

Informe sobre el proyecto del Plan Hidrológico Nacional

Francesc Gallart Gallego

Resumen

En la estimación de los recursos hídricos modelada en el Plan Hidrológico Nacional (PHN) y el Libro Blanco del Agua en España (LBAE) no se ha considerado, ni siquiera a nivel de incertidumbre, la reducción de las aportaciones en régimen natural que cabe esperar, según el estado del arte en hidrología científica, como consecuencia del aumento de la cubierta forestal que han sufrido la mayoría de las áreas de cabecera de las cuencas hidrográficas durante los últimos decenios. En su forma actual, las estimaciones de los recursos hídricos del LBAE y del PHN no son aceptables desde el punto de vista científico por razones metodológicas.

Para verificar la esperable disminución de los aportes en régimen natural se han revisado los datos ofrecidos por el PHN y el LBAE sobre el bajo Ebro, el río Tajo en la toma del Acueducto Tajo-Segura (ATS) y el río Guadalentín en el embalse de Puentes (a partir del año 1940). Los resultados muestran disminuciones anuales de los aportes, en relación con los recursos medios, del 0,2% en el bajo Ebro, del 1% en la cabecera del Tajo, y del 2,7% en el Guadalentín, todos ellos estadísticamente significativos. En el río Ebro la variabilidad climática se ha tenido en cuenta, ya que se han utilizado los resultados de la simulación del PHN, y se ha considerado el aumento de los regadíos. En los otros dos casos el PHN no aporta la información necesaria para separar el efecto climático, y se ha considerado despreciable en aumento de los regadíos.

En el caso del río Ebro la reducción observada no pone en cuestión las cifras manejadas en el PHN, ya que queda compensada en la estimación del balance por una sobreestimación del consumo de los regadíos, pero tiene dos consecuencias importantes: 1) cabe esperar que la pérdida de recursos sea mucho más importante que la observada en los afluentes que tienen sus cabeceras en áreas de montaña media, lo que puede comprometer la viabilidad de alguno de los embalses proyectados, y 2) los retornos de los regadíos son mucho más importantes que los indicados en el PHN, de modo que es necesario valorar el papel de nuevos regadíos en el previsible empeoramiento de la ya deteriorada calidad del agua del río Ebro en sus tramos inferiores.

En el caso de la cabecera del río Tajo, si se mantiene la tendencia actual, las aportaciones medias en la toma del ATS serán inferiores a su asignación actual (650 hm³ anuales) a partir del año 2010. Este resultado cuestiona seriamente la posibilidad de aumentar los volúmenes trasvasados realmente desde su puesta en servicio.

Estos resultados muestran por lo tanto la necesidad de proceder a una revisión de la estabilidad temporal de las diferencias entre los aportes simulados y los observados en puntos de control, preferiblemente de zonas de cabecera. En las zonas donde se conoce que se ha producido un aumento significativo de la cubierta forestal, la hipótesis hidrológica de partida es la disminución de los aportes por aumento del consumo en régimen natural, de modo que las pruebas estadísticas deben diseñarse adecuadamente. La evolución futura de los descensos detectados depende de la gestión de las áreas de cabecera (montes y cultivos de secano) y no de la gestión de los recursos hidráulicos.

El problema de la estimación de los recursos hídricos ante los cambios de la cubierta vegetal en las cabeceras

El método empleado en el Libro Blanco del Agua en España (LBAE) y el Plan Hidrológico Nacional (PHN) para la estimación de los recursos hídricos (aportaciones en régimen natural) permite considerar las variaciones temporales de la precipitación y la evapotranspiración potencial, pero supone que la respuesta de las cuencas a las condiciones climáticas (o la relación entre precipitación y escorrentía) no varía con el tiempo. Sin embargo, está científicamente demostrado desde hace más de 20 años que los cambios de cubierta vegetal en una cuenca modifican el balance de agua y las relaciones precipitación-escorrentía, a causa de un mayor consumo de agua por parte de la vegetación forestal (véase una recopilación clásica en Bosch y Hewlett, 1982). De hecho, el modelo empleado permite simular los cambios de cubierta vegetal de las cuencas con resultados cualitativamente coherentes (Ruiz-García, 1999), pero esta capacidad del modelo no ha sido empleada ni siquiera para evaluar la incertidumbre de los recursos ante posibles cambios de cubierta vegetal en las cabeceras.

En la mayor parte de cabeceras de cuencas hidrográficas Españolas (sobre todo en áreas de montaña media) se ha producido en los últimos decenios un aumento de la cubierta forestal, como consecuencia del abandono rural y de las políticas ambientales y agrarias. Como primera aproximación, debe considerarse que el establecimiento de una cubierta forestal en una zona con una pluviometría de 800 mm anuales representa una disminución de la escorrentía anual de unos 150 mm, es decir, $0,15 \text{ hm}^3 \text{ km}^{-2}$ (Bosch y Hewlett, 1982).

La detección de las consecuencias hidrológicas de los cambios de cubierta vegetal es relativamente sencilla en cuencas experimentales de pequeño tamaño, pero se vuelve difícil en cuencas de gran extensión a causa de las incertidumbres introducidas por diversos factores como la falta de una cuenca de referencia y la variabilidad espacial de las precipitaciones y de las características de las cuencas (Beschta et al., 2000).

A pesar de estas dificultades, en un estudio de la calidad y relevancia económica, social y ambiental del LBAE debería haberse estudiado este problema de un modo explícito, ya que las bases científicas que lo justifican están claramente desarrolladas, además de que, como ya se ha comentado anteriormente, el modelo de simulación de las aportaciones empleado permitía hacer por lo menos un análisis de sensibilidad o de incertidumbre. Además, contrariamente a lo que ocurre con el presumible cambio climático, los cambios de cubierta vegetal se están produciendo y son mensurables desde hace años.

Por último, es necesario insistir en que en una cuenca en la que se haya producido un aumento de la cubierta forestal *cabe esperar*, de acuerdo con los conocimientos claramente establecidos en hidrología científica, que se haya producido un aumento del consumo natural de agua y, por lo tanto, una disminución de los aportes en condiciones climáticas similares. Si esta disminución no se detecta, ello puede deberse a un efecto de compensación (por ejemplo, aumento del área urbanizada), a la insuficiente calidad o duración de las observaciones, o a la elevada variabilidad temporal de las condiciones climáticas. En las pruebas estadísticas de tendencias temporales, la hipótesis nula es usualmente la estabilidad temporal, que se rechaza si su probabilidad es menor que un umbral preestablecido. En el caso que nos ocupa, las pruebas estadísticas deberían diseñarse sin embargo para evaluar el riesgo que se asume al suponer una estabilidad temporal del comportamiento de las cuencas. Por ejemplo, si la pendiente de la regresión lineal de la diferencia entre los aportes observados y los simulados respecto al tiempo es menor que 0 con una probabilidad de 0,1, lo que habría que hacer no es aceptar la hipótesis nula estadística (estabilidad temporal) sino aceptar la hipótesis nula hidrológica (descenso), ya que la probabilidad de que en el futuro se reduzcan los aportes es de 0,9, lo que puede comprometer seriamente las inversiones diseñadas. En los ejemplos que siguen, para una mayor credibilidad, se han utilizado los criterios usuales en inferencia estadística, considerando que la hipótesis nula es la estabilidad temporal, y tomando umbral de $p < 0,02$ para su rechazo.

El balance hidrológico del río Ebro

Ante la alarmante disminución de los aportes históricos del río Ebro en Tortosa, en el PHN se ha realizado una revisión de los datos existentes para establecer un balance de agua de esta cuenca. El primer paso, la crítica y reconstrucción de la serie histórica de aportes en Tortosa es convincente y proporciona una serie sensiblemente más estable temporalmente. En cambio, el segundo paso, la atribución de los descensos observados al aumento del consumo por regadío, es una aproximación poco rigurosa que debe ser revisada.

En efecto, la elevada correlación entre las series de consumos y superficies regadas (Figura 72 del PHN) no demuestra que ‘Los sobrantes observados en la desembocadura pueden explicarse *completamente* como una consecuencia directa de los aprovechamientos de regadío de la cuenca...’, ya que es necesario además que el consumo neto de agua por hectárea regada haga coincidir los valores absolutos de las dos series. La superposición de las dos series en la figura 72 representa un consumo neto de 6.667 m^3 por hectárea y año, que corresponden casi exactamente a la dotación agrícola media indicada en el LBAE una vez descontado un retorno del 20 % (6.440 m^3

ha⁻¹) de modo que la evolución de los otros usos consuntivos puede explicar la pequeña diferencia.

Sin embargo, este consumo agrícola está claramente sobrevalorado, ya que, sumado a la precipitación efectiva, representaría una evapotranspiración real igual o superior a la de referencia (potencial). Se trata por lo tanto de una estimación del consumo adecuada para la planificación hidrológica pero no para estudiar el balance de agua de la cuenca. Una estimación robusta (Casterad y Herrero, 1998), mucho más realista y que puede considerarse representativa de la mayor parte de los regadíos de la cuenca del Ebro evalúa el consumo en 4.366 m³ ha⁻¹, incluyendo un retorno que, por comparación con modelos agronómicos, puede ser de algo más del 10%. Este consumo específico es similar al estimado para la cuenca del río Guadalquivir en el reciente inventario de la Junta de Andalucía (pág. 198 del PHN), a pesar de la mayor demanda evapotranspirativa en esta última cuenca.

En la figura 1 se representa la evolución temporal simplificada de los consumos agrícolas asumiendo un consumo específico de 4.400 m³ ha⁻¹, juntamente con los consumos netos (diferencia entre los aportes simulados por el PHN y la serie histórica reconstruida, Fig. 69 del PHN) no explicados por los consumos agrícolas. Se asume que la evolución de los restantes usos consuntivos (250 hm³ anuales en la actualidad según el LBAE) queda compensada por el retorno de los regadíos, ya que son menos del 10%.

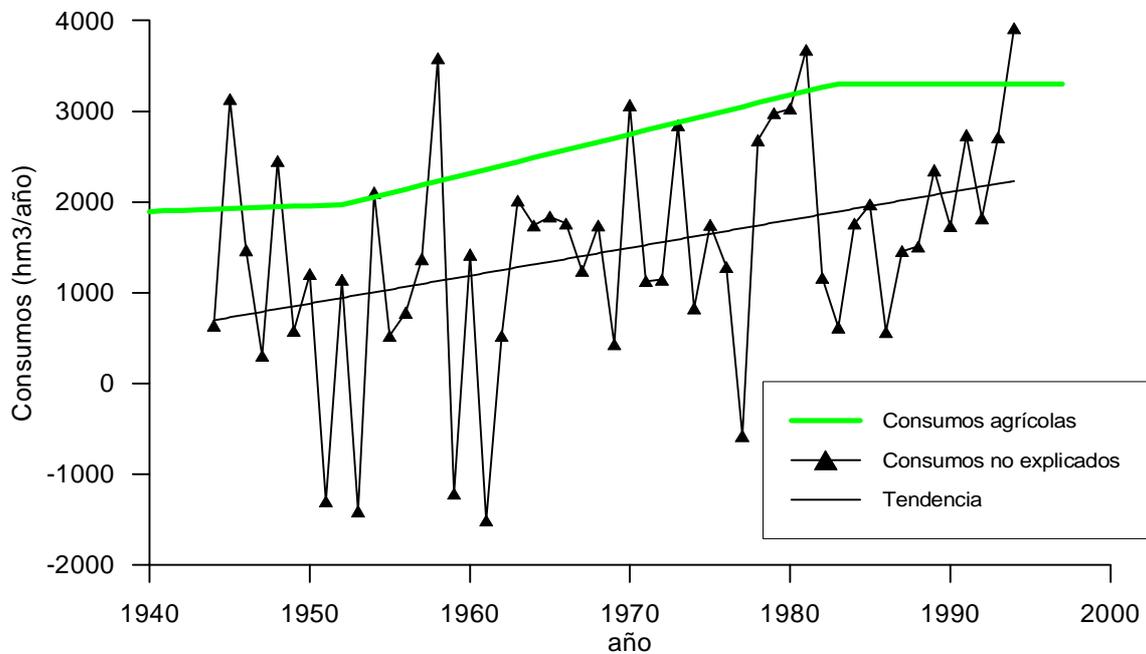


Figura 1: Revisión del balance de agua del río Ebro

La pendiente de la tendencia de los consumos no explicados por los regadíos es significativamente distinta de 0 (prueba de Student, $p=0,009$) y corresponde a un aumento anual de $30,7 \text{ hm}^3$ (0,2% de los recursos medios). Esta tendencia puede explicarse *grosso modo* por el establecimiento de una cubierta forestal en una extensión de 200 km^2 anuales (0,2 % de la superficie de la cuenca).

Esta reducción de los aportes en régimen natural no afecta seriamente a las grandes cifras del PHN, ya que queda compensada por la sobreestimación del consumo agrícola. Sin embargo hay que tener en cuenta las siguientes observaciones:

El aumento de consumo de agua de una cuenca al ser forestada es aproximadamente proporcional a la precipitación media (Bosch y Hewlett, 1982). Una parte muy importante de los recursos hídricos de la cuenca del río Ebro se generan en zonas de alta montaña con elevadas precipitaciones, por encima del nivel altitudinal del bosque o cerca de él, en zonas que fueron deforestadas en el pasado para aumentar la superficie de los pastos. Estas zonas han sufrido pocos cambios de cubierta vegetal durante los últimos decenios, ya que, aunque haya descendido la presión ganadera y ya no se utilice el fuego para conservar los pastos, la recuperación del bosque cerca de su límite altitudinal es muy lenta. El descenso observado de los aportes en régimen natural se debe haber originado mayormente por el aumento de la cubierta forestal en áreas de montaña media que fueron utilizadas para la agricultura o la ganadería extensiva o habían sido deforestadas por otras causas. Cabe por lo tanto esperar que la reducción de los aportes haya sido mucho más importante en los afluentes que tienen sus cabeceras en estas áreas de montaña media, sobre todo los procedentes de la margen derecha. En el futuro cabe sin embargo prever cierto estancamiento del aumento de la cubierta forestal en estas zonas de montaña media, mientras que la forestación de las zonas de mayor altitud continuará lentamente pero con un mayor coste hidrológico; en cualquier caso, la evolución futura de los recursos hídricos de la cuenca del Ebro no depende solamente de los regadíos, sino del consumo natural condicionado por la evolución y gestión de las áreas de cabecera.

La calidad del agua del bajo Ebro para el regadío está condicionada por su contenido en sulfatos y cloruros. Las aguas de retorno de los regadíos del valle del Ebro suelen presentar elevadas concentraciones de estas sustancias, siendo necesario un elevado retorno de los regadíos para evitar la rápida salinización de los suelos. El análisis de la evolución futura de este problema (Volumen *Análisis ambientales*, apartado 6.3.6.2.1) se ha realizado de un modo demasiado superficial, ante el importante aumento de los regadíos previsto en el Plan Hidrológico del Ebro.

La cabecera del río Tajo y el Acueducto Tajo-Segura

En el LBAE se justifican los escasos volúmenes transvasados por el Acueducto Tajo-Segura (ATS) desde su inauguración (menos de la mitad de los 600 hm³ anuales previstos en su primera fase) por la sequía prolongada durante el período 1980-1994, además de una gestión poco previsoras de los embalses de la cabecera del Tajo al principio de su puesta en marcha.

En la Figura 274 del LBAE se muestra la serie de aportaciones netas anuales a la cabecera del Tajo desde 1912/13 hasta 1996/97, remarcando que la media del período de sequía antes mencionado es claramente inferior a la media de la serie completa. No se especifica si la serie representada corresponde a observaciones o a una serie modelada, pero para el análisis que continúa, se ha supuesto que se trata de observaciones. (En caso de tratarse de una serie modelada, la mayor parte de las consideraciones que siguen serían inadecuadas, pero sería evidente que en los últimos 20 años se ha producido un descenso relativo de precipitaciones en la cabecera del Tajo respecto a la media de la cuenca).

Sin embargo, la comparación de esta figura con la de los aportes anuales simulados para el conjunto del río Tajo (Figura 110 del LBAE) muestra claramente algunas anomalías durante los últimos 15 años del registro, ya que aunque las aportaciones simuladas en los años 1984, 1987, 1989 y 1995 superan netamente la media interanual en el río Tajo, los aportes a la cabecera se mantienen inferiores a su respectivo valor medio interanual.

En la Figura 2 se han reproducido los aportes de la figura 274 del LBAE. Si analizamos el conjunto de la serie, se hace evidente una disminución anual de los aportes equivalente a 7,8 hm³, estadísticamente significativa ($p=0,006$), pero la tendencia negativa es más evidente en la segunda mitad de la serie, ya que hasta el año 1940 la pendiente de la tendencia es prácticamente nula. A fin de poder establecer una comparación con las series empleadas en el LBAE y el PHN, se ha analizado la tendencia de la serie 1940-1996, para la que puede suponerse una estabilidad de las precipitaciones; esta serie muestra un decrecimiento anual de 12,3 hm³, estadísticamente significativa ($p=0,015$) a pesar de la alta variabilidad de los valores anuales. Este descenso de los aportes representa una disminución anual del 1% respecto a los aportes medios, y, en caso de continuarse en el futuro, los aportes medios serán inferiores a la demanda actual del ATS (650 hm³ año⁻¹) a partir del año 2010.

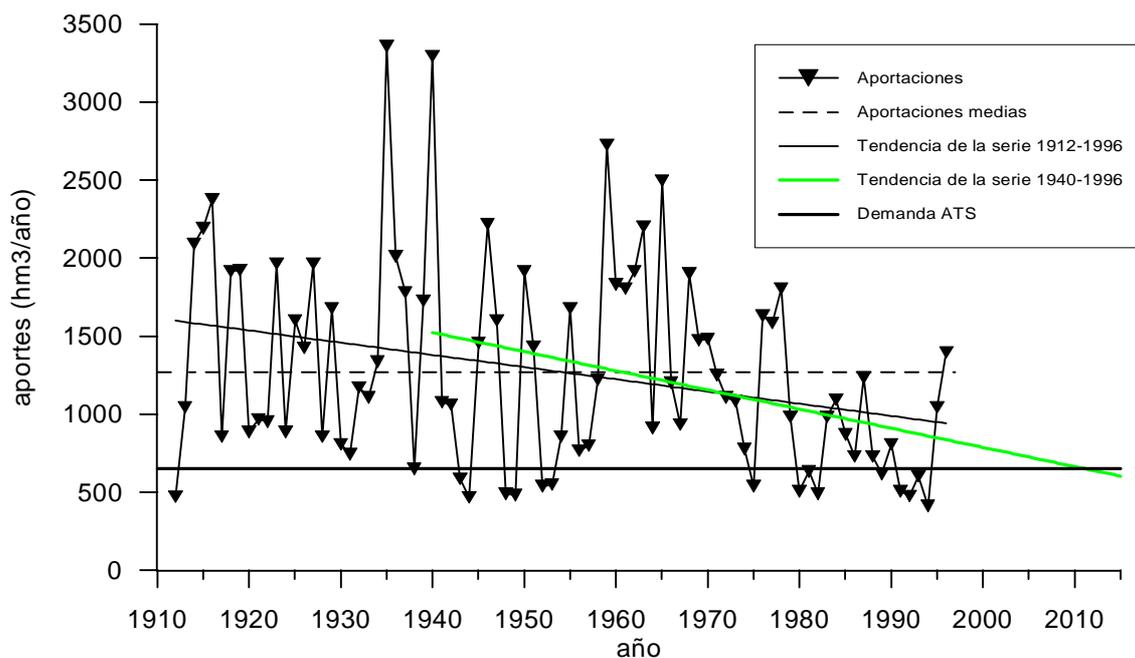


Figura 2: Aportaciones en la cabecera del río Tajo (datos de la Figura 274 del LBAE)

Un análisis similar al descrito arriba fue presentado como parte del Informe del Consejo Superior de Investigaciones Científicas al LBAE. Se trata de un simple análisis estadístico de los datos aportados por el LBAE, que muestra la necesidad de un análisis hidrológico mucho más detallado. Sin embargo, en el documento del PHN no se propone ninguna revisión de los datos ni de su interpretación, ni tampoco se consideran las limitaciones que estos descensos pueden representar en los planes de las cuencas receptoras que consideran un aumento de su dotación actual. Solamente se mencionan las ‘incertidumbres hidrológicas asociadas’ a los aportes del ATS (pág. 233), y se sigue considerando viable el aumento de su capacidad hasta los 1000 hm³ anuales previstos inicialmente para la segunda fase.

El Guadalentín en el embalse de Puentes

En la figura 65 del LBAE se muestra el registro histórico de los aportes del río Guadalentín en el embalse de Puentes. En esta figura sorprende a primera vista el espectacular descenso de los aportes, con una disminución anual de 0,68 hm³ (1,8% de los aportes medios), altamente significativo ($p < 0,0001$). Contrariamente a lo que sucedía en el alto Tajo, según puede observarse en la figura 3, la tendencia es similar para toda la serie, siendo el descenso medio anual del periodo 1940-1995 de 0,63 hm³ (2,7% de los aportes medios de este período), estadísticamente significativo ($p = 0,008$).

Sin embargo, en el PHN se ha considerado que los aportes para la planificación corresponden a los aportes medios del período de referencia, lo que debe rechazarse incluso desde el punto de vista simplemente estadístico. Para valorar los aportes esperables en el futuro sería necesario como mínimo comparar la serie simulada a partir de las precipitaciones con la serie observada, y, en su caso, proceder a una parametrización del modelo adecuada.

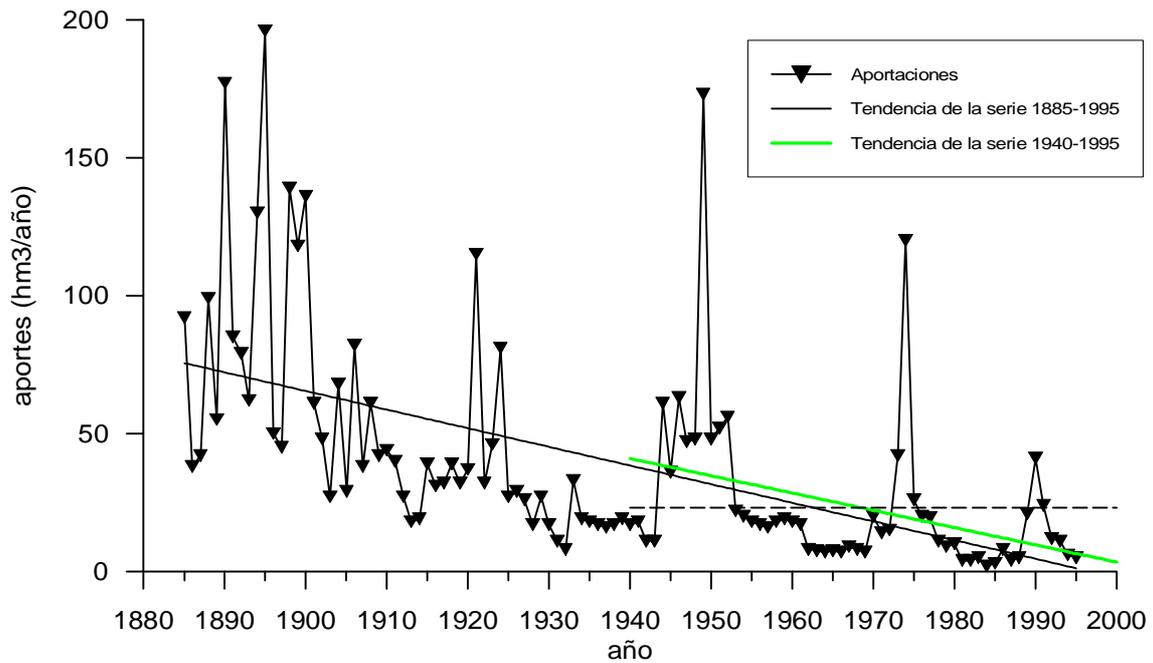


Figura 3: Aportaciones anuales del río Guadalentín en la presa de Puentes (datos de la fig. 65 del LBAE)

Conclusiones

1) Las estimaciones de los recursos hídricos realizadas para el PHN no son aceptables, ya que se han realizado suponiendo que las cabeceras de las cuencas hidrográficas no han sufrido cambios de la cubierta vegetal que hayan modificado su respuesta hidrológica en régimen natural durante los últimos 55 años.

2) En los tres casos en los que el LBAE y/o el PHN proporcionan los datos adecuados, se han observado disminuciones estadísticamente significativas de las aportaciones a lo largo del tiempo que no se justifican por aumentos del consumo por regadíos u otro uso consuntivo de recursos hidráulicos. Estas disminuciones, en decrementos anuales en relación con los aportes medios, son del 0,2% en el bajo Ebro, del 1% en la cabecera del río Tajo, y del 2,7% en el río Guadalentín en el embalse de Puentes. Estos resultados confirman que la primera conclusión no es de orden meramente académico, sino que afecta seriamente la planificación de recursos e infraestructuras, y que el descenso de las aportaciones es ya claramente detectable con los datos de que se dispone actualmente. En el caso particular del Tajo, si se mantiene la tendencia actual, los aportes medios a la toma del Acueducto Tajo-Segura serán inferiores (con una probabilidad de 0,5) a su asignación actual (650 hm³ anuales) a partir del año 2010.

3) Se recomienda proceder a una revisión de la estabilidad temporal de los aportes en régimen natural en puntos de control, preferiblemente de áreas de cabecera o en puntos de elevado interés estratégico, verificando si hay una deriva temporal de la diferencia entre los aportes simulados y los observados. Las pruebas estadísticas deberán diseñarse con un criterio hidrológico y no simplemente estadístico, valorando el riesgo de error en las predicciones de los recursos.

4) La evolución futura de los recursos hídricos en régimen natural no están solamente amenazados por un presumible cambio climático, sino que, según los claros indicios comentados, ya están siendo reducidos desde hace algunos decenios por los cambios de comportamiento de las cabeceras de las cuencas. Una planificación de infraestructuras y recursos que no tenga en cuenta estos hechos corre un riesgo elevado de cometer errores de elevado coste económico, social y ambiental. Una gestión sostenible de los recursos hidrológicos requiere una gestión integrada de las cuencas en las que se considere explícitamente el consumo de agua en régimen natural y la gestión de la cubierta vegetal y los usos del suelo en las áreas de cabecera.

Barcelona, 13 de noviembre de 2000

Referencias

- Beschta, R.L., M.R. Pyles, A.E. Skaugset, C.G. Surfleet (2000). Peakflow responses to forest practices in the western cascades of Oregon, USA, *Journal of Hydrology* (233)1-4 pp. 102-120
- Bosch, J.M. y J.D. Hewlett (1982). A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 55: 3-23.
- Casterad, M. A. y J. Herrero (1998). Irrivol: a method to estimate the yearly and monthly water applied in an irrigation district. *Water Resources Research*, 34: 3045-3049
- Ruiz-García, J.M. (1999). *Modelo distribuido para la evaluación de recursos hídricos*. Monografías del CEDEX, 67. Ministerio de Fomento, Madrid, 245 pp.