la evolución de los caudales han sido facilitados por la Confederación Hidrográfica del Ebro, a través de su Oficina de Planificación Hidrográfica y proceden de los registros efectuados en la red de estaciones de aforos existentes en la cuenca del Ebro. Se han estudiado los datos de 65 estaciones, sin embargo no todas se han incluido en el trabajo de síntesis final. La elección de las estaciones ha venido determinada, principalmente, por dos factores, a saber, la existencia de una serie de registros suficientemente larga, en nuestro caso superior a 30 años; y por otro lado se ha preferido centrar el análisis en las estaciones ubicadas en la cabecera de los ríos.

La elección de las estaciones de cabecera no ha sido arbitraria, sino que viene determinada por los resultados la fase previa del análisis. Al obtenerse una tendencias decrecientes en la mayoría de las estaciones revisadas se opta por seleccionar aquellos aforos que mejor recogen el régimen natural de los ríos, al no existir aguas arriba detracciones de caudal que alteren significativamente su régimen. Se trata, por tanto, de evitar la difícil tarea de determinar que parte de este descenso se debe a consumos, en sentido estricto, y que parte se debe a una disminución de los caudales derivada de una menor escorrentía. En el caso de los ríos pirenaicos al ser en la cabecera donde se generan la parte más importante de los recursos hídricos y estas estaciones las contempladas en los estudios nos permite realizar unos análisis más afinados.

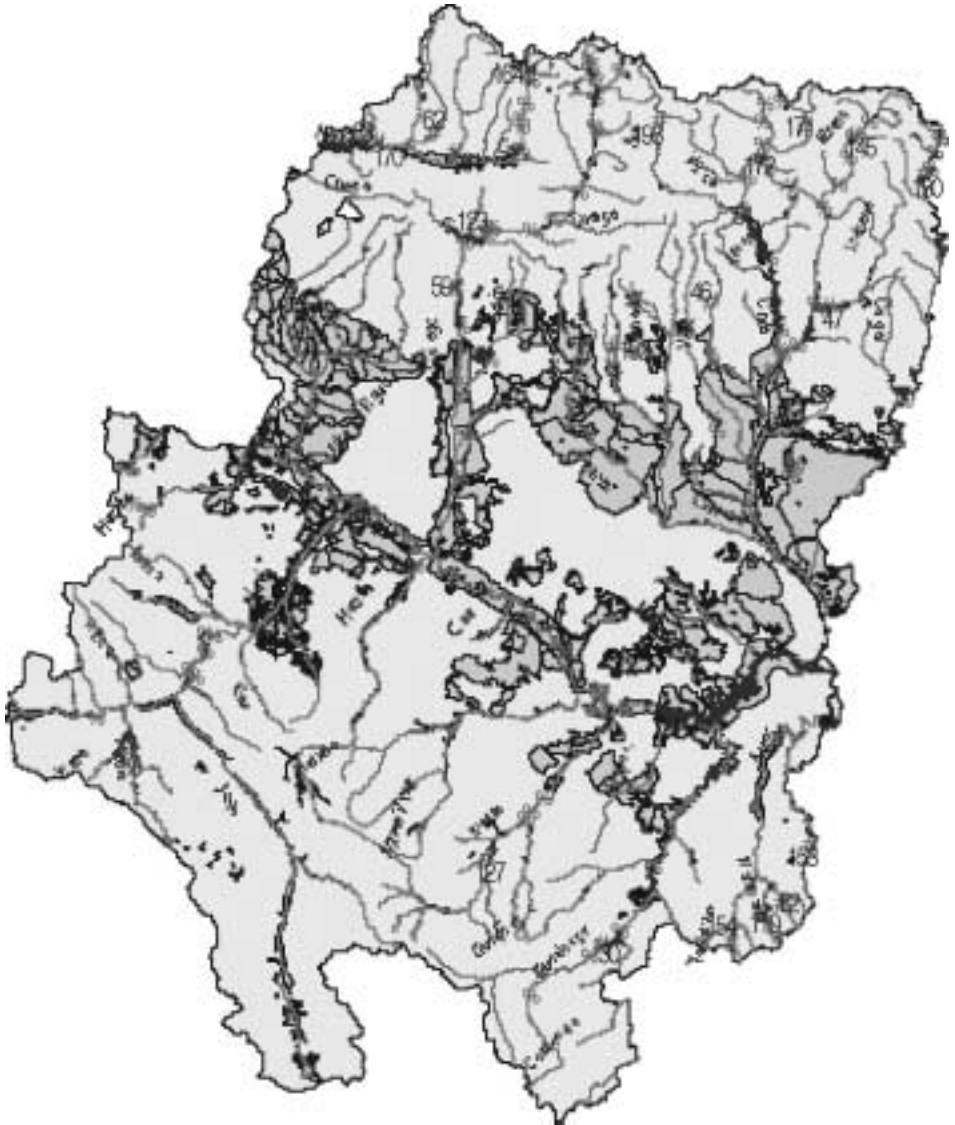
Se han incluido los resultados de las siguientes estaciones de aforo:

cuadro 1

MARGEN IZQUIERDA:	MARGEN DERECHA:
Río Aragón en Canfranc	Río Guadalope en Santolea
Río Piedra en Nuévalos	Río Matarraña en Beceite
Río Aragón en la cola del embalse de Yesa	Río Pena en Beceite
Río Aragón en Yesa	Río Martín en Alcaine
Río Subordán en Javierregay	Río Algas en Hortas de S. Juan
Río Veral en Binés	Río Tastavins en Peñarroya
Río Escá en Sigüés	
Río Gállego en Santa Eulalia	RÍO EBRO:
Río Gállego en Anzánigo	Río Ebro en Castejón
Río Cinca en Escalona	Río Ebro en Zaragoza
Río Cinca en La Fortunada	Río Ebro en Tortosa
Río Cinqueta en Molino de Gistain	
Río Ara en Torla	
Río Vero en Lecina de Bârcabo	
Río Guatizalema en Sietamo	
Río Ésera en Eríste	
Río Isábena en Capella	
Río Noguera Ribagorzana en Ginaste	

Gráfico 2

estaciones de aforo incluidas en
Los análisis de caudales



Fuente: Elaboración propia a partir de ficheros .shp descargados de <http://www.oph.chebo.es/>
Un mapa más detallado y que incluye leyendas se puede consultar en el anexo.

A pesar de centrarse en las estaciones de cabecera algunas tienen detracciones aguas arriba, como el aforo del río Guadalope en Santolea que tiene una central hidroeléctrica, o el aforo del río Matarraña en Beceite afectado por el canal que deriva aguas de este río al embalse de Pena. En estos casos, las alteraciones del régimen han sido tenidas en cuenta en los análisis y sus resultados no han sido tan influyentes en la conclusiones finales obtenidas.

Para el río Ebro dado que su curso discurre por varias comunidades autónomas se han tomado datos de tres estaciones: Ebro en Castejón, Ebro en Zaragoza y Ebro en Tortosa.

Las series de registros aforados para cada estación se encuentran en caudales medios diarios, caudales medios mensuales y caudales medios anuales. El empleo de caudales diarios, mensuales o anuales ha venido determinado por el de análisis estadístico a efectuar, así para observar la tendencia de los caudales en los ríos aragoneses se han tomado los caudales medios anuales registrados en cada estación; para ver el régimen de los ríos se toman los caudales medios mensuales. En cuanto al periodo de tiempo se ha elegido el comprendido entre 1964 y 1999, por ser este espacio de tiempo el que cuenta con mayor número de registros y ser éstos de mejor calidad. De esta manera se facilita la comparación entre las diferentes estaciones. No obstante en algunas estaciones, las menos, se ha tenido que coger periodos anteriores 1960-1993 al no disponer de datos anteriores ni posteriores.

En cuanto al tratamiento estadístico de las series se ha comenzado estudiando los datos atípicos. Posteriormente se ha procedido al relleno de los datos que faltaban. En esta parte se han tomado como referencia la existencia de registros en estaciones foronómicas cercanas con las que exista un alto grado de correlación.

Para el estudio de la evolución reciente de los caudales y debido la componente de irregularidad que acompaña a estas series, se ha procedido a su suavizado por el método de las medias móviles, permitiendo obtener una idea más clara de las regularidades subyacentes en las mismas. Para determinar su tendencia reciente se ha ajustado una recta a la serie de observaciones mediante un ajuste por mínimos cuadrados ordinarios. De esta forma nos podemos hacer una idea de cual es la tendencia de los recursos hídricos que discurren por cauces en sus cabeceras. En todos los casos analizados la variable empleada se ha mostrado relevante en el análisis al 95% de significación.

Al trabajar con datos medios anuales se elimina la componente de estacionalidad que las series hidrológicas puedan tener. También se ha contrastado la ausencia de autocorrelación de las mismas. La componente cíclica no se muestra relevantes en el periodo observado.

Los resultados aquí obtenidos se contrastan con otras investigaciones que se han realizado en estas mismas cuestiones, principalmente los estudios de la CHE, los de García Ruiz *et al* (2001), Sánchez Chóliz *et al* (2002), García Santos *et al* (2001). Concretamente el trabajo de García Ruiz *et al* (2001) analiza los

recursos superficiales del Pirineo aragonés, se trata de un estudio muy completo y riguroso que profundiza en la evolución reciente de los mismos. La explicación de la tendencia recesiva de los caudales de los ríos se toma de esta investigación, pues recoge los resultados de la observación de la escorrentía en cuencas experimentales que la institución para la que trabajan tiene en el Pirineo.

En cuanto a los datos que determinan los caudales ecológicos, que en el presente trabajo se han denominado **“régimen de caudales de mantenimiento”**, proceden del departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo de la Universitat de Lleida. Aunque se han revisado los cálculos efectuados para distintos tramos de ríos, por cuestiones de espacio y tiempo sólo se ha podido hacer referencia a los calculados para un tramo del río Cinca. La cuantificación del régimen de caudales se determina por el *método del caudal básico*.

En el apartado **del cambio climático**, dado que la concreción de los efectos del mismo está en etapa de estudio y no hay resultados concluyentes al respecto se ha sido especialmente cauteloso con los datos manejados, empleando aquellos que son más rigurosos y están avalados por la experiencia de los investigadores que los realizan. Estos estudios ofrecen aproximaciones de por dónde pueden desarrollarse los acontecimientos con el devenir de los años. La mayoría de estas investigaciones se han desarrollado a nivel regional, al no existir una metodología contrastada para ámbitos mayores, por lo que encajan en las pretensiones del trabajo, que se centra en una región concreta, si bien al tratarse de temas relacionados con los recursos hídricos se centran preferentemente en las Cuencas Hidrográficas. Los resultados facilitados para la cuenca del Ebro pueden hacerse extensibles a la comunidad de Aragón, pero teniendo en cuenta las disparidades existentes en su territorio. Los estudios e investigaciones a que estamos haciendo referencia son principalmente los del Libro Blanco del Agua, los del Plan Hidrológico Nacional y los elaborados por el Investigador del Instituto Geotécnico y Minero de España, Ayala-Carcedo.

En esta parte del trabajo no se ofrecen resultados concretos sino que se hace referencia a previsiones de cómo puede verse afectada la gestión de los recursos hídricos en Aragón.

3. evolución reciente de los caudales de los ríos aragoneses

Para analizar la evolución de los caudales de los ríos que discurren por territorio aragonés, por cuestiones metodológicas, se ha creído conveniente diferenciar los ríos de la margen izquierda del Ebro de los de la margen derecha, ello obedece no sólo a aspectos geográficos si no que existen marcadas diferencias hidrológicas entre ambas márgenes.

De la simple observación de las series de la *margen izquierda* estudiadas se desprende la acusada variabilidad del caudal medio anual de estos ríos. A pesar

de esta variabilidad se podrían identificar unos periodos con una media anual más alta, que generalmente se corresponde con el final de la década de los 60 y otra aún más pronunciada a finales de la década de los 70. El comienzo de la década de los 80 los caudales medios disminuyen considerablemente, coincidiendo con el periodo de sequía registrado en esa época, para luego a comienzos de los noventa volver a incrementarse, pero sin llegar a alcanzar los valores de finales de 60 y 70. [véase gráfico 3].

Gráfico 3

evolución de las tendencias en los caudales anuales medios.
ríos seleccionados de la margen izquierda (hm³/año).

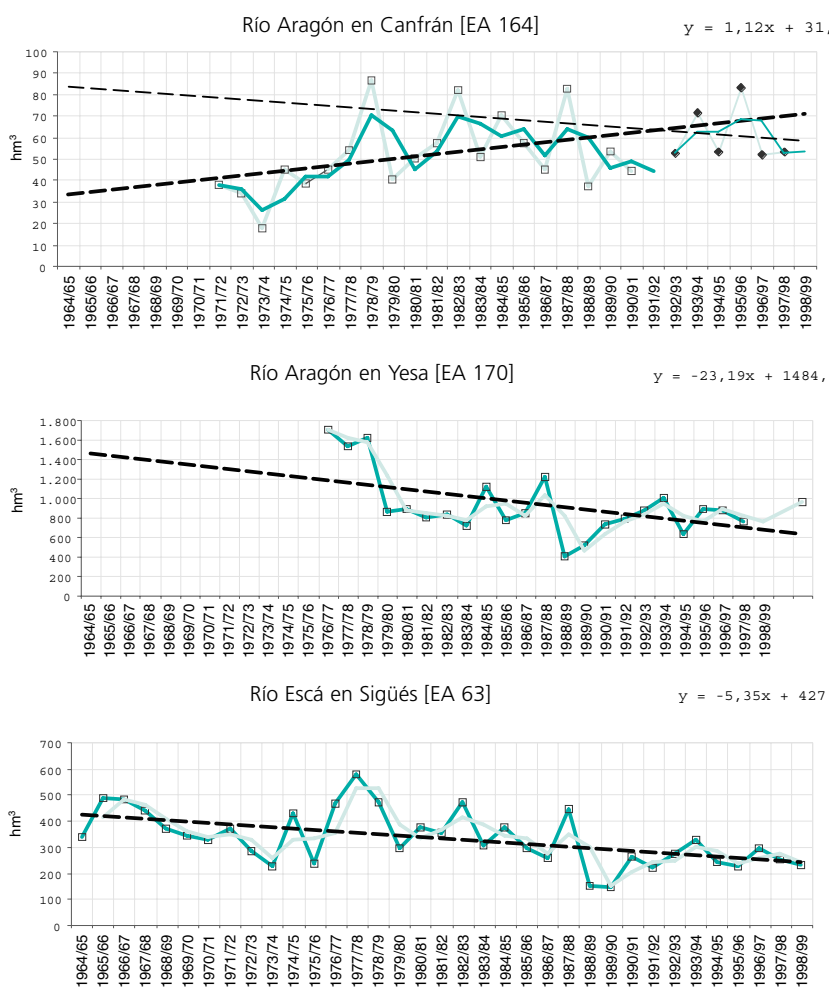
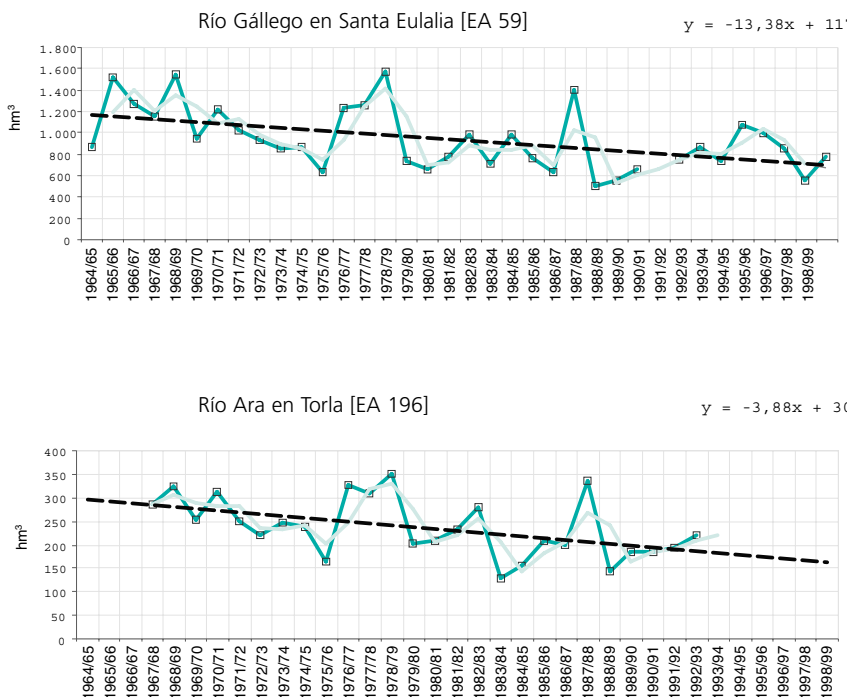


Gráfico 3

evolución de las tendencias en los caudales anuales medios. ríos seleccionados de la margen izquierda (hm³/año). (continuación)



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos facilitados por la OPH.

La curva naranja representa la serie temporal de caudales, los cuadros señalan los datos; la curva mas clara recoge el suavizado de la media móvil y la recta representa su tendencia, cuya expresión aparece arriba a la derecha. Al ser la tendencia decreciente la pendiente de la línea es negativa.

La media móvil suaviza la variabilidad interanual de los caudales medios y se ve como se describe una tendencia decreciente generalizada en todas las estaciones de aforo estudiadas (en el anexo se incluyen el resto de series). Aunque la evolución de cada río puede variar, la característica común a todos ellos es la **tendencia decreciente de los caudales medios anuales**, reflejada en la recta de regresión de pendiente negativa. El que la pendiente negativa esté más o menos inclinada depende, en buena medida, del caudal de río, así es de esperar que para los ríos más caudalosos se pueda acentuar más.

Similares resultados se obtienen en el trabajo de García Ruiz *et al* (2001) al obtenerse una marcada tendencia decreciente, llegando en algunos casos a alcanzar valores muy altos. Para estos autores la conclusión que se extrae es que en "*casi todos los aforos muestran una disminución en el caudal medio*" (en su trabajo se analiza un número mayor de estaciones de aforo). No obstante como ellos indican, hay que tener presente que los datos de caudal medio hacen referencia a un "*estado medio*" durante el periodo de los 35 años estudiados, mostrando la tendencia que al final de la serie el caudal estaría por debajo de la media calculada.

Como destacan estos autores la explicación de esta tendencia es muy compleja e intervienen en la misma múltiples factores, de tipo ambiental y humano, que pueden actuar sinérgicamente en unas ocasiones o tener efectos contrapuestos en otras. En su trabajo se identifican unos factores fijos que no varían en la escala de tiempo en la que estamos trabajando como son los litológicos y los topográficos. Por contra existen otros factores que inciden directamente sobre la escorrentía: así,

- a) las precipitaciones, constituyen un factor relevante del ciclo hidrológico,
- b) la temperatura que influye en los procesos de evapotranspiración,
- c) la cubierta vegetal y los usos del suelo que afectan sobre la infiltración del agua en el suelo y sobre su consumo por parte de las plantas.

Con respecto al papel jugado por las precipitaciones, para estos autores, a pesar de presentar una tendencia negativa desde el año 1961, si se ampliara la escala temporal esta fluctuación encajaría dentro de la variabilidad que presentan habitualmente las precipitaciones, por lo que no parecen ser la causa principal de la disminución de los caudales. Sin restar importancia al posible efecto negativo que sobre la tendencia hayan podido tener desde los años sesenta.

En esta misma línea se manifiestan los resultados del trabajo de García Vera *et al* (2002) centrado en el análisis de las precipitaciones en la cuenca del Ebro, cuya conclusión principal es que el descenso del nivel medio de lluvia desde mediados de los 60 a los 80, ha tenido repercusión en los caudales de la cuenca, pero la tendencia decreciente se ha invertido en los años 90, estando actualmente asistiendo a una recuperación de los niveles medios de lluvia.

Si según se desprende de ambos trabajos la variabilidad de las precipitaciones ha tenido su influencia en la disminución de los caudales anuales medios de los ríos, pero no han sido tan determinantes para generar la tendencia recesiva de los caudales habrá que indagar en los otros dos factores variables restantes.

Para la temperatura los resultados obtenidos García Ruiz *et al* (2001) indican que no se muestra muy determinante a la hora de explicar la disminución de los caudales medios anuales, al menos en un periodo temporal tan corto como el analizado.

Para estos autores la disminución de los caudales que se observa desde 1960 se relaciona con la disminución de las precipitaciones, pero al ser la tendencia regresiva en el caudal más acusada que en las precipitaciones, y la temperatura no parece, para el periodo de tiempo analizado, un factor relevante, indican que la parte más importante de la tendencia decreciente puede explicar-

se por la interceptación del agua de lluvia por parte de la cubierta vegetal, que además de consumir agua, hace que se retenga y se infiltre en el suelo. Según estos autores los usos del suelo se ha modificado sustancialmente en los últimos años, lo que ha supuesto principalmente el abandono de tierras de cultivo que han sido sustituidas por matorral, recolonización natural con árboles, y las repoblaciones forestales junto a la escasa utilización de los pastos por parte de la cabaña ganadera en áreas de alta montaña.

En este sentido se manifiesta Gallart *et al* (2001) para quien la superficie arbolada del conjunto de la cuenca del Ebro se ha incrementado en un 10,4% pasando de 2.130.161 ha a 2.351.293 ha entre el Primer y Segundo Inventario Forestal Nacional; además utiliza otro indicador muy relevante como es la *fracción cubida cubierta* que mide la densidad de la cubierta en las zonas arboladas que ha aumentado de 0,43 a 0,61.

A la vista de los resultados obtenidos y de las investigaciones comentadas la aforestación de áreas de montaña ha supuesto una modificación en la escorrentía de las cabeceras de los ríos pirenaicos. Esta disminución de la escorrentía se traduce en descensos de los caudales de los ríos en Aragón.

Los ríos de la margen derecha también presentan una irregularidad acusada en su régimen, se trata, por tanto, de una característica típica de los ríos aragoneses, también han seguido una evolución similar a los comentados anteriormente, salvando las diferencias en cuanto a los caudales medios que discurren por su cauce. En los años 70 alcanzar sus caudales medio más elevados y luego reflejan la sequía de los años ochenta, más pronunciada que en la margen izquierda, y en los noventa ha comenzado una recuperación sin alcanzar los niveles de los años setenta. En cuanto a la tendencia también es regresiva, presentando todos los casos analizados pendiente negativa.

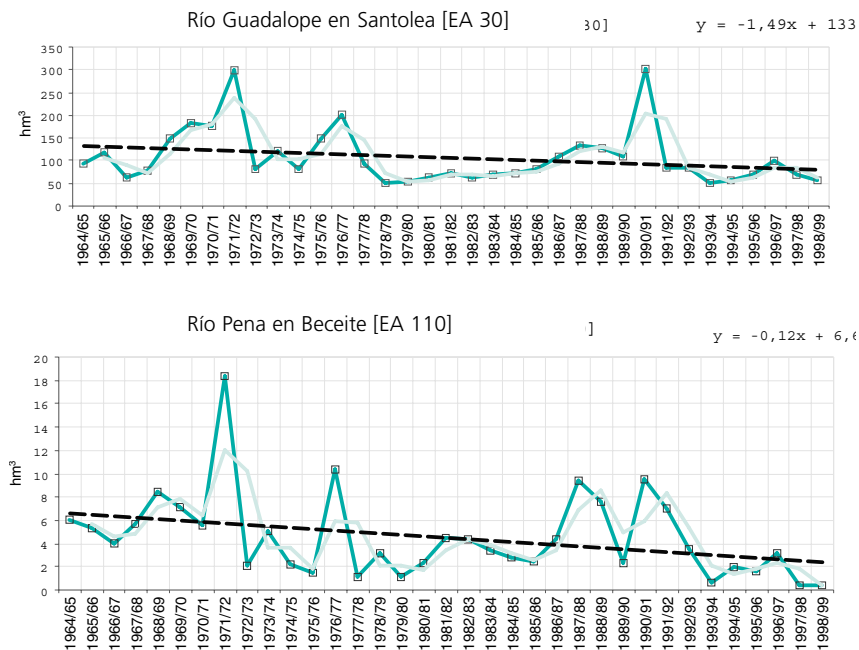
El tratamiento empleado para su modelización ha sido el mismo que en el caso anterior y si bien la media móvil amortigua la irregularidad, la recta de regresión de ajuste a los datos tratados presenta también pendiente negativa. Nos encontramos ante una disminución de los caudales medios anuales en las cabeceras de los ríos de la margen derecha.

Dado que en las cuencas drenadas por estos ríos también se ha producido un fenómeno de aforestación, parece lógico pensar que las conclusiones expuestas anteriormente son válidas aquí. Sin embargo, hay que tener en cuenta que en el trabajo de García Vera *et al* (2002) la única región que presenta niveles decrecientes desde los años treinta se corresponde con la cuenca de Jalón, luego en la margen derecha el efecto de las precipitaciones puede ser más significativo.

La interpretación de los gráficos número cuatro es idéntica a los presentados anteriormente: curva naranja para serie de valores registrados (los cuadrados son los datos que componen la serie), curva más clara para la media móvil y la recta de tendencia ajustada por mínimos cuadrados ordinarios.

Gráfico 4

evolución de las tendencias en los caudales anuales medios. ríos seleccionados de la margen derecha (hm³/año).



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos facilitados por la OPH.

4. régimen de caudales de mantenimiento en los ríos aragoneses

La ley de aguas de 1985¹ según la redacción dada por la ley 46/1999 establece en su artículo 84 que "Son objetivos de la protección del dominio público hidráulico: a) Prevenir el deterioro del estado ecológico y la contaminación de las aguas para alcanzar un buen estado general...". Según el artículo 40 de esta misma ley " Los Planes hidrológicos de cuenca comprenderán obligatoriamente: ...d) La asignación y reserva de recursos para usos y demandas actuales y futuros, así como para la conservación o recuperación del medio natural".

1. Este mismo precepto se recoge en el art. 40 del Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la ley de Aguas.

A tenor de lo cual el Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro, cuyo objetivo principal es establecer las normas por las que debe regirse el aprovechamiento del dominio público hidráulico, dispone que *"a los efectos del Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro se entiende como caudales o volúmenes de compensación aquellos que satisfagan el objetivo ambiental para el tramo de cuenca o masa de agua. El objetivo ambiental se fijará teniendo en cuenta la dinámica de los ecosistemas en conexión con los aspectos económicos y sociales y otros que incidan en el aprovechamiento del recurso..."* para a continuación indicar que *"La determinación de volúmenes y caudales de compensación se realizará atendiendo a las interferencias entre el uso ambiental y los demás usos, con sus correspondientes implicaciones sociales, económicas y de ordenación territorial. Ello conllevará la fijación de objetivos ambientales para los distintos tramos de río, masas de agua libre y acuíferos..."*

En cuanto al orden de prioridad la propia ley 46/1999 establece en su artículo 57.7 que *"los caudales ecológicos o demandas ambientales no tendrán el carácter de uso a efecto de los previsto en este artículo y siguientes, debiendo considerarse como una restricción que se impone con carácter general a los sistemas de explotación. En todo caso, se aplicará también a los caudales medioambientales la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones..."* Este es el sentido que se recoge en el Libro Blanco del Agua que al hablar del establecimiento de estos caudales establece que *"no se considere un uso más, sino una restricción externa y previa, es decir, un supuesto previo a la gestión del dominio público hidráulico"*. De lo anterior se deduce que estos caudales entrarán en segundo orden de prioridad, después de los usos para abastecimiento de poblaciones y anteriores al resto de usos: agrarios, industriales, de recreo, etc.

Para la determinación de estos caudales el propio Plan de la Cuenca del Ebro indica que durante el primer horizonte del plan se desarrollarán estudios precisos para su cuantificación, debiendo determinarse por tramos de cauce. Estableciendo al respecto una fijación provisional de los caudales de compensación: *"En tanto los volúmenes y caudales de compensación no estén fijados, se tendrán en cuenta, con carácter transitorio, las siguientes indicaciones...2) se adoptará, de forma orientativa, como caudal mínimo el 10% de la aportación media interanual al régimen natural..."*

Por último, la Directiva Marco del Agua dispone la obligatoriedad, para los Estados miembros de la UE, de mantener unos caudales en los ríos que permitan mantener, o en su caso recuperar, su *"estado ecológico natural"*.

En esta introducción legislativa hemos utilizado diferentes denominaciones: *"caudal ecológico"*, *"caudales de compensación"*, *"caudales de mantenimiento"*; en definitiva nos estamos refiriendo *al caudal que hay que dejar en un río aguas debajo de cada aprovechamiento de regulación o derivación* (los cuales modifican el régimen natural del río) *para que se mantenga un nivel admisible de desarrollo de la vida acuática* [Palau, 1994]. En este trabajo se utilizará la denominación de **"régimen de caudales de mantenimiento"** y hace referencia a una demanda social en boga en la sociedad en su conjunto y en la aragonesa en

particular, para evitar el deterioro del patrimonio hídrico natural. Además estos caudales son fundamentales para la expansión del “turismo verde” (visitas a parques naturales, cañones de río, etc) y para la práctica de los deporte de aventura, pesca deportiva y usos recreativos, se trata en definitiva de unos sectores emergentes en Aragón.

En cuanto a la determinación de estos caudales siguiendo al profesor Palau podemos decir que existen tres metodologías:

- a) un primer bloque de *métodos basados en la caracterización hidrológica de caudales*: mediante el estudio de series temporales largas de registros de caudales, se establece el caudal mediante alguna operación aritmética más o menos compleja, o a partir de un parámetro estadístico. A este bloque corresponde el fijado transitoriamente en la Cuenca del Ebro del 10% del caudal medio interanual restituído al régimen natural
- b) un segundo bloque de *metodologías sujetos a criterios hidráulico-biológicos*: se basan en el estudio de la evolución de una serie de parámetros morfohidráulicos definitorios del hábitat de una comunidad acuática determinada.
- c) y por último los *métodos de simulación de hábitats*.

Para la realización de este documento se ha descartado el primer bloque de métodos por no ser representativos del régimen de los ecosistemas fluviales, y como el propio plan de cuenca establece, ser su aplicación transitoria y el tercer bloque por su complejidad y no estar muy extendido en la actualidad. Por tanto hemos escogido el *método del caudal básico* que se encuadra dentro del segundo bloque.

El **método del Caudal Básico** consiste básicamente en la definición de un *Caudal Básico* que recoge el caudal mínimo que debe circular por el río, al que se le añade un *caudal de mantenimiento*, para que tengan lugar todos los procesos biológicos e hidromorfológicos asociados al río y se de la oscilación estacional propia de su régimen hidrológico natural. Por último, se establecen unos caudales de avenidas de gran importancia para la configuración del cauce, dinámica del bosque de ribera, movilización del sustrato, etc. que son los *caudales generadores*.

Para analizar los cauces de los ríos aragoneses después de la infraestructuras de regulación o derivación se han empleado los datos facilitados por la Oficina de Planificación en las estaciones de aforo adyacentes, tanto anteriores como posteriores, y las salidas de las obras de regulación. Dado el escajo margen de tiempo para la realización del presente estudio se han muestreado algunas de las derivaciones más importantes y más representativas de los diferentes regímenes de aprovechamiento.

En general, se podría decir que la alteración del régimen de caudales del río está determinado por el aprovechamiento existente aguas arriba, así las centrales hidroeléctricas con regulación, que disponen de la posibilidad de almacenar caudales que una vez turbinados se sueltan al río, el régimen del mismo se acomoda el régimen de turbinados de la central, que a su vez, se ajusta a las horas punta de pro-

ducción de energía eléctrica. En estos casos, no suele existir un problema de caudales aunque sí de afección al régimen natural del río, sufriendo alteraciones en el régimen en función de las horas de turbinado. Una central de este tipo es la central hidroeléctrica de Mequinzenza ubicada en la presa del mismo nombre.

Las centrales fluyentes toman el agua del cauce sin regularlo pero que en algunos casos, dependiendo de la orografía del terreno, se hace necesario que la toma se produzca aguas arriba, en estos casos se modifican el cauce del río mientras el agua circula por la infraestructura de conducción a la central. Una vez turbinados los caudales regresan al río sin grandes alteraciones en su régimen pues estas centrales disponen de capacidad de regulación. Este tipo de aprovechamiento hidroeléctrico es el más habitual en Aragón y ocasiona que en muchos tramos superiores y medio de los ríos el agua circule por los canales hidroeléctricos en vez de discurrir por el cauce del río.

Las infraestructuras de regulación que suponen una detracción importante de los caudales de los ríos aragoneses son los destinados principalmente a usos agrarios y al abastecimiento de poblaciones. Este funcionamiento encaja dentro del aprovechamiento habitual de los recursos hídricos, sin embargo lo que choca es observar como en la mayoría de este tipo de infraestructuras, los únicos caudales que se sueltan al río son los equivalentes a las servidumbres, bien sea históricas o concesionales, de aguas abajo y las sueltas necesarias para mantener en los embalses el resguardo de seguridad para laminar avenidas. Las concesiones y servidumbres suelen tener una dotación constante de 10 ó 15, por ejemplo, metros cúbicos por segundo, que nada tiene que ver con regímenes de caudales de mantenimiento que estamos analizando. En estos casos, las servidumbres obligan a mantener caudales constantes que nada tienen que ver con la irregularidad propia de los ríos aragoneses.

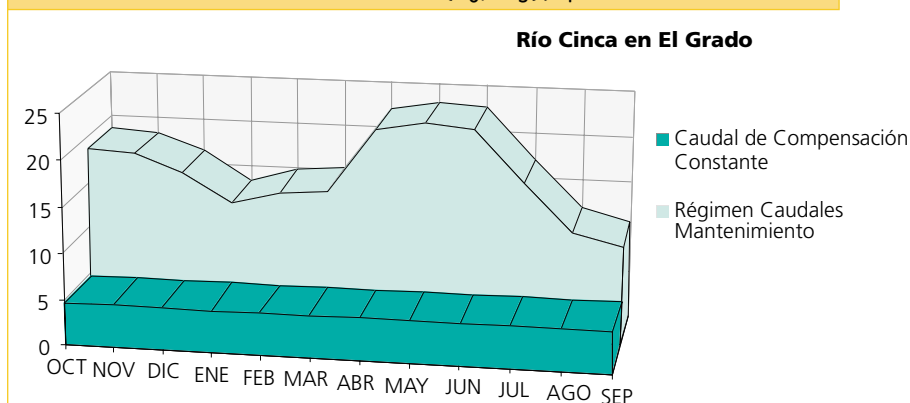
Sin lugar a duda el cumplimiento de los mandatos de la ley de aguas y las disposiciones de la Directiva Marco del Agua para recuperar el "estado ecológico natural de los ríos" supondrá una disminución de las disponibilidades del recurso hídrico, que llevara aparejada una revisión de las actuales concesiones existentes aguas debajo de las infraestructuras de regulación y aprovechamiento que hemos comentado unas líneas más arriba. Para ilustrar esta nueva situación hemos tomado como ejemplo el tramo del río Cinca que va desde el embalse de El Grado hasta la desembocadura del río Vero. En este tramo de unos 20 km se da un uso intensivo de los recursos hídricos: un embalse de regulación de aguas para regadíos (El Grado), 4 centrales hidroeléctricas, una piscifactoria, una papelera, extracción de áridos, además de los riegos de la huerta tradicional.

Dentro del equipo pluridisciplinar que abordó un estudio para la gestión sostenible del río Cinca en el tramo comentado, Rafa Sánchez del Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo de la Universitat de Lleida analizó las características hidrológico-biológicas del río para la determinación de un régimen de caudales de mantenimiento. La implementación de este régimen se contrastó con la coexistencia del resto de usos actuales mediante el Sistema Soporte de Decisiones de aprovechamiento de recursos hídricos AQUATOOL. El resultado principal de la simulación de las potencialidades hidrológicas del curso fluvial

comentado podemos decir que el establecimiento de este régimen de caudales supone una revisión de las concesiones existentes aguas abajo del embalse de El Grado, así como la necesaria modernización de los regadíos que toman del vaso del embalse, si bien la introducción de una nueva central hidroeléctrica, a pie de presa de El Grado, que turbine el régimen de caudales de mantenimiento, podría compensar parte de las concesiones que se revisen a la baja.

Gráfico 5

comparación de un caudal constante de compensación con un régimen de caudales de mantenimiento (m^3/seg), periodo mensual.



Fuente: Análisis, diagnóstico y propuesta para la gestión del río Cinca.

Aunque los resultados obtenidos para este tramo del río no son generalizables al resto de los tramos de los ríos de Aragón, sí que se puede argumentar que en muchos de los aprovechamientos estudiados no se cumple ni tan siquiera el mantenimiento de un caudal de compensación del 10% de la aportación interanual restituida al régimen natural. Esto conlleva asociado un deterioro de los ecosistemas fluviales que hace necesario la aplicación, como mínimo del caudal de compensación establecido en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro, para en horizonte no muy lejano el establecimiento del régimen de caudales de mantenimiento que permita recuperar el estado ecológico natural de los ríos en Aragón. Todo ello a tenor de lo dispuesto en la normativa vigente.

No obstante la determinación de estos caudales se ha de realizar dentro del marco establecido legalmente que indica que no sólo primarán los criterios hidráulico-biológicos sino que también habrán de tenerse en cuenta los aspectos socioeconómicos implicados.

5. el cambio climático y los recursos hídricos

La problemática relativa a la influencia del cambio climático sobre la gestión de los recursos hídricos requiere tomar una *posición adaptativa* ya que se trata de un fenómeno externo a la gestión del recurso para lo cual habrá que buscarse estrategias de adaptación que puedan contrarrestar sus efectos.

Como establece el Libro Blanco del Agua la influencia del cambio climático sobre la gestión de los recursos hídricos opera en dos fases:

- una primera modificando las condiciones atmosféricas que influyen en el ciclo hidrológico natural (podría suponer modificaciones en la calidad y cantidad del recurso así como en la variabilidad del mismo);
- y posteriormente esta modificación hidrológica se puede traducir en efectos sobre la utilización del agua en los sistemas de aprovechamiento de las mismas, incidiendo en sus reglas de gestión.

Para dilucidar los efectos que el cambio climático puede tener sobre los recursos hídricos habrá que diferenciar correctamente estas dos fases identificando los previsible en efectos de cada una de ellas.

En el caso de Aragón al hallarse inmerso en la cuenca del Ebro y al no disponer de estudios específicos sobre este territorio se toman los resultados obtenidos por algunas investigaciones para la cuenca del Ebro.

Así el propio Libro Blanco del Agua para un espacio temporal de 30 años y bajo la hipótesis de una duplicación de los niveles de CO₂ atmosférico, que impliquen un aumento de la temperatura de 1°C y de una disminución de la media anual de las precipitaciones de un 5% prevé una disminución de la aportaciones de la cuenca del Ebro en torno al 15%. Indicando que una de las áreas donde el impacto sobre los recursos hídricos se manifiesta más severamente es en el valle del Ebro.

Para otros autores como Ayala-Carcedo el horizonte a tener en cuenta los efectos del cambio climático en la planificación hidrológica ha de ser mayor y realiza sus cálculos para el horizonte temporal del año 2060. Extrapolando las hipótesis del libro Blanco del Agua al año 2060 las aportaciones de la cuenca del Ebro disminuirían entorno a los 2.244 hm³. Este mismo autor al extrapolar las previsiones contenidas en el Plan Hidrológico Nacional al año 2060 supone una disminución de las aportaciones de 217 hm³. Mientras que sus previsiones para el año 2060 se sitúan en una disminución de 177 hm³.

Si las investigaciones existentes hasta la fecha estiman una disminución de las aportaciones de la cuenca del Ebro, para Aragón, pieza fundamental en la cuenca, las previsiones son claramente a la baja también. De cara a una gestión de los recursos hídricos de que se dispone, se hace necesario, cada vez más, incluir los impactos derivados del cambio climático, máxime cuando se habla de horizontes temporales a medio largo plazo.

6. consideraciones finales

A lo largo de estas páginas se han descrito varios factores que afectan negativamente en las disponibilidades de los recursos hídricos en Aragón:

- En primer lugar, un bloque compuesto por aforestación de las cabeceras de los ríos y la disminución de las precipitaciones, con alguna variación en temperaturas,
- En segundo lugar, el establecimiento de un régimen de caudales de mantenimiento que permita recuperar el estado ecológico natural de los ríos. Para dar cumplimiento a la legislación vigente en materia de aguas.
- Y en tercer lugar, los efectos previsibles derivados del cambio climático traducidos en incremento de las temperaturas y disminución de las precipitaciones, así como aumento de la evaporación en lagos y embalses, y el mayor consumo de agua por las plantas.

Se trata de cuestiones que vienen impuestas por distintos motivos: el incremento de la cubierta vegetal es un proceso que se inicia a mediados del siglo XX y tiene que ver con el abandono de muchas tierras de cultivo y pastos para el ganado; el mantenimiento de caudales en los ríos está explícitamente contenido en la normativa vigente sobre gestión de los recursos hídricos y el proceso de cambio climático se debe a los gases invernadero que durante décadas se han liberado a la atmósfera, por tanto la mejor forma de afrontar estas situaciones parece venir del lado de la precaución y tomar estrategias adaptativas de gestión de los recursos hídricos.

También parece aconsejable tener presente la sinergia que se puede dar entre el cambio en los usos del suelo y los efectos del cambio climático: aumento de la cubierta vegetal unido a un incremento de la temperatura y una disminución de las precipitaciones supone una mayor evapotranspiración y por tanto una mayor disminución de la escorrentía.

En el contexto actual de disminución de las aportaciones de los ríos aragoneses y variaciones climáticas que pueden incidir más negativamente en la disponibilidad de los mismos, unido a la presión que se ejerce sobre el agua por los diferentes usuarios, agricultura, hidroelectricidad, usos ambientales, etc. convierte a los recursos hídricos en un bien escaso, cuya asignación, y por tanto gestión, ha de realizarse más eficientemente si se quiere atender los requerimientos existentes actualmente.

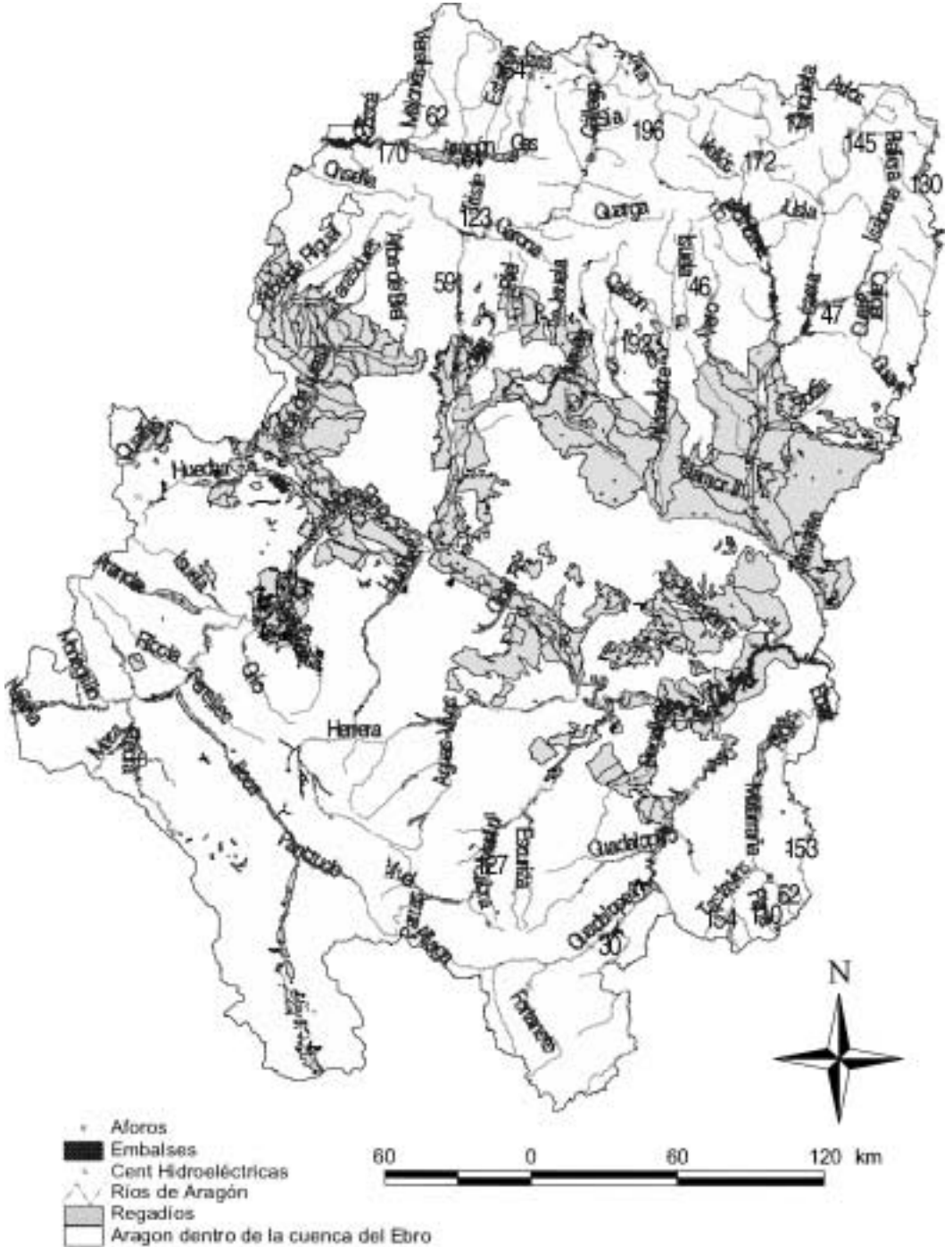
Por todo ello parece lógico pensar que cualquier modificación que pueda suponer una alteración importante de los recursos hídricos actualmente disponibles ha de venir del lado de la prudencia y ha de estar fuertemente sustentada y basada en estudios y análisis muy meditados, y ha contar con la participación de los agentes sociales implicados.

bibliografía

- Ayala-Carcedo FG, Iglesias A; (2000) Impactos del posible cambio climático sobre los recursos hídricos de diseño y planificación hidrológica en la España peninsular. *El campo de las ciencias y las artes*. 137. 201-222
- Bielsa J., Sánchez-Chóliz J., Duarte R. (2001) "Agua y estructura productiva", *Papeles de Economía Española: El valle medio del Ebro*; Ibercaja. Zaragoza. Págs 71-81.
- Confederación Hidrográfica del Ebro (2002). Oficina de Planificación Hidrológica. Series de caudales registrados en las estaciones de aforo de la cuenca. Entradas y salidas de embalses. Precipitaciones y temperaturas.
- Gallart F, Llorens P (2001); "Efectos de los cambios de uso y cubierta del suelo en los aportes del río Ebro y su evolución futura", en *El Curso Inferior del Ebro y su Delta*; Departamento de Ecología, Facultad de Biología, Universidad de Barcelona.
- García Ruiz, J M , Berguería S, López Moreno J I, Lorente A y Seeger M (2001); *Los recursos hídricos superficiales del pirineo aragonés y su evolución reciente*; Geoforma Ediciones; Logroño.
- García Santos (2000): *La cuestión de los sobrantes del Ebro en el PHN*. Documento de trabajo pendiente de publicación.
- García Vera MA, Abaurrea J, Asín Lafuente J y Centelles Nogués A (2002); "Evolución de las precipitaciones en la cuenca del Ebro: caracterización espacial y análisis de tendencias"; en Cuadrat, J.M.; Vicente, S.M. y Saz, M.A. (editores): *La información climática como herramienta de gestión ambiental*, VII Reunión Nacional de Climatología; Universidad de Zaragoza
- MIMAM (1998): Libro Blanco del Agua en España. Ministerio de Medioambiente. Madrid.
- MIMAM (2000): Memorias del Plan Hidrológico Nacional. Ministerio de Medioambiente. Madrid.
- Ollero A., Miguélez E., Sánchez R., Elosegi U. (2002): "Análisis, diagnóstico y propuestas para la gestión del río Cinca en el tramo presa de El Grado-Confluencia del Vero"; *Revista del Centro de Estudios del Somontano de Barbastro*, núm 7, pag 7-31.
- Palau Ibars (1994): "Los mal llamados caudales ecológicos: bases para una propuesta de cálculo"; *Revista de Obras Públicas* núm. 28; págs 84-95.

anexo

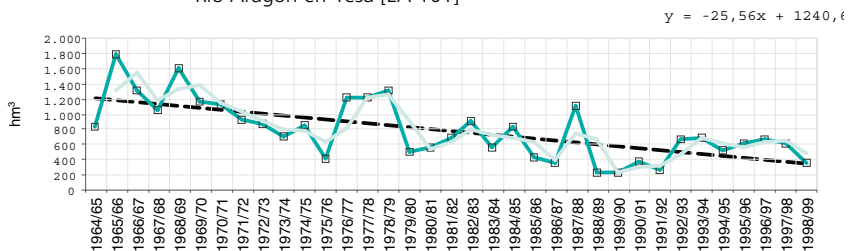
Mapa general del área de estudio. Se muestran las estaciones de aforo muestreadas, así como los aprovechamientos hidroeléctricos y embalses que se han tenido en cuenta en el trabajo.



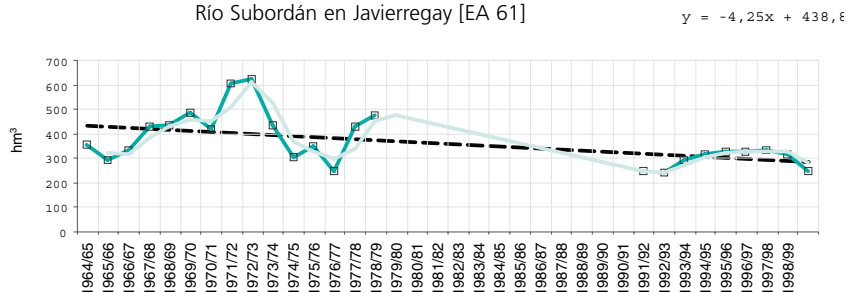
Fuente: Elaboración propia a partir de ficheros.shp descargados de <http://www.oph.chebro.es/>

estaciones de aforo analizadas en la margen izquierda del ebro en aragón:

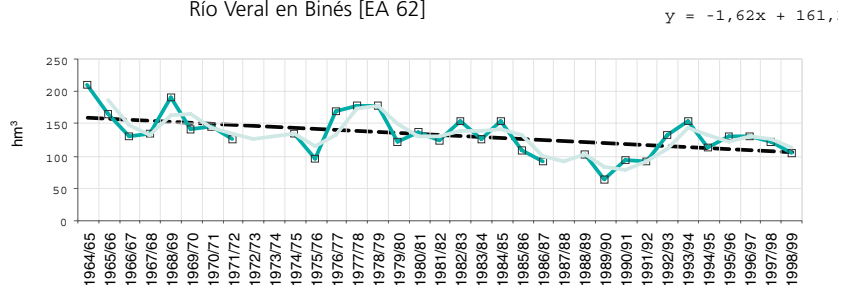
Río Aragón en Yesa [EA 101]



Río Subordán en Javierregay [EA 61]



Río Verál en Binés [EA 62]

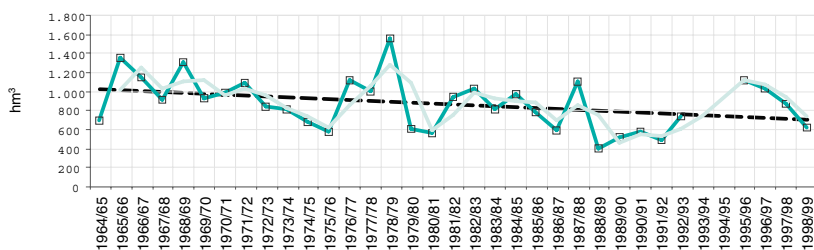


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos facilitados por la OPH.

estaciones de aforo analizadas en la margen izquierda del ebro en aragón: (continuación)

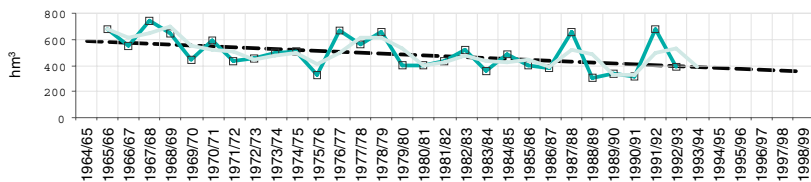
Río Gállego en Anzánigo [EA 123]

$$y = -9,47x + 1028$$



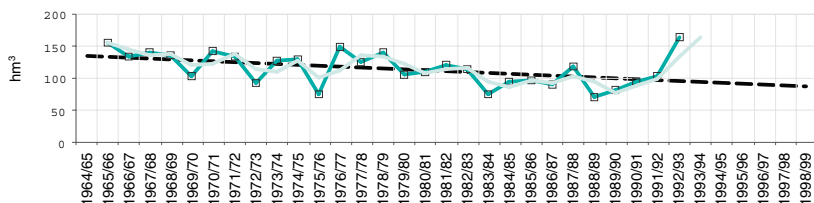
Río Cinca en la Fortunada [EA 172]

$$y = -7,12x + 597,$$



Río Cinqueta en Molino de Gistain [EA 171]

$$y = -1,40x + 135$$

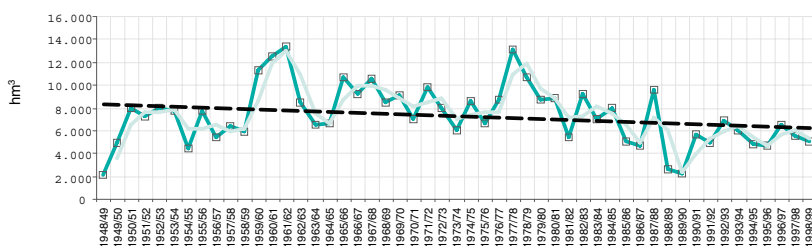


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos facilitados por la OPH.

estaciones de aforo muestreadas para el río ebro:

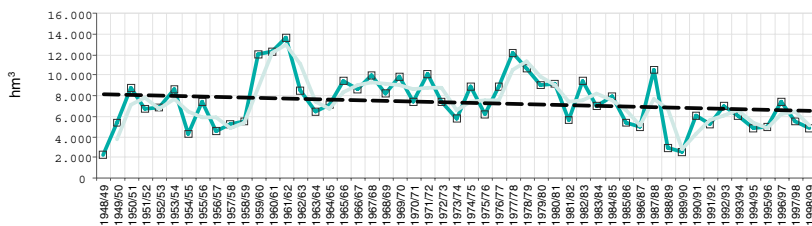
Río Ebro en Castejón [EA 02]

$$y = -40,79x + 8361$$



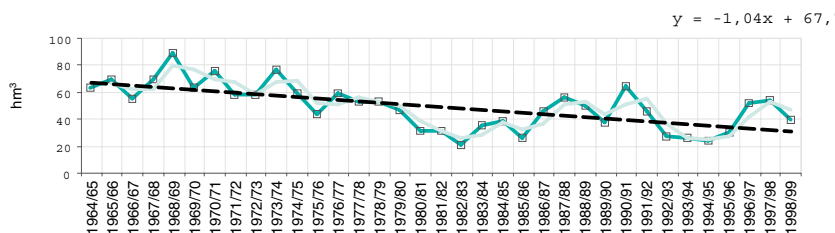
Río Ebro en Zaragoza [EA 11]

$$y = -31,76x + 8101,1$$

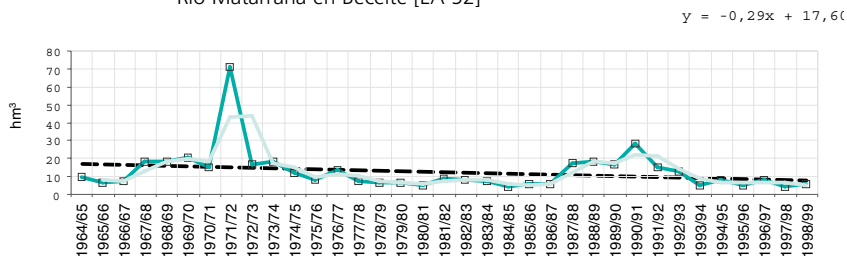


resto de estaciones de aforo de la margen derecha: (continuación)

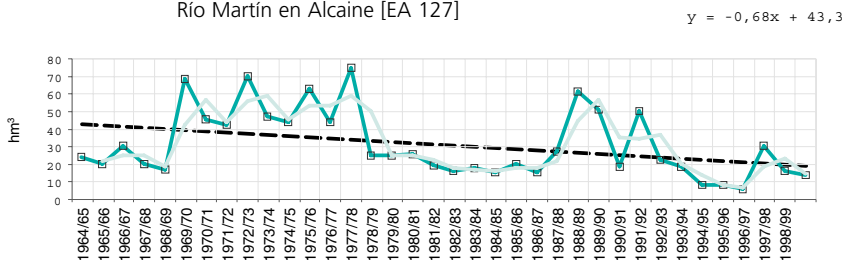
Río Piedra en Nuévalos [EA 8]



Río Matarraña en Becite [EA 52]



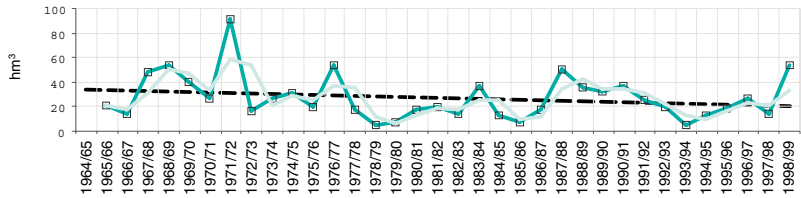
Río Martín en Alcaine [EA 127]



resto de estaciones de aforo de La
margen derecha: (continuación)

Río Algas en Hortas de San Juan [EA 153]

$$y = -0,38x + 33,1$$



Río Tastavins en Peñarroya [EA 154]

$$y = -0,28x + 13,5$$

