

5. CUENCA DEL EBRO

5.1. INTRODUCCIÓN

Por razones históricas de tradición e intensidad en el aprovechamiento de los recursos hídricos, la cuenca del Ebro constituye un área singular en el contexto de las grandes cuencas hidrográficas españolas. Su condición de territorio susceptible de transferencias externas, unida a este carácter histórico hidráulico singular, hacen que el estudio de esta cuenca adquiera la mayor relevancia en el contexto del presente Plan Hidrológico Nacional.

Como datos básicos del espacio, cabe indicar que su superficie total es de casi 85.000 km² (el 18% del total español), siendo la longitud total del río Ebro de 910 km, existiendo muchos importantes afluentes y cauces secundarios, y existiendo también numerosos lagos de montaña y lagunas en cuencas endorreicas. Todo ello da lugar a una notable complejidad y variedad hidrológica, coexistiendo situaciones de abundancia de agua en varias épocas del año -sobre todo en la margen izquierda-, con otras de escasez estructural en algunas subcuencas de la margen derecha, tan críticas y precarias como las zonas más secas y deficitarias del sureste español. Esta complejidad hidrológica se ha traducido en una gran riqueza de modos organizativos y de ordenación de los aprovechamientos hidráulicos.

Desde el punto de vista del medio hídrico, existen en la cuenca del Ebro numerosos espacios ribereños de gran riqueza ambiental, algunos de muy alto valor ecológico y paisajístico. Además, un gran número de actividades recreativas ligadas al agua -como la pesca, el baño, la navegación o la simple visita a entornos fluviales o de lagos o embalses-, están socialmente implicadas en numerosos ámbitos de la cuenca. Entre los usos productivos del agua destaca la agricultura de regadío, existiendo una superficie total próxima a las 800.000 ha. En estos regadíos se alcanzan con frecuencia rendimientos plenamente competitivos con los de la Unión Europea, y en ellos se ha desarrollado al mismo tiempo un importante sector agroalimentario, principalmente en el valle del Ebro, con buenas perspectivas también para la ganadería.

Desde el punto de vista administrativo, la cuenca del Ebro comprende territorios adscritos a nueve Comunidades Autónomas, siendo por tanto una cuenca intercomunitaria muy compleja, con multitud de intereses regionales contrapuestos, cuya contemplación conjunta y armonización resulta imprescindible, y para la que el Plan Hidrológico de cuenca ha resultado ser un instrumento de fundamental importancia. No resulta ajena a ello la vieja tradición organizativa de los usos del agua, una muestra de la cual es el hecho de que la cuenca del Ebro fuese pionera en una visión territorial integral para llevar a cabo el aprovechamiento hídrico de forma participativa y mancomunada, mediante la creación de la Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro en 1926, verdadera referencia mundial como antecedente histórico de los organismos de gestión del agua por cuencas hidrográficas.

De forma simplificada, pero no desatinada, puede decirse que la historia hidráulica de la cuenca del Ebro es la historia de una aspiración permanentemente postergada y nunca plenamente satisfecha. Así, desde tiempos remotos se han sucedido las iniciativas de toda índole para incrementar el aprovechamiento del agua, en el convencimiento social de que este aprovechamiento equivalía a la prosperidad de las comarcas que podían disfrutarlo. La no completa materialización de estas aspiraciones ha creado en distintos territorios de la cuenca una sensación de frustración y agravio histórico que, sin perjuicio de su actual validez, resulta basada en hechos objetivos, y es por tanto legítima y explicable. Esta percepción social es el origen de la defensa a ultranza de los recursos hídricos de la cuenca del Ebro, realizada en épocas pasadas por amplios sectores sociales, y que encontró también –junto a algunas posiciones irreflexivas e irresponsables– soportes intelectuales de la mayor ponderación y buen juicio.

En el marco de este Plan Hidrológico Nacional es obligado contemplar tales complejas y conflictivas realidades con el mayor rigor y ecuanimidad, huyendo de prejuicios y sesgos iniciales, procurando desarrollar los análisis con toda transparencia expositiva, y buscando el final último de la planificación hidrológica que no es, en definitiva, sino el de la mejor ordenación de todas las aguas del país.

Para desarrollar tales análisis, en lo que a disponibilidades hídricas se refiere, este capítulo se divide en tres grandes secciones.

En primer lugar, se comenzará por una revisión específica del clásico problema de los sobrantes del Ebro, sobre el que se ha reflexionado y escrito mucho desde hace décadas, y cuya completa clarificación y cuantificación es un paso previo inexcusable en el estudio de posibles transferencias externas.

Tras ello, se estudiará el sistema de explotación global de la cuenca, analizando sus distintos componentes, y evaluando su comportamiento previsible conforme a las determinaciones del Plan Hidrológico del Ebro.

Por último, se evaluará con detalle la verdadera disponibilidad de hipotéticos excedentes, concluyendo con unas determinaciones básicas y robustas a los efectos de este Plan Nacional.

5.2. LA CUESTIÓN DE LOS *SOBRANTES DEL EBRO*

La cuestión de los *sobrantes del Ebro* es, sin duda, uno de los grandes temas recurrentes, clásicos, del debate hidráulico español en las últimas décadas.

La literatura existente al respecto es extensa, y aborda el problema desde perspectivas jurídicas, políticas, socioeconómicas, ambientales e hidrológicas. Interesantes ejemplos de estas contribuciones son, por ejemplo, las de Martín-Retortillo (1974), Moreu Ballonga (1993), Confederación Hidrográfica del Ebro (1996), Embid Irujo (1995), o de los Ríos Romero (1990).

Entre las referencias que se ocupan del asunto es muy frecuente que, a la luz de los datos de aforos observados en las proximidades de la desembocadura, se ponga de manifiesto el hecho aparente de que estos sobrantes tienden a disminuir con el paso del tiempo, mostrando una inequívoca tendencia que, de continuar en el futuro, acabará por anularlos. Las razones que se apuntan para ello son muy diversas (disminución de las lluvias en las últimas décadas, deforestación, aumento de consumos, manifestación del cambio climático, etc.), y han sido enunciadas por lo común como meras hipótesis, sin un contraste crítico. El resultado es que la idea de una anómala disminución de los caudales del Ebro se ha extendido ampliamente por la opinión pública, creando inquietud social, sin que se haya clarificado rigurosamente la exactitud de esta hipótesis y, en su caso, las razones a las que se debe.

En la discusión sobre posibles transferencias desde el Ebro esta cuestión adquiere una importancia capital, pues cualquier posible iniciativa ha de partir, evidentemente, de la existencia de tales sobrantes, como requisito previo a cualquier otro. Distintas voces desde la cuenca del Ebro han argumentado, con fundamento, que no cabe plantear una transferencia desde ese río sin que este asunto quede debidamente aclarado, y desde otras áreas del país, posibles receptoras de las transferencias, se ha reclamado también tal clarificación de forma que, como condición previa e inexcusable para abordar el proyecto, se asegure razonablemente una cierta continuidad y seguridad de los posibles aportes en el futuro.

Por todas estas razones, se ha considerado necesario, en el marco del Plan Hidrológico Nacional, realizar un estudio específico sobre la cuestión, tal y como seguidamente se expone.

5.2.1. INTRODUCCIÓN. CONCEPTOS PREVIOS

Los aportaciones observadas del río Ebro en su desembocadura son función de las aportaciones naturales del río (función a su vez de las lluvias y las condiciones hidrológicas), de las sueltas y almacenamientos en los embalses, de las afecciones a las aguas subterráneas, y de los consumos de agua en la cuenca. Este epígrafe tiene por objeto analizar y explicar las relaciones entre todas estas variables de forma agregada, investigando su comportamiento conjunto.

Si bien es conocido que los consumos de agua en la cuenca han crecido a lo largo del presente siglo, cabe hacerse la pregunta de si el crecimiento de los consumos justifica la

tendencia descendente que se observa en la serie, o ha de acudir a otras explicaciones tales como el descenso de las lluvias, el cambio climático, u otros factores ocultos y desconocidos.

Responder a esta pregunta es de vital importancia, pues permitirá extraer algunas conclusiones sobre el problema de los sobrantes del Ebro, motivo central en el análisis riguroso de las posibles transferencias de recursos que debe considerar este Plan Hidrológico Nacional.

Huelga decir que el significado que tradicionalmente se ha venido dando al término *sobrantes* es el coloquialmente admitido como equivalente a los desagües al mar, aunque, como es obvio, y sin entrar en otras interpretaciones y complejidades desde el punto de vista jurídico, tal calificación resulta impropia y errónea por ignorar los requerimientos ambientales del río y de su desembocadura. En un sentido estricto, solo cabe hablar -jurídica y técnicamente- de sobrante tras la correcta satisfacción previa de tales requerimientos, conforme a los conceptos sobre el sistema de utilización expuestos en el Libro Blanco del Agua en España. Los conceptos de déficit y excedente resultan igualmente equívocos, y han de interpretarse con las mismas cautelas. Más adelante se verá la consideración de estos conceptos en el caso concreto que nos ocupa.

5.2.2. LAS ESTACIONES DE MEDIDA DE CAUDALES Y SU FIABILIDAD

La estación de aforos más próxima a la desembocadura del río al mar se localiza en Tortosa y se denomina *E-27 río Ebro en Tortosa*. Dispone de datos de caudales desde principios de siglo, aunque éstos presentan muchas lagunas desde el inicio de la serie hasta comienzos de los años 50, tal y como puede verse en la figura adjunta.

La mera inspección visual de la serie revela, en efecto, un descenso continuado de las aportaciones del río Ebro, y fundamenta la percepción a que nos hemos referido anteriormente. Si, como han hecho muchos autores, se ensaya una regresión lineal de estos caudales con el tiempo, se obtiene la recta de tendencia mostrada, que resulta ser significativamente decreciente (estadístico t de la pendiente=-5.5; estadístico $F=30.2$). Si se continúa el proceso prolongando esta línea hacia el futuro, las aportaciones serían nulas el año 2075. Según la ventana temporal empleada por los distintos autores que se han ocupado del problema, esta fecha de agotamiento es distinta, pero en todos los casos se sitúa entrado el siglo XXI.

Este es, en síntesis, el planteamiento de la cuestión.

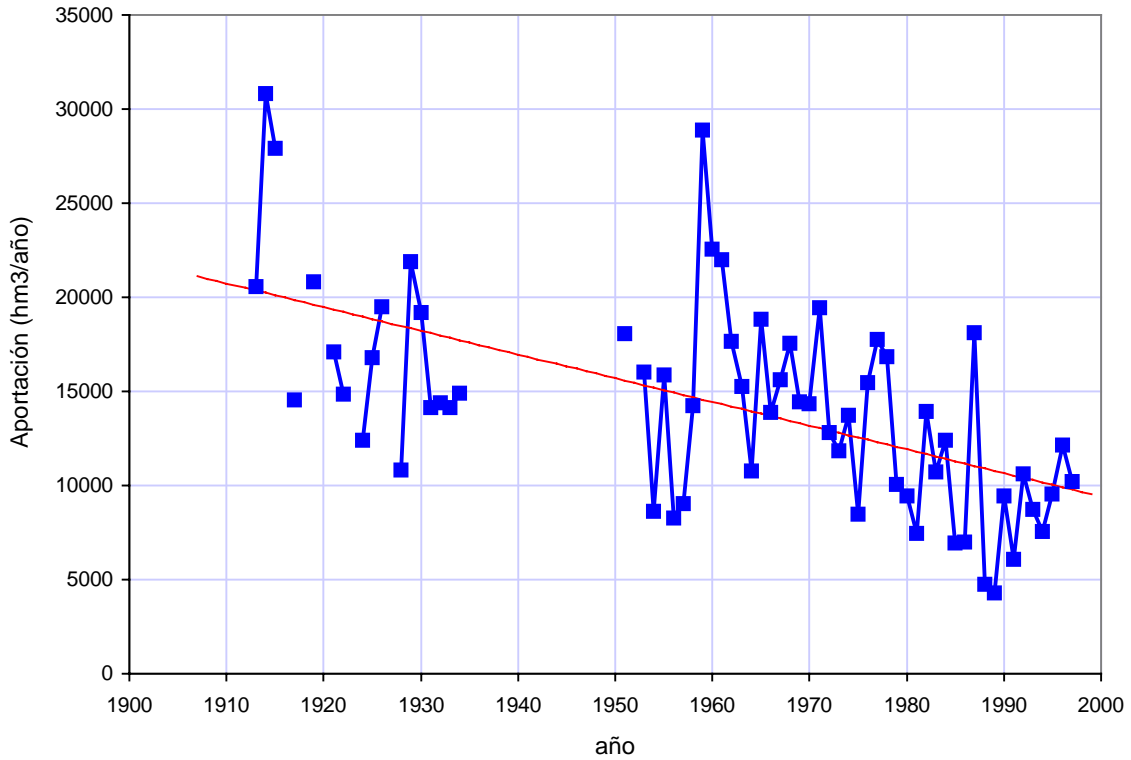


Figura 59. Aportaciones anuales del río Ebro en Tortosa (estación E-27)

El primer paso de nuestro análisis consiste en verificar la fiabilidad de los datos registrados en la estación E-27, para lo cual se han contrastado con los datos de otras estaciones. La figura muestra un esquema de la cuenca del Ebro con los principales ríos y estaciones de aforo de la zona.

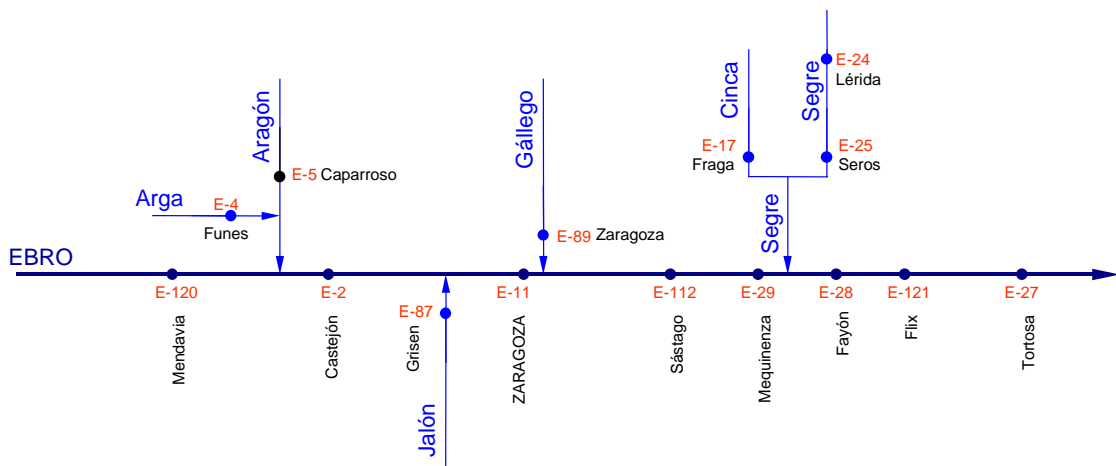


Figura 60. Esquema de la cuenca del Ebro con los principales ríos y estaciones de aforo

En primera instancia, la siguiente figura muestra las series de aportaciones en Tortosa (estación de aforos E-27) y en Zaragoza (estación de aforos E-11). Al comparar ambas

series se observa un primer hecho revelador, y es que la significativa tendencia descendente ($t\text{-pend}=-2.8$; $F=8.0$) que muestran los caudales en Tortosa entre los años 1913 y 1935 no aparece reflejada en el registro de Zaragoza. Más aún, la tendencia se invierte y pasa a ser significativamente creciente ($t\text{-pend}=3.1$; $F=9.4$). Ambas líneas de tendencia se han representado también en el gráfico.

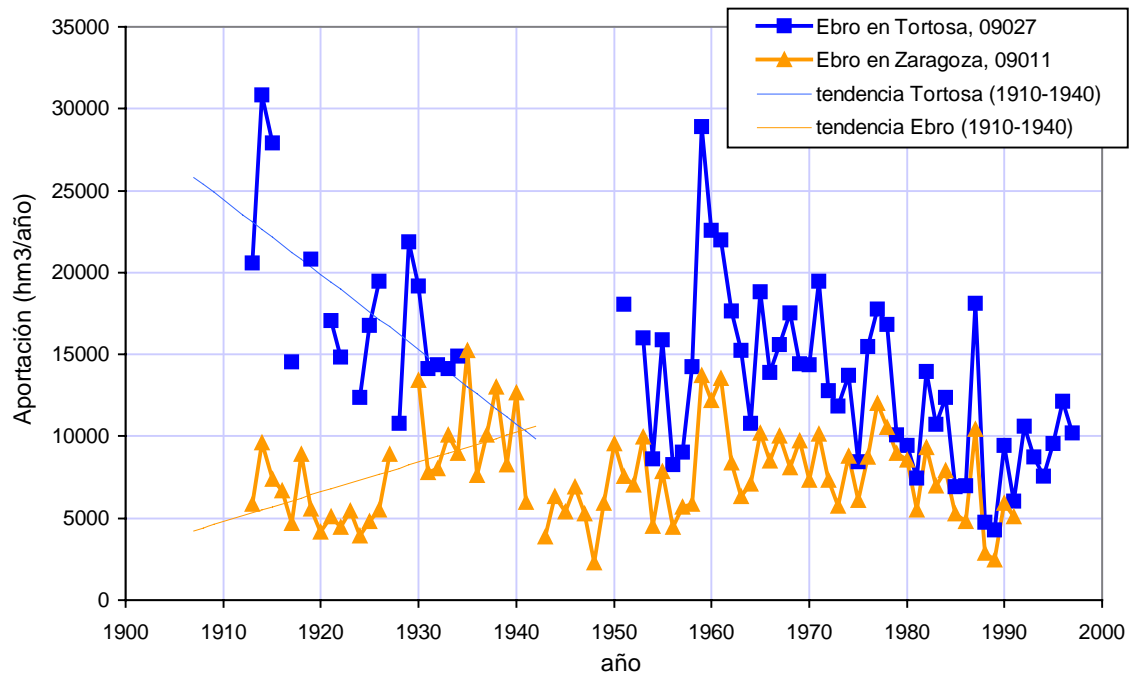


Figura 61. Aportaciones del río Ebro en Zaragoza (estación E-11) y Tortosa (estación E-27)

En este punto, la atención se centra en la serie de Zaragoza, resultando de interés para el análisis el comprobar la fiabilidad de los datos registrados en esta estación en el periodo comprendido entre los años 1910 y 1940.

Aunque las favorables características para la medición de la estación de aforos de Zaragoza y su estratégica ubicación permiten presumir que sus datos serán de calidad, se ha procedido a su comparación con los datos de la estación E-02, río Ebro en Castejón. Como puede verse, las dos series muestran caudales muy similares en todo el periodo de datos comunes (incluyendo los datos del periodo objeto de comprobación), como cabía esperar dadas las bajas aportaciones del Jalón. La excelente concordancia de registros avala, con gran probabilidad, su calidad.

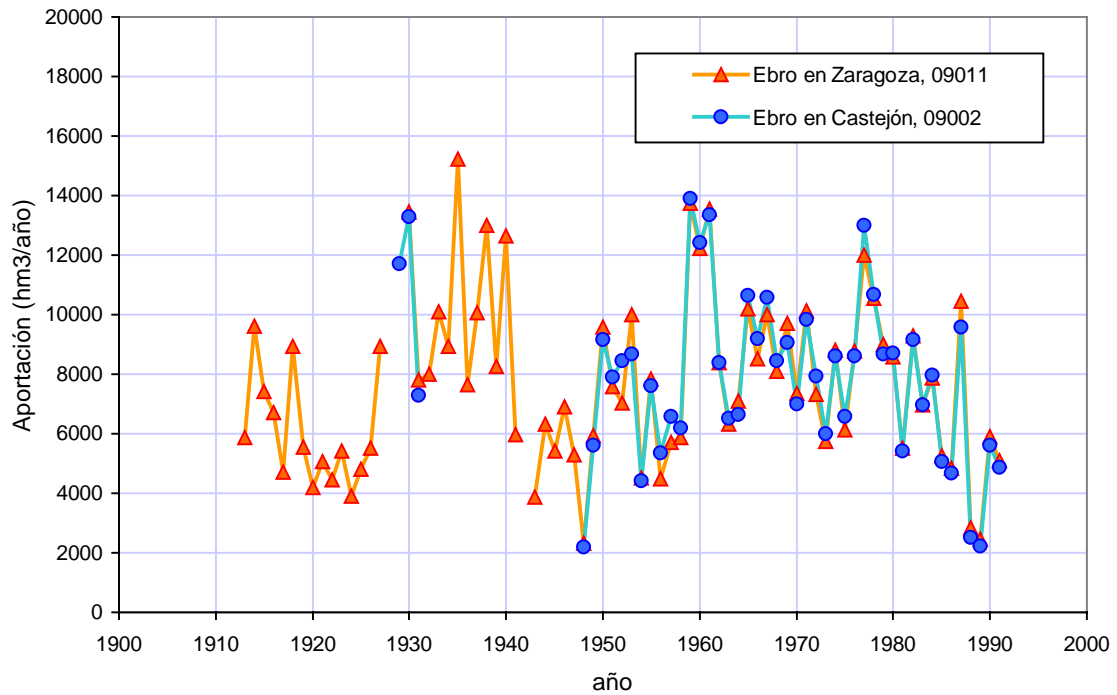


Figura 62. Series de aportaciones anuales del Ebro en Zaragoza (estación E-11) y en Castejón (estación E-02)

Asumida la bondad de los datos en Zaragoza, solo cabe una posibilidad para que los datos de la estación de Tortosa correspondientes al primer tercio de siglo sean fiables, y es que la serie de diferencias entre sus aportaciones y las registradas en Zaragoza fuera similar a las aportaciones del Segre, lo que significaría que este río debería haber tenido un periodo excepcionalmente húmedo entre los años 1910 y 1930, contrariamente a lo sucedido en el resto de la cuenca.

La siguiente figura muestra esa serie de diferencias, junto con una serie representativa de las aportaciones del río Segre. El análisis visual de los datos revela que en el periodo anterior a los años 30 la serie de diferencias proporciona unos valores muy elevados (del orden del triple) en comparación con los de la serie del Segre, mientras que el acuerdo es bueno en las décadas recientes. De ello se infiere nuevamente que los datos de la estación de Tortosa podrían tener errores importantes hasta los años 30, y que el registro desde mediados de los 50 puede considerarse, en principio, satisfactorio.

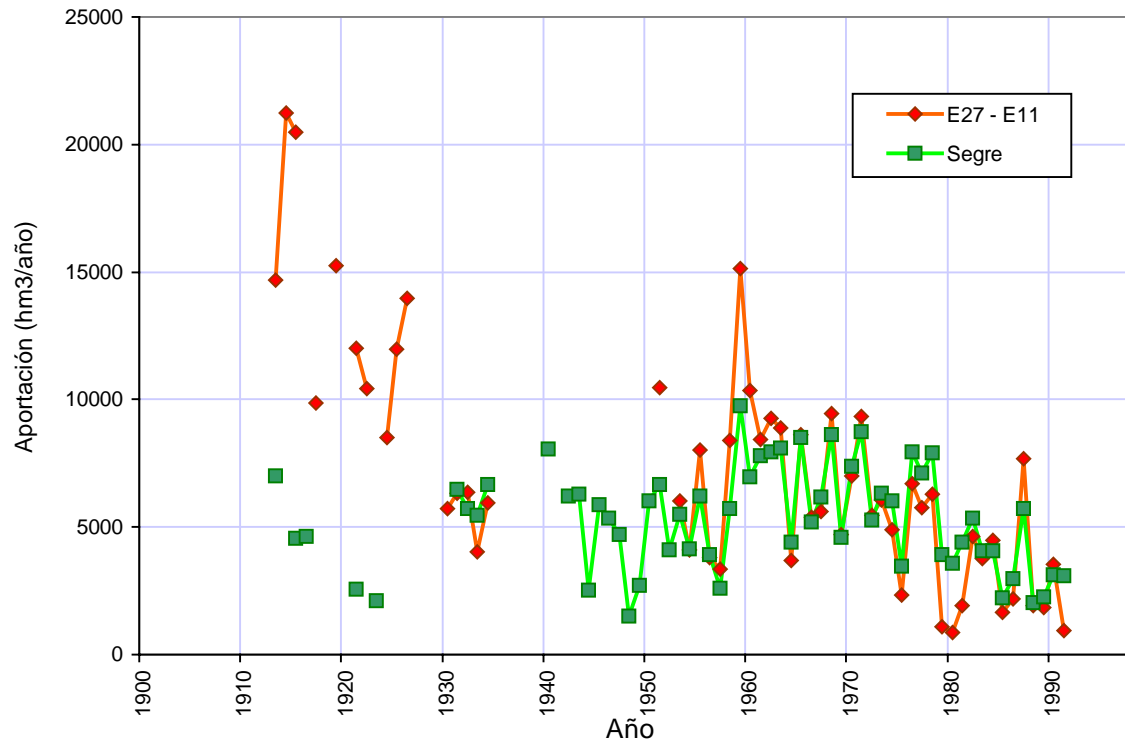


Figura 63. Estimación de las aportaciones del río Segre

5.2.3. ESTIMACIÓN DE LA SERIE DE APORTACIONES DEL EBRO EN DESEMBOCADURA

Caracterizada la fiabilidad de la serie de Tortosa, y descartada su validez en el periodo más antiguo, puede usarse como base para la obtención de una serie completa, larga, y representativa de los caudales circulantes en el tramo final, impropriadamente llamados *sobrantes* del río.

En efecto, al ser la estación E-27 la más próxima a la desembocadura y disponer de un número de datos elevado, parece conveniente completar algunos de los huecos que presenta, y generar una serie completada representativa de estos sobrantes, y que pueda emplearse para el análisis temporal del comportamiento global de la cuenca.

Para proceder, pues, a este completado se han utilizado los datos registrados en otras estaciones de aforo próximas, tal y como muestra la figura adjunta.

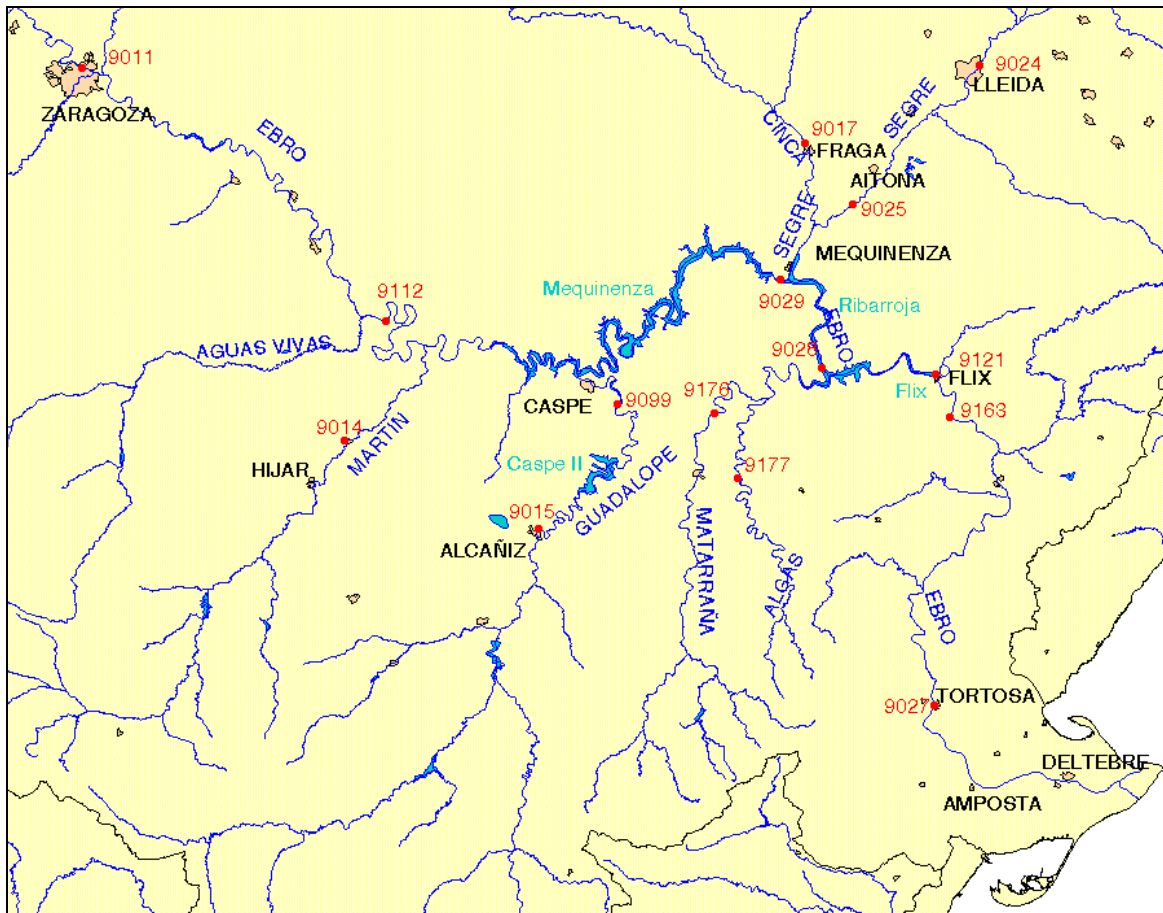


Figura 64. Mapa de estaciones de aforo en las proximidades de la desembocadura del Ebro

Descartado el periodo anterior al año 1940, con datos muy deficientes, el análisis que se realiza a continuación se centra en los años siguientes, que corresponden al periodo utilizado en los Planes Hidrológicos de cuenca y en el Libro Blanco.

Tras analizar los periodos de datos disponibles de cada estación (v. figura) y visualizar los datos con objeto de detectar posibles errores y observar sus relaciones, se ha procedido a completar la serie de aportaciones del Ebro en Tortosa de la siguiente manera:

- En los periodos comprendido entre los años hidrológicos 1940/41 a 1941/42 y 1944/45 a 1947/48 las aportaciones en Tortosa se han completado a partir de los datos registrados en las estaciones de aforo *E-11-río Ebro en Zaragoza* y *E-24 Río Segre en Lérida*, mediante la expresión siguiente:

$$E_{27} = 1.1 E_{11} + 2.1 E_{24}$$

- En el periodo comprendido entre los años hidrológicos 1942/43 a 1943/44 las aportaciones en Tortosa se han completado a partir de los datos registrados en las estaciones de aforo *E-29-río Ebro en Mequinenza* y *E-24 Río Segre en Lérida*, mediante la expresión siguiente:

$$E_{27} = E_{29} + 2.1 E_{24}$$

- En el periodo comprendido entre los años 1948/49 a 1950/51 y en el año 1952/53 las aportaciones en Tortosa se han supuesto equivalentes a las de la estación de aforos *E-121 río Ebro en Flix*.

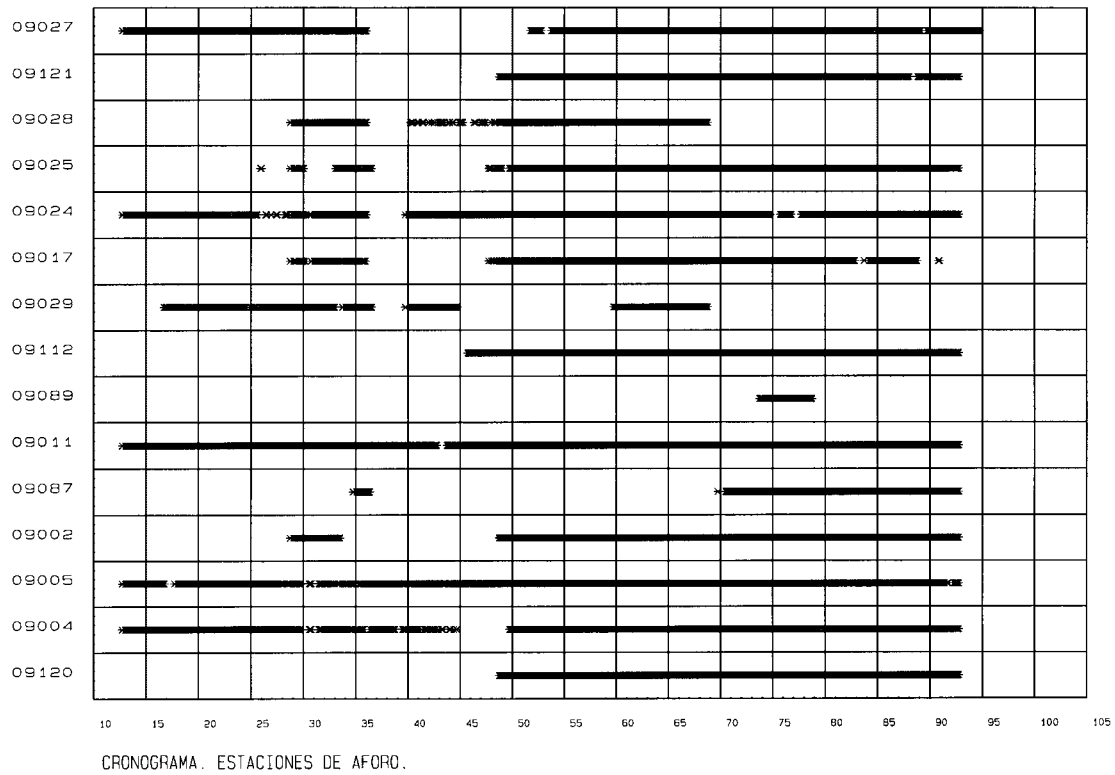


Figura 65. Cronograma de las principales estaciones de aforo con periodos con datos

Conforme a estos criterios, en la siguiente figura se muestra la serie de aportaciones del río Ebro en Tortosa en el periodo comprendido entre los años hidrológicos 1940/41 y 1997/98, diferenciándose los datos registrados y los completados a partir de otras estaciones.

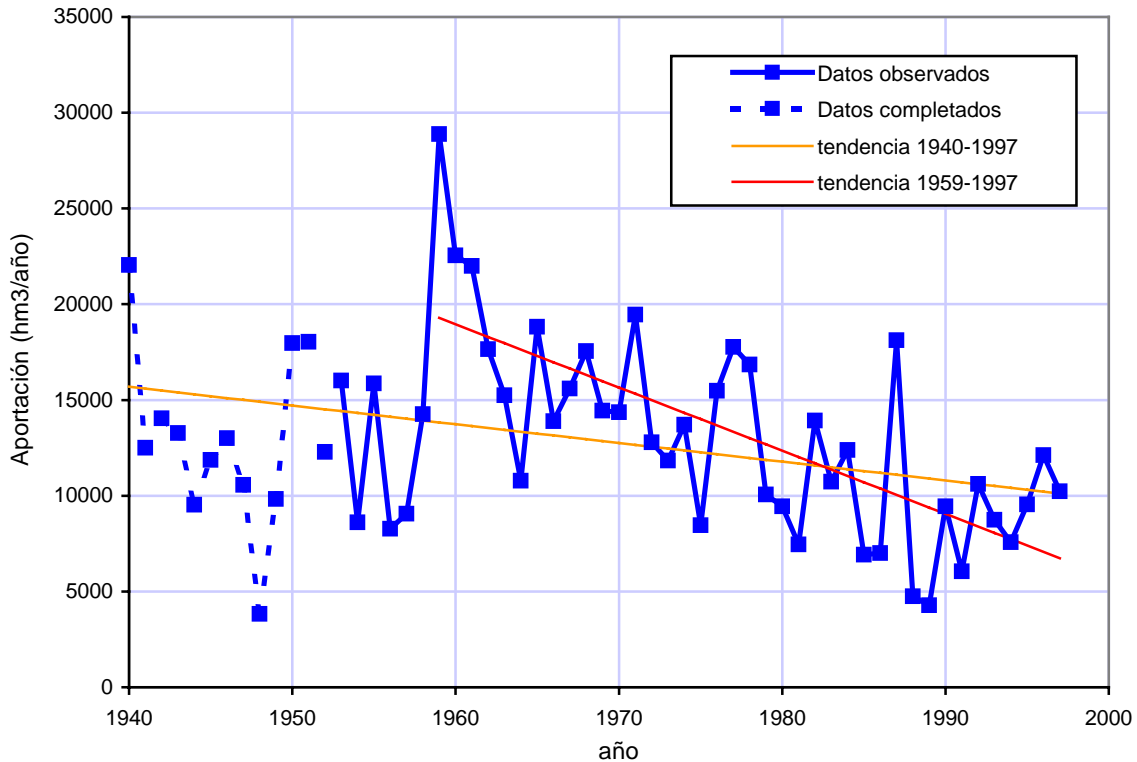


Figura 66. Aportaciones del río Ebro en Tortosa completadas para el periodo 1940/41 - 1997/98

5.2.4. LA DISMINUCIÓN DE SOBRANTES Y EL INCREMENTO EN LOS CONSUMOS

En la serie de aforos mostrada en la figura anterior puede observarse una significativa tendencia global descendente ($t\text{-pend}=-2.7$; $F=7.0$), inducida probablemente por el exacerbado efecto descendente desde los años 60 hasta la actualidad, que resulta ser claramente significativo ($t\text{-pend}=-6.1$; $F=37.7$). Ambas tendencias se han representado también en la figura. Puesto que el análisis previo revela que estos datos son suficientemente fiables, debe pensarse que la tendencia detectada es real, lo que nos conduce a la investigación de sus causas.

Como ya se ha dicho, se han propuesto distintas razones para explicar esta tendencia (merma de lluvias, aumento de consumos, cambios climáticos, etc.). En nuestro análisis se procederá a investigar si la razón más verosímil -el aumento de los consumos de agua en la cuenca del Ebro- puede ser razón suficiente que explique este comportamiento, o si esta causa es insuficiente, y es necesario acudir a otras variables explicativas tales como las lluvias.

5.2.4.1. EVOLUCIÓN DE CONSUMOS NETOS. BALANCE HÍDRICO

Si no existiesen almacenamientos en la cuenca, los consumos netos anuales de agua (detracción neta del sistema agregado) podrían estimarse directamente como diferencia entre las aportaciones anuales en régimen natural en la desembocadura del río al mar,

y las aportaciones anuales que realmente se han producido y que son asimilables a los sobrantes medidos en la estación de aforos de Tortosa. Puesto que en la realidad existen almacenamientos en la cuenca, la estimación anterior debería añadir a las aportaciones en régimen natural la variación antrópica anual en los almacenamientos. Dada la relativamente muy reducida explotación de aguas subterráneas frente a estas magnitudes, puede suponerse que las variaciones antrópicas globales de almacenamientos, sobre el ciclo hidrológico natural, quedan bien representadas por las variaciones de existencias embalsadas. Como es obvio, existe una variación natural de reservas hidrogeológicas y otros almacenamientos existentes que resulta sin duda significativa, pero que obedece a ciclos naturales, no afectados. En definitiva, puede obtenerse una razonable estimación de las salidas del sistema, a efectos del cálculo de consumos netos, añadiendo al balance el efecto de diferencia entre las salidas y las entradas a los embalses de la cuenca.

A estos efectos, la figura adjunta muestra el importante incremento que se produce en la década de los años 60 y principios de los 70 en la capacidad de almacenamiento en la cuenca del Ebro, y también la congelación que posteriormente tiene lugar y que, prolongándose casi 30 años, llega hasta la actualidad, con casi 7000 hm³ disponibles. Es curioso constatar que la capacidad de embalse necesaria se había estimado en 1971 por el Consejo Económico Sindical Interprovincial del Ebro en unos 37.400 hm³, cifra mantenida como objetivo por diferentes autores (de los Ríos, 1990), y que la planificación hidrológica de la cuenca redujo notablemente.

Como puede verse, las reservas globales de agua almacenada también evolucionaron con un ritmo similar al de la capacidad de embalse, y tienen un rango de movimiento intraanual que, en valores medios y para los últimos años, puede cifrarse en unos 2.000 hm³.

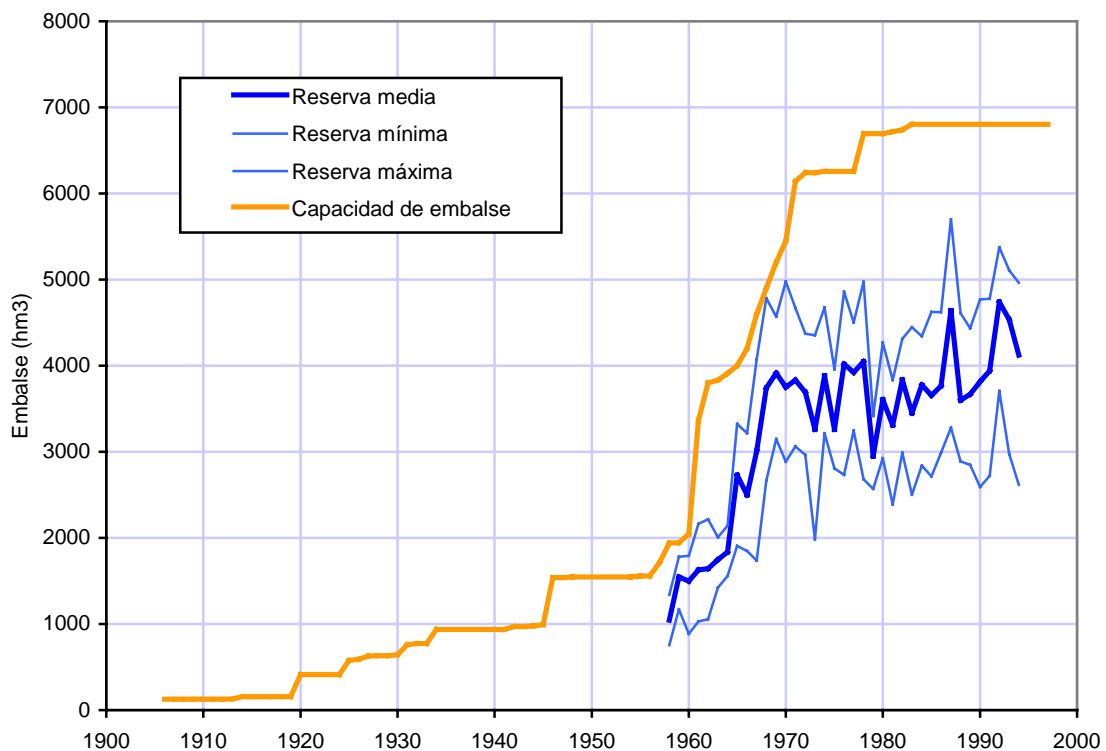


Figura 67. Evolución de la capacidad de embalses y de las reservas en la cuenca del Ebro

En cuanto a las aportaciones del Ebro en régimen natural, de entre las distintas evaluaciones existentes cabe seleccionar las dos estimaciones más recientes: la realizada en el Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro para el periodo 1940/41-1985/86, y la realizada con motivo de la elaboración del Libro Blanco del Agua en España, LBAE (MIMAM, 1998), que se extiende a un periodo temporal mayor (1940/41-1995/96). La serie aquí utilizada se basa en la del Libro Blanco, por disponer de una longitud mayor e incorporar la sequía, aunque no corresponde exactamente a la ofrecida en el LBAE, dado que se ha tratado con un mayor detalle la modelización de las lluvias, lo que proporciona una mejor estimación de las aportaciones.

En la figura adjunta se muestran ambas series, observándose que, pese a haber sido obtenidas por procedimientos muy diferentes, la concordancia es muy buena y las diferencias son reducidas con la única excepción de los años hidrológicos 1940/41 y 1976/77, que alcanzan un valor de casi 5.000 hm³. Esta buena concordancia general nos confirma la calidad y fiabilidad de ambas evaluaciones.

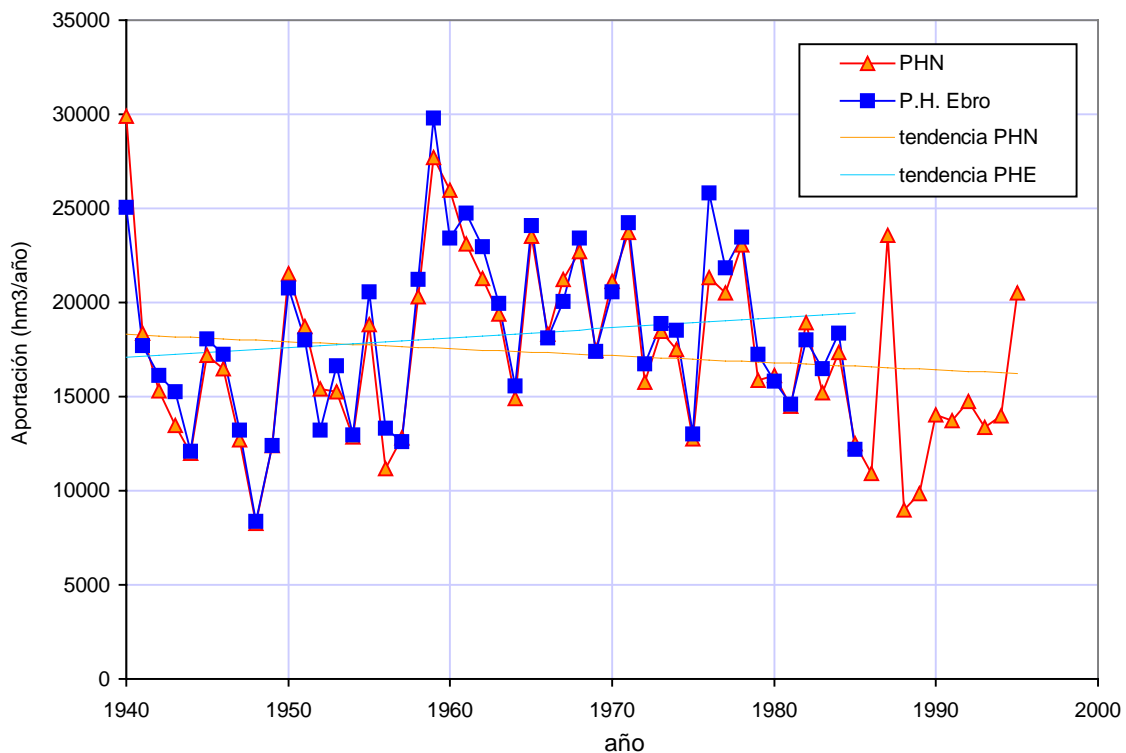


Figura 68. Series de aportaciones en régimen natural (periodo 1940-95) según el PHE y PHN

La aportación media en régimen natural obtenida para el periodo de referencia 1940/41-1995/96 es de 17.265 hm³/año, y varía desde los 8.000 hm³/año en los años más secos hasta los 30.000 hm³/año en los más húmedos. Es curioso comprobar que el valor medio ofrecido está razonablemente bien encajado con estimaciones clásicas como la ofrecida por Lorenzo Pardo en su conferencia de Tortosa de 1920, 18.000 hm³/año, o los 19.500 hm³/año del Plan Nacional de Obras Hidráulicas de 1933.

En relación a posibles tendencias de las series anteriores, puede afirmarse que de su inspección visual no se infieren éstas, a diferencia de lo que sucede con la serie de aportaciones registrada en Tortosa. En términos estadísticos, los ajustes lineales

confirman esta impresión visual, no mostrando tendencias significativas para ninguna de las series ($t\text{-pend}=-0.95$; $F=0.9$ para PHN / $t\text{-pend}=1.0$; $F=1.1$ para PHE), e incluso mostrando la PHE una apariencia –como se ve, solo apariencia- de crecimiento. Este resultado era en cualquier caso lo esperable ya que se trata de series de aportaciones en régimen natural, y desautoriza, en principio, la hipótesis de que los recursos naturales del Ebro están disminuyendo con el paso del tiempo. Ello no parece ser así, al menos en el periodo 1940-1995. Dada su importancia, volveremos sobre este asunto más adelante, revisándolo con mayor profundidad.

Obtenida, en definitiva, la serie de aportaciones en régimen natural, el balance de estas aportaciones con las variaciones en los embalses y las aportaciones medidas en la estación de Tortosa, permite estimar la evolución de los consumos netos agregados que se han producido en la cuenca, tal y como se muestra en la figura adjunta, en la que se representan las estimaciones resultantes para las dos series de régimen natural utilizadas.

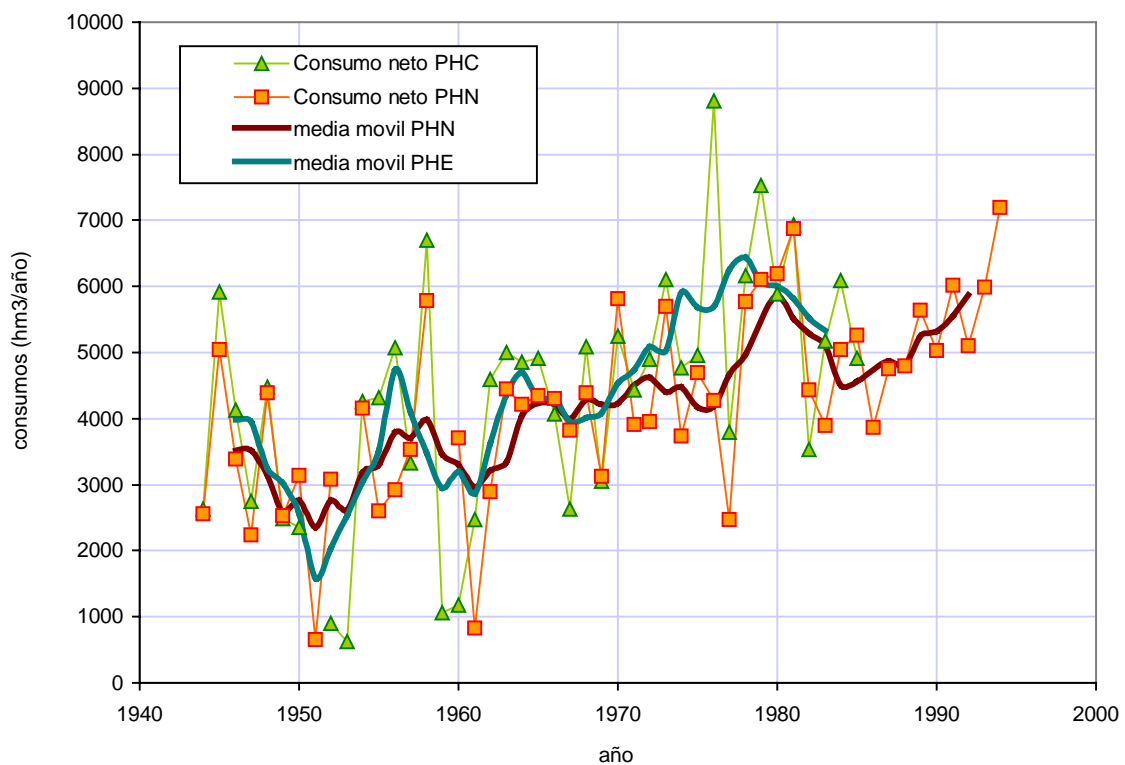


Figura 69. Series de consumos netos según estimaciones PHE y PHN

En la figura anterior se observa que, pese al ruido que envuelve ambas evaluaciones, los consumos netos estimados a partir de las dos series de aportaciones naturales son similares, y que las mayores diferencias se producen en el año hidrológico 1976/77, donde el consumo obtenido utilizando la serie PHE alcanza un valor muy alto, del orden de $9.000 \text{ hm}^3/\text{año}$. Las series de medias móviles centrales de orden 5 (con objeto de no filtrar por completo oscilaciones de ciclo corto), también representadas en la figura, permiten alisar visualmente el ruido y apreciar mejor el comportamiento de los datos, con buen acuerdo y similar dinámica a ciclo corto, salvo la ya comentada anomalía del año 76.

Aunque a la vista de estos resultados cualquiera de ambas estimaciones puede considerarse suficientemente satisfactoria, para continuar el análisis se va emplear la serie de aportaciones naturales obtenida con la metodología utilizada en el Libro Blanco, por la razón básica de que se extiende a un intervalo temporal mayor que la del Plan Hidrológico del Ebro, e incorpora el periodo de la última sequía, muy relevante desde el punto de vista hidrológico.

Estimada, pues, la serie de consumos netos, es conveniente estudiar su evolución temporal. Los triviales ajustes lineales realizados hasta el momento suponen, de partida, una tendencia igual –y lineal- para todo el periodo de estudio. Ello puede admitirse como primera aproximación, pero en presencia de efectos antrópicos que evolucionan en el tiempo a ritmos distintos, mudables con las coyunturas socioeconómicas, ni el supuesto de constancia ni el de linealidad deben admitirse de forma acrítica, y más bien han de suponerse, con gran probabilidad, vulnerados.

Para percibir mejor la tendencia de fondo subyacente en esta serie, e identificar los posibles distintos periodos temporales que caracterizan su comportamiento, se han representado en la figura adjunta su media móvil centrada de orden 9, que filtra efectos de ciclo corto, y –con mayor sofisticación- la línea ajustada mediante la técnica de alisado LOWESS, con ancho de banda del 50%, aplicada al todo el conjunto de datos de consumos netos de ambas series disponibles. Los resultados obtenidos son los mostrados en el gráfico.

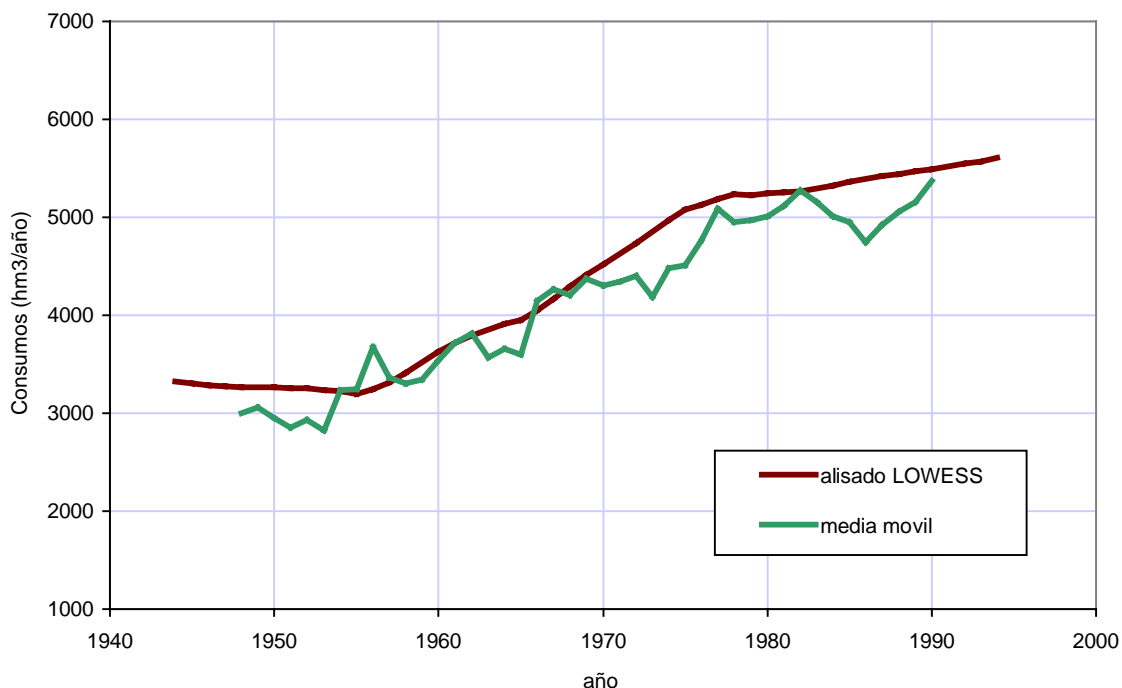


Figura 70. Series de tendencias de los consumos netos

La inspección de estas series permite conjeturar que la evolución temporal de los consumos netos de la cuenca del Ebro, obtenida con el procedimiento antes mencionado es, sustancialmente, la siguiente: entre 1940 y finales de los 50 el consumo permanece estable y por encima de los 3.000 hm³/año; en el periodo de 20 años comprendido entre finales de los 50 y finales de los 70 se produce un incremento de

consumos muy importante y sostenido, alcanzando los 5.000 hm³/año; y desde esas fechas continúa creciendo, a un ritmo mucho menor, hasta la actualidad, en que alcanza valores del orden de 5.500 hm³/año.

Es interesante constatar que esta última cifra obtenida de consumo neto medio anual es coincidente con la de la demanda consuntiva de la cuenca del Ebro reflejada en el Libro Blanco del Agua en España (MIMAM, 1998), 5.400 hm³/año, que fue obtenida a partir de las demandas totales sectoriales asumiendo las cifras convencionalmente admitidas sobre porcentajes de consumos respecto a la demanda (80% para la demanda agrícola, 20% para las demandas urbanas e industrial, y 5% para la demanda energética). El excelente acuerdo de ambas evaluaciones, realizadas por procedimientos absolutamente distintos, nos confirma de nuevo lo encajado y robusto de los análisis realizados.

5.2.4.2. EVOLUCIÓN DE LAS SUPERFICIES REGADAS

Por último, y una vez estimada la evolución temporal de los consumos netos, para concluir esta fase del análisis ha de investigarse si estos consumos netos quedan explicados por la evolución de las variables más significativas que afectan a estos consumos, y que se pueden reducir, en primera instancia, a la evolución de los regadíos, mayores consumidores -con mucha diferencia sobre el resto- del agua de la cuenca.

La figura adjunta muestra distintas estimaciones temporales de las superficies regadas en la cuenca del Ebro, según diversas fuentes.

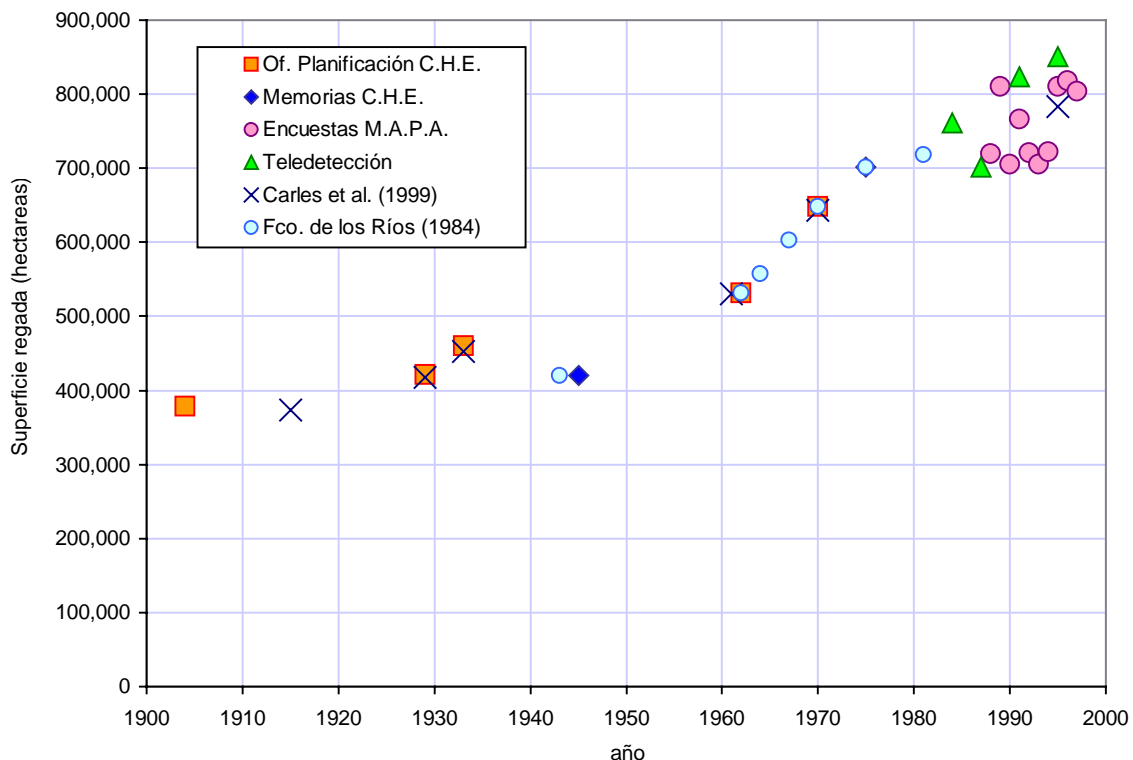


Figura 71. Evolución de la superficie regada en la cuenca del Ebro según distintas fuentes

Como puede verse, y aunque estos datos presentan, sin duda, algunas incertidumbres, parece darse un patrón global similar al de la evolución de capacidad de embalse, que vimos anteriormente. Tras un estancamiento en la primera mitad del siglo, el importante aumento en la capacidad de embalse en la cuenca en los años 60 produjo un incremento también muy importante de la superficie en regadío, pasando de apenas 500.000 ha a principios de los años 60, donde la capacidad de embalse era muy pequeña y se aprovechaba prácticamente la regulación natural del Ebro, a unas 800.000 ha en la década de los 80. Desde esa fecha el ritmo de crecimiento de los regadíos parece haber descendido notablemente.

En efecto, el gran interés por los regadíos en la cuenca se desarrolla tras las grandes sequías de los cuarenta. El hecho de que en 1949 se perdieran las cosechas del valle central del Ebro creó un grave problema de desabastecimiento alimenticio y hambrunas que movilizaron al país. Fruto del esfuerzo emprendido por la Confederación en aquellos años es la puesta en servicio de nueve embalses (Yesa, Oliana, La Tranquera, Mansilla, La Sotonera, Santa Ana, González Lacasa, El Grado, y recrecimiento de Barasona) y la consolidación o transformación de 450.000 has en el periodo 1959-1975 (de los Ríos, 1984).

5.2.4.3. CONTRASTES Y CONCLUSIONES

Obtenida la evolución de superficies de regadío, para ver su relación con la de consumos netos se han superpuesto en una misma figura los datos ofrecidos de evolución de la superficie regada y la estimación de estos consumos, representada, como antes, por su media móvil centrada de 9 años (con objeto de filtrar más las oscilaciones de ciclo corto, no relevantes dado el tipo y frecuencia de la información con que se contrasta). Como puede verse, las tendencias de ambas series presentan una perfecta coincidencia, lo que permite, en definitiva, confirmar la fiabilidad de la estimación de los consumos realizada, y, consecuentemente, de las series de aportaciones naturales y registradas en el periodo comprendido entre los años hidrológicos 1940/41 y 1995/96.

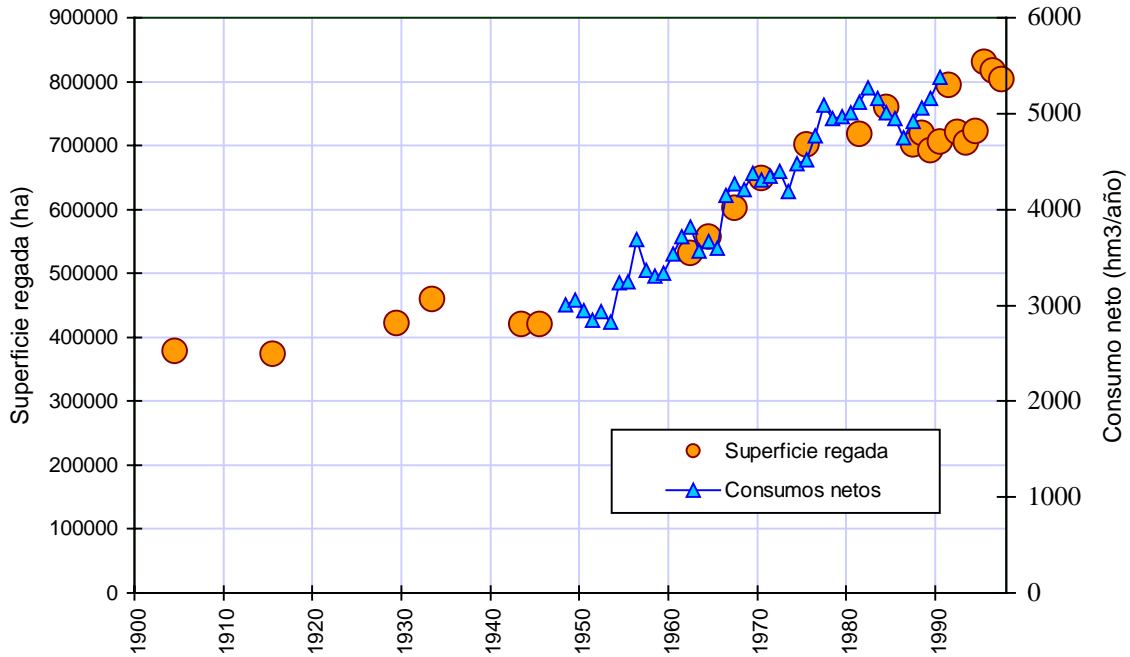


Figura 72. Evolución de los consumos de agua y de la superficie regada en la cuenca del Ebro

Las consecuencias de este resultado son muy importantes: toda la información manejada de la cuenca del Ebro sobre aportaciones naturales, aportaciones registradas, superficies en regadío, demandas consuntivas, y consumos netos, es plenamente coherente entre sí, exceptuándose los datos de la primera mitad de siglo de la serie de aportaciones registrada en Tortosa, que han sido descartados tras el análisis realizado. Los sobrantes observados en la desembocadura pueden explicarse *completamente* como una consecuencia directa del incremento de los aprovechamientos de regadío en la cuenca, y cualquier otra posible interpretación (cambios climáticos, fenómenos no conocidos, etc.), carece, en principio, de fundamento.

A diferencia de las precipitaciones o las aportaciones naturales, que permanecen constantes a largo plazo, las superficies de regadío, consumos netos, y sobrantes de la cuenca evolucionan con el tiempo, sometidos a tendencias mudables con las coyunturas socioeconómicas. Sin embargo, aunque la dinámica a corto plazo pueda presentar una alta variabilidad, parecen existir ciertas relaciones estructurales de equilibrio a largo plazo entre estas variables, que permiten explicarlas satisfactoriamente sin necesidad de recurrir a otros efectos exógenos. Estaríamos ante lo que se denomina, en términos estadísticos, una situación de *cointegración* de series temporales, en la que la ecuación de cointegración expresaría básicamente las relaciones estacionarias del balance hidrológico a largo plazo. No es este el lugar para desarrollar tan interesantes cuestiones, que nos limitamos simplemente a sugerir.

En definitiva, y reiterando la conclusión básica, la merma de los sobrantes del Ebro observada en las últimas décadas es un hecho cierto, no hipotético, y puede ser completamente explicado simplemente por el desarrollo de los regadíos en la cuenca. No se requiere, en principio, recurrir a ninguna otra causa para explicar el fenómeno, pues las aportaciones naturales en la cuenca no parecen mostrar tendencias decrecientes en el periodo desde 1940 hasta hoy.

Este resultado implica que a partir de las series de aportaciones naturales pueden estimarse los sobrantes para distintas situaciones de demandas e infraestructuras hidráulicas en la cuenca, siendo estos sobrantes futuros, y no los actuales, son los que habría que analizar desde el punto de vista de la existencia de caudales y la viabilidad de posibles transferencias.

Este es el análisis que se abordará, en detalle, posteriormente, siendo la situación futura que se debe considerar aquella definida como el largo plazo en la planificación hidrológica de la cuenca del Ebro.

Como última cuestión, en esta fase del análisis, cabe retomar la hipótesis de la falta de tendencias en las aportaciones de la cuenca, y examinarla con mayor detalle. De verificarse esta hipótesis, se vería de nuevo reafirmada, por otra vía distinta, la conclusión básica anteriormente expuesta. A ello se dedica el siguiente epígrafe.

5.2.5. LA HIPÓTESIS DE DISMINUCIÓN DE LAS LLUVIAS

Como ya se ha dicho, los resultados obtenidos hasta ahora permiten en principio sostener que, en contra de lo que a veces se ha mantenido por distintos autores, no existe evidencia científica de que las lluvias y los caudales naturales de la cuenca del Ebro estén experimentando un descenso a lo largo del tiempo, que esté, a su vez, forzando una merma de los sobrantes en la desembocadura. Esta falta de evidencia se ha basado en las regresiones lineales de estas variables con el tiempo, que sirven como primera aproximación, pero están muy condicionadas por la muestra que se adopte, y no son plenamente satisfactorias en términos estadísticos (p.e. asumen errores incorrelados, normales e independientes, lo que no será usualmente el caso).

En este epígrafe se avanzará en la verificación del supuesto, procediendo para ello a relajar el tamaño de la muestra empleada realizando análisis diacrónicos, a aplicar técnicas estadísticas más robustas y sofisticadas, y a emplear las dos series básicas (lluvias y aportaciones anuales en régimen natural de la cuenca del Ebro), correspondientes al periodo de 56 años 1940/41-1995/96. Tras este estudio con el periodo estándar se extenderá el análisis a las series largas disponibles.

Un análisis de esta naturaleza puede parecer extemporáneo en el marco del Plan Hidrológico Nacional, pero la importancia de la cuestión y la necesidad de investigar el problema para desvanecer las dudas existentes aconseja abordarlo en este contexto.

La literatura hidrológica existente al respecto es muy vasta, y abundantes las técnicas matemáticas disponibles, limitándonos aquí a un primer análisis con procedimientos estándares clásicos.

5.2.5.1. SERIES ESTANDAR

La serie de aportaciones en régimen natural es la empleada anteriormente, y la serie de lluvias se ha obtenido por interpolación areal, por lo que puede considerarse una estimación de alta calidad y representatividad. Ambas se representan en el gráfico adjunto.

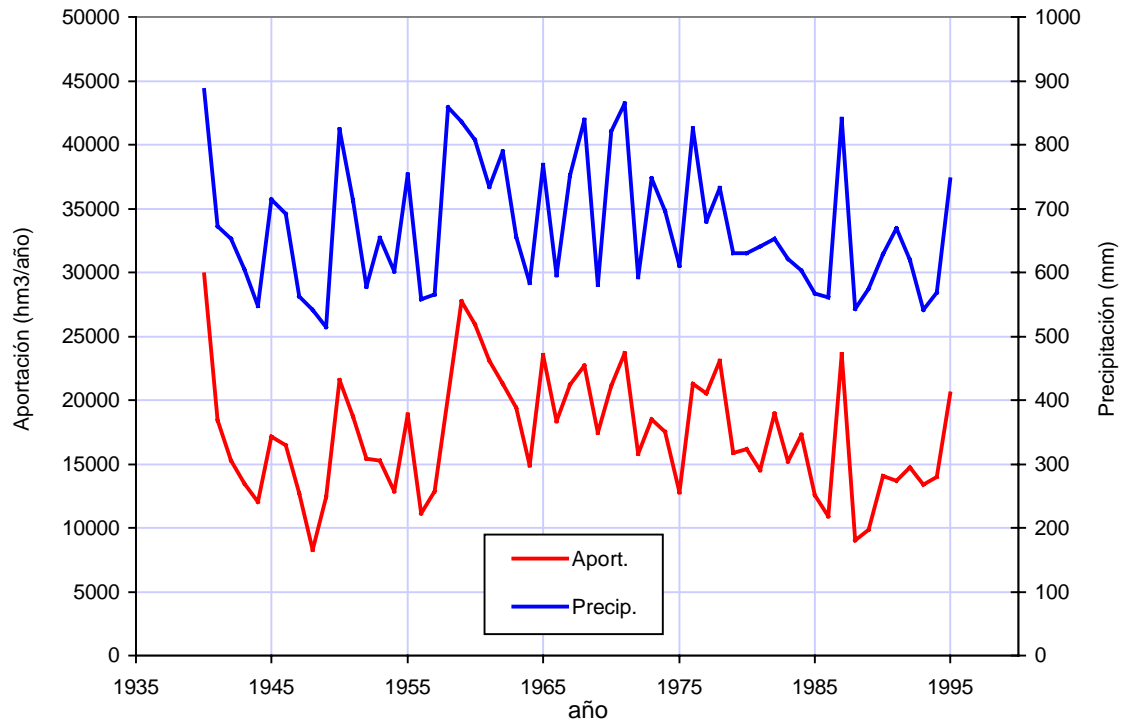


Figura 73. Series de aportaciones en régimen natural y precipitaciones medias areales en la cuenca del Ebro (periodo 1940/41-1995/96)

Comenzando por relajar el tamaño de la muestra, la figura adjunta muestra, para ambas series, tanto la evolución del cociente $a/s[a]$, siendo a la pendiente del ajuste de regresión lineal de las series con el tiempo, (es decir, el clásico test t de significación de un parámetro de la regresión), como la evolución del estadístico F. En ambos casos se representan también sus intervalos de confianza del 95%.

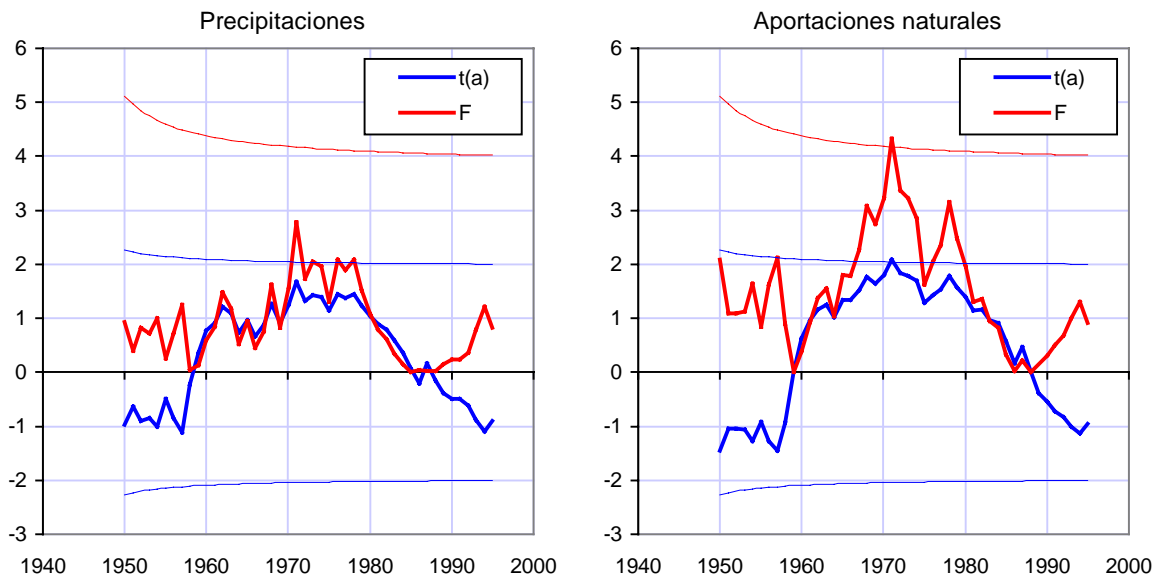


Figura 74. Evolución temporal de los estadísticos de significación de la regresión temporal

Como se observa, la hipótesis de que ni las precipitaciones ni las aportaciones presentan tendencia significativa alguna no puede ser rechazada, encontrándose sus valores actuales nítidamente dentro de los intervalos de confianza para el nivel de significación del 5%. Además, ello es así para cualquier momento anterior en que se hubiese ensayado la hipótesis, pues solo en 1971 llegan a tocarse los intervalos de significación de las aportaciones, lo que hubiese revelado, además, una tendencia *creciente*.

Las precipitaciones muestran el efecto de no tendencia con mayor nitidez aún que las aportaciones, lo que contradice la opinión expuesta por algunos, y ya comentada, de que tienden a disminuir con el paso del tiempo.

Tras este primer test, ensayaremos ahora otros dos: el de diferencia en las medias de dos segmentos de la serie (lo que revelaría que, en algún momento, se ha producido un salto), y el clásico test de tendencias no paramétrico de Mann-Kendall. Los resultados obtenidos, de nuevo en forma evolutiva, son los mostrados en la figura adjunta.

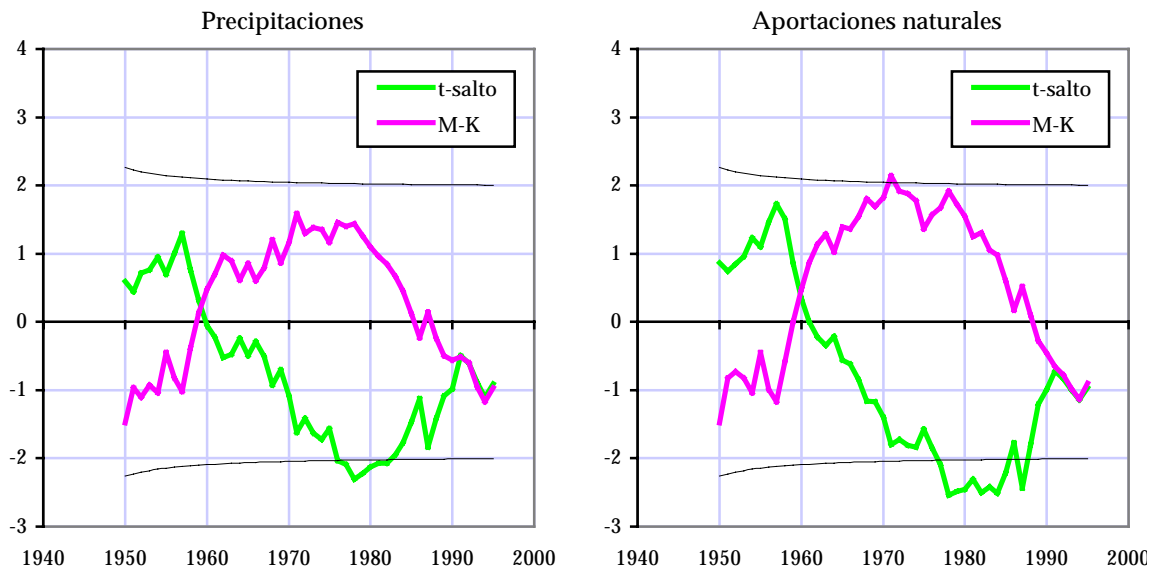


Figura 75. Test de salto t y de tendencias de Mann-Kendall

Como se observa, y confirmando los resultados anteriores, la hipótesis de que ni las precipitaciones ni las aportaciones presentan tendencias no puede rechazarse según el test de Mann-Kendall. En cuanto a saltos, únicamente se aprecia un cierto efecto en torno a 1980, muy poco significativo, y que desaparece en años posteriores. Indagar este efecto requeriría de otros contrastes que no procede abordar ahora, y podría apuntar, en todo caso, hacia posibles transiciones caóticas entre estados globales de la dinámica atmosférica, y no hacia tendencias decrecientes de la lluvia.

Si se consideran ambas series como componentes estacionales descriptoras del estado hidrológico, la aplicación secuencial del test estacional de Kendall o test de Hirsch-Mann-Kendall, que puede considerarse en la práctica el estado del arte de estos procedimientos de análisis de tendencias en registros hidrológicos, muestra los resultados de la figura adjunta, en la que, análogamente, se ha representado la

evolución del estadístico de Hirsch-Mann-Kendall para la serie mensual de lluvias medias areales sobre la cuenca del Ebro.

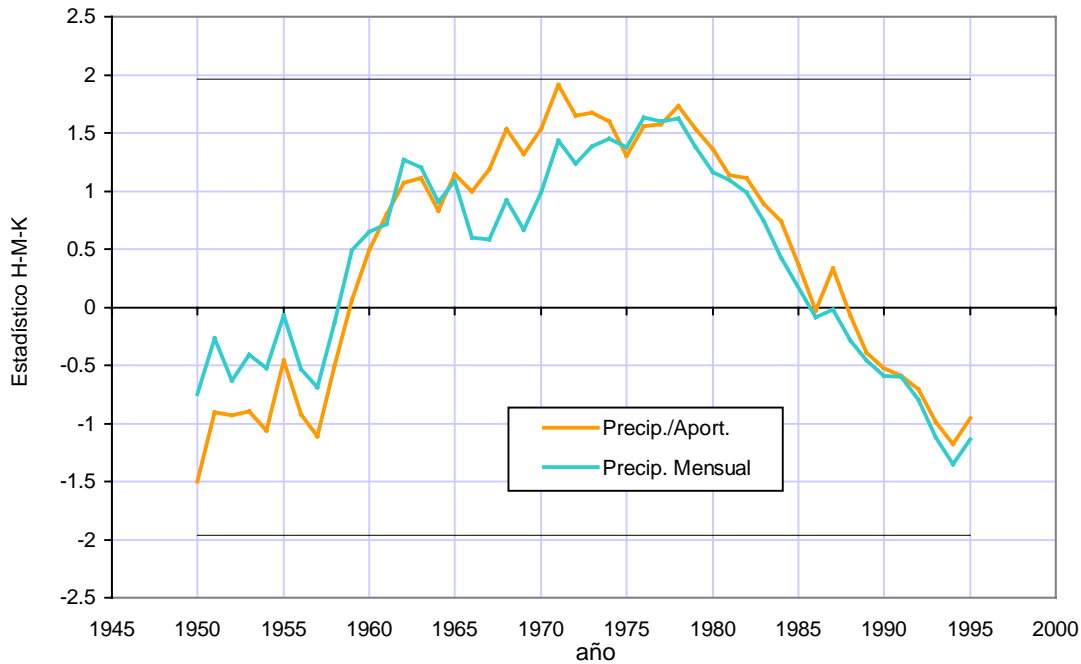


Figura 76. Test de tendencias de Hirsch-Mann-Kendall alluvias y aportaciones anuales y lluvias mensuales

Como puede observarse, en ninguno de los dos casos cabe admitir una tendencia significativa, ni siquiera a la escala estacional de algún mes específico de la serie de lluvias. Los mayores valores del estadístico se dan en la década de los 70, pero no alcanzan el nivel de significación del 5%.

Por último, se concluirá este análisis con test econométricos específicos para comprobación de la estacionariedad de series temporales. El método formal para investigar la estacionariedad de una serie es el test de raíz unitaria, del que emplearemos las conocidas formulaciones de Dickey-Fuller y de Phillips-Perron. La tabla adjunta resume los resultados obtenidos.

	ADF(0)	ADF(1)	PP
Precipitaciones anuales	-7.02	-5.18	-7.03
Aportaciones anuales	-5.53	-4.07	-5.60
Valor crítico (5%)	-2.91	-2.91	-2.91
Valor crítico (1%)	-3.55	-3.55	-3.55

Tabla 23. Resultados de los test de estacionariedad de aportaciones y precipitaciones

Puede verse que para las dos series, y en todas las modalidades empleadas (Dickey-Fuller aumentado con 0 y 1 rezagos, y Phillips-Perron con rezago de truncamiento 3), los valores críticos para significaciones tanto del 1 como del 5% son mayores que los estadísticos obtenidos, lo que significa que la hipótesis nula de raíz unidad debe ser rechazada, y ambas series pueden considerarse estacionarias.

5.2.5.2. SERIES LARGAS

Ahondando en este supuesto, y como investigación complementaria, estudiaremos el comportamiento de las lluvias en un periodo largo, más extenso que el del análisis anterior. Para ello, se dispone de cuatro estaciones en la cuenca del Ebro con registro pluviométrico mayor de un siglo (datos completos y comunes desde 1881), que son las de Pamplona, Huesca, Tortosa y Zaragoza (INM, 1996). La figura adjunta muestra, en años naturales, las cuatro series anuales en el periodo común 1881-1994, y la combinación lineal de ellas –obtenida por regresión lineal– que mejor explica la lluvia media areal en la cuenca del Ebro en el periodo disponible 1940-1994, antes mostrada en años hidrológicos, y ahora en naturales.

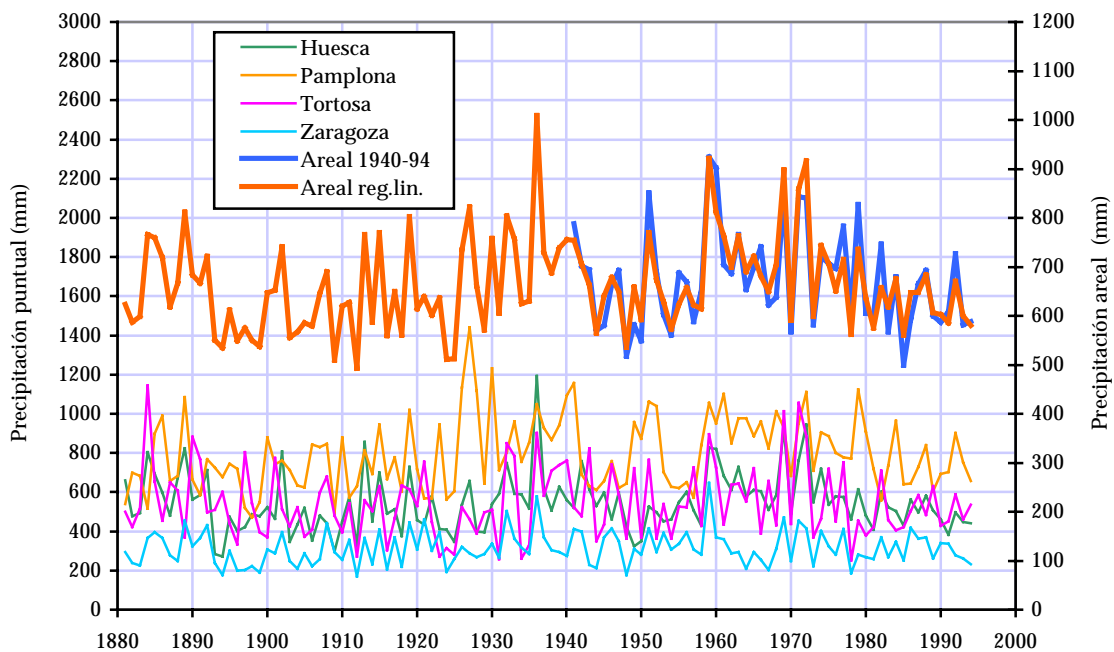


Figura 77. Series largas de precipitaciones en la cuenca del Ebro

Como puede verse, existe buena concordancia entre la lluvia areal media estimada en detalle para la cuenca del Ebro –a partir de numerosas estaciones–, y la obtenida a partir de las 4 largas mostradas, y ello pese a las diferencias de estas series entre sí. La variabilidad temporal y areal queda razonablemente bien explicada (78% de la varianza) a partir únicamente de estas 4 estaciones, lo que permite extender, en principio, los resultados de tendencias de estas series al conjunto de la cuenca del Ebro (algunos autores han sugerido que basta con la estación de Zaragoza para tener un registro suficientemente representativo de toda la cuenca). Si se realiza a las 5 series el análisis diacrónico de tendencias mediante los test básicos antes empleados, se obtienen los resultados mostrados en la figura.

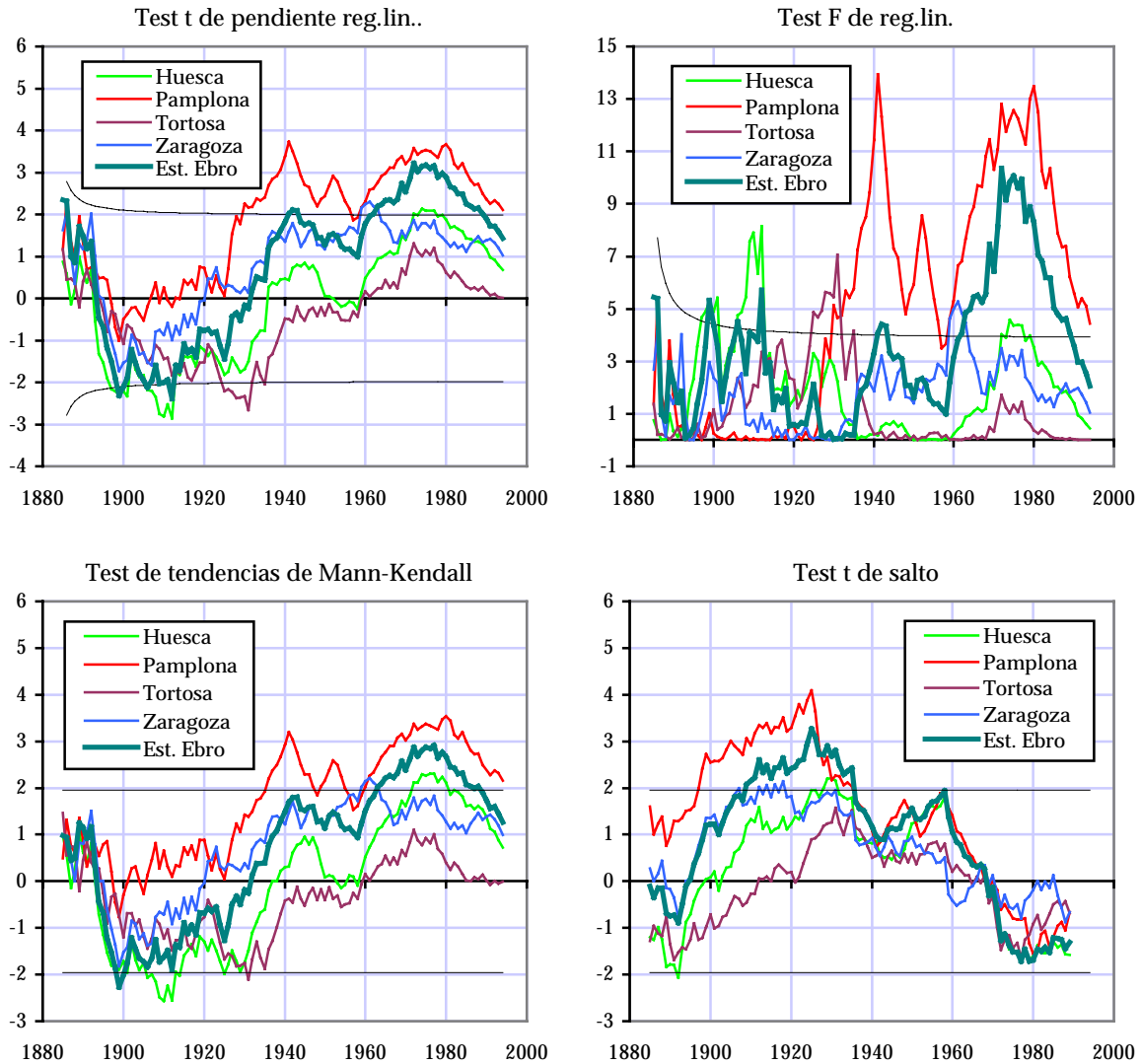


Figura 78. Evolución temporal de estadísticos de tendencias para las series largas de lluvias anuales

Como puede verse, la serie de Pamplona es la única que parece haber presentado tendencias según los test de significación de la regresión lineal y Mann-Kendall. El periodo álgido es el de la década de los 70 –como sucedía con las series 1940-95 de precipitaciones y aportaciones del Ebro–, en que se hubiese afirmado la existencia de tal tendencia significativa, aunque, en los últimos años, los estadísticos se aproximan al nivel de significación del 5%, y no puede sostenerse tan nítidamente. Ninguna de las otras tres series muestra tendencias, y la media estimada para la cuenca tampoco la muestra al no superarse actualmente el nivel de significación en ninguno de los test empleados. En cuanto a saltos, el ya comentado *efecto 80* parece haber tenido un precedente –de signo contrario– en los años 20. En definitiva, estos test simples no muestran tendencias significativas en las lluvias del Ebro, al menos en los últimos 114 años.

Si se aplica a las 5 series el más sofisticado test de Hirsch-Mann-Kendall, los resultados son los mostrados en el gráfico siguiente, en el que, como en el caso anterior, se ha

representado la evolución temporal del estadístico de Hirsch-Mann-Kendall para el conjunto de las cinco series.

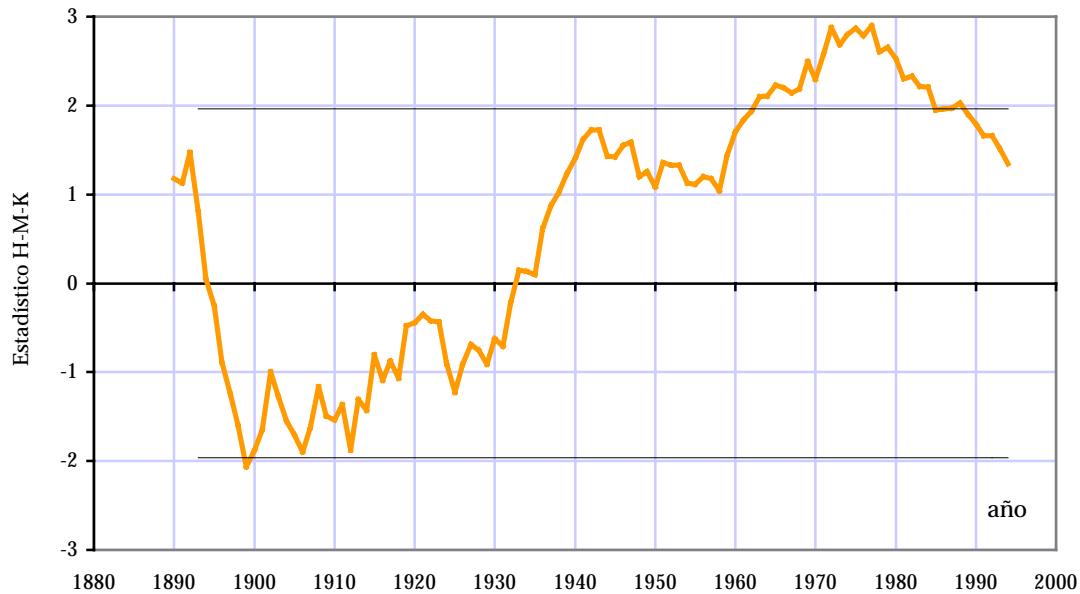


Figura 79. Test de tendencias de Hirsch-Mann-Kendall a las series largas de lluvias anuales

Como puede observarse, tras el periodo de los 70, en que se manifiesta el ya comentado efecto de Pamplona, no puede sostenerse actualmente la hipótesis de tendencia significativa de las lluvias en ninguna de las 4 estaciones consideradas, ni en la representativa media de la cuenca.

Por último, los test de raíz unitaria, de estacionariedad de series temporales, arrojan los resultados mostrados en la tabla.

	ADF(0)	ADF(1)	PP
Huesca	-8.98	-5.87	-9.28
Pamplona	-7.90	-6.43	-7.97
Tortosa	-11.27	-7.97	-11.25
Zaragoza	-10.91	-6.91	-10.92
Est. Ebro	-8.95	-5.94	-9.19
Valor crítico (5%)	-2.89	-2.89	-2.89
Valor crítico (1%)	-3.49	-3.49	-3.49

Tabla 24. Resultados de los test de estacionariedad de las series largas de lluvia

Puede verse que para las cinco series, y en todas las modalidades empleadas (Dickey-Fuller aumentado con 0 y 1 rezagos, y Phillips-Perron con rezago de truncamiento 4), los valores críticos para significaciones tanto del 1 como del 5% son mayores que los estadísticos obtenidos en todos los casos, lo que significa que la hipótesis nula de raíz unidad debe ser rechazada, y todas las series pueden considerarse estacionarias.

5.2.5.3. CONCLUSIÓN

En definitiva, la conclusión de cuanto se ha expuesto es nítida: todas las pruebas realizadas conducen a rechazar la hipótesis de existencia de tendencias en las lluvias y las aportaciones naturales de la cuenca del Ebro. Si en la realidad tales tendencias se estuviesen produciendo, no serían distinguibles de la variabilidad natural de los fenómenos hidrológicos estudiados. Sostener que tales tendencias existen es una *creencia* subjetiva, no contrastable, y carente de fundamento estadístico.

Ello conduce, en síntesis, a reafirmar de forma concluyente que la disminución observada en los caudales del río se explica completamente por el incremento de sus aprovechamientos, y los sobrantes futuros pueden evaluarse a partir de las aportaciones naturales considerando las distintas situaciones de demandas e infraestructuras hidráulicas en la cuenca.

Esta siguiente fase de análisis del sistema hidráulico futuro es la que se aborda en las próximas secciones.

5.3. EL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN DE LA CUENCA DEL EBRO

5.3.1. INTRODUCCIÓN

Tomando como referencia los modelos y los datos utilizados en el Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro para la realización de sus análisis y balances hídricos, se ha construido un único sistema de explotación simplificado y agregado que permite el tratamiento de esta cuenca con la resolución adecuada para su análisis en la planificación hidrológica nacional, y su armonización técnica con el resto de los sistemas estudiados. Junto a ello también se ha procedido a la actualización de series hidrológicas, tal y como se verá posteriormente.

En síntesis, los elementos y magnitudes fundamentales del sistema de explotación definido para el ámbito territorial del Plan Hidrológico del Ebro son los que se describen seguidamente.

5.3.2. ELEMENTOS DEL SISTEMA

5.3.2.1. APORTACIONES

Los criterios para el establecimiento y ubicación de las aportaciones hídricas consideradas son los mismos que se adoptaron en el Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro, con menor resolución espacial, dado el diferente grado de detalle, pero extendiéndose ahora las nuevas series mensuales hasta el año hidrológico 1995/96 mediante el modelo de evaluación de recursos desarrollado para el Libro Blanco del Agua en España.

En la figura siguiente se pueden observar los puntos de incorporación al sistema de las series mensuales de aportaciones consideradas.

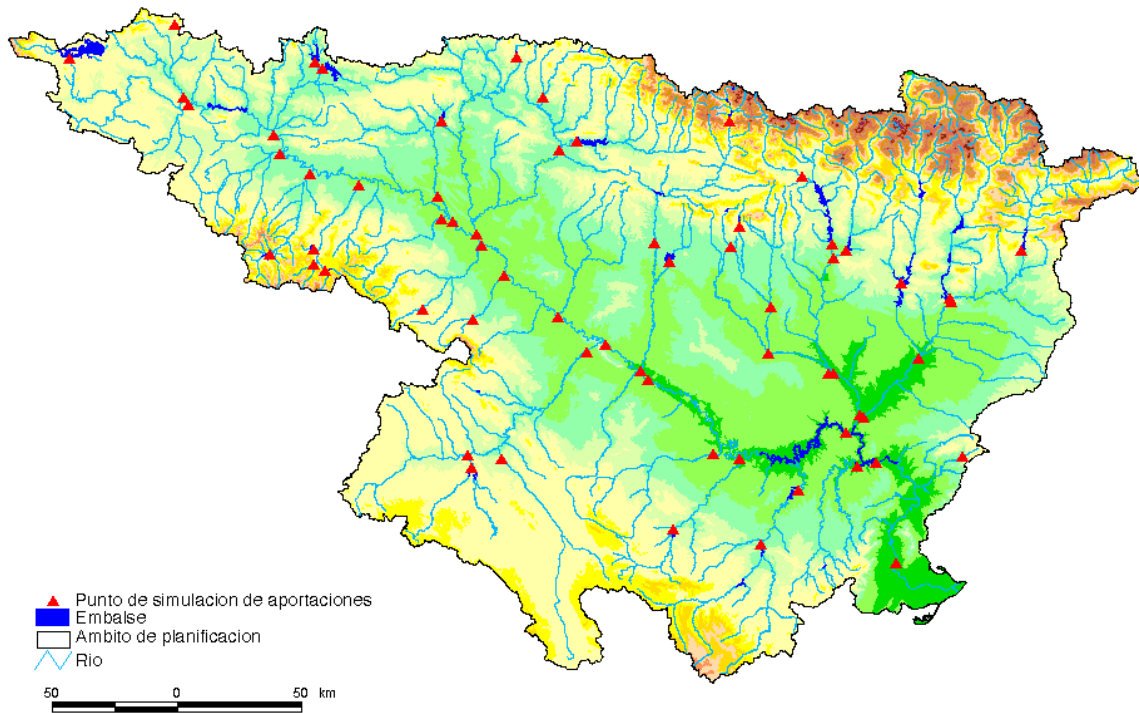


Figura 80. Puntos básicos de evaluación de recursos

En la siguiente tabla se resumen las cifras medias de las aportaciones anuales incrementales en los diferentes emplazamientos.

Aportación	Aport. anual (hm ³)
Aguas Vivas	27
Alcanadre en confl. Flumen	193
Alhama en emb. Cigudosa	47
Alhama medio	114
Ara en Jánovas	483
Aragón en emb. Yesa	1394
Aragón en confl. Irati	569
Aragón en confl. Arga	1349
Arba en cabecera	115
Arga en emb. Eugui	73
Cidacos	74
Cinca en emb. Grado y Mediano	944
Cinca en confl. Alcanadre	117
Ciurana en emb. Ciurana	3
Ebro en emb. Ebro	256
Ebro en confl. Nela	1091
Ebro en confl. Zadorra	768
Ebro en confl. Gállego	338
Ebro en emb. Mequinzenza	62
Ebro en Cherta	228
Ega en cabecera	593
Ésera en emb. Joaquín Costa	820
Flumen en emb. Montearagón	30
Gállego en emb. Bubal y Lanuza	447
Gállego en Biscarrués	586
Guadalope en emb. Calanda y Santolea	206
Guadalope en emb. Caspe II	40

Aportación	Aport. anual (hm ³)
Guatizalema en emb. Vadiello	17
Iratí en emb. Itoiz	495
Iregua en emb. Pajares y González Lacasa	7
Iregua medio	134
Jalón alto	122
Jalón bajo	129
Jiloca en cabecera	103
Martín en emb. Cueva Foradada	65
Matarraña en Torre del Comte	89
Najerilla en emb. Mansilla	110
Najerilla medio	163
Noguera Pallaresa en emb. Camarasa, Talarn y Terradets	1692
Noguera-Ribagorzana en emb. Canelles y Escales	644
Piedra en emb. La Tranquera	115
Queiles-Val en emb. Val	29
Salado en emb. Alloz	94
Segre en emb. Rialp y Oliana	1386
Segre en confl. Noguera-Ribagorzana	259
Tirón	188
Trueba en cabecera	13
Zadorra en emb. Ullivarri y Urrúnaga	214
Total	17036

Tabla 25. Aportaciones hídricas consideradas en el sistema

5.3.2.2. DEMANDAS

Bajo los supuestos básicos de este Plan Hidrológico Nacional la determinación de los posibles recursos sobrantes en cuencas de carácter globalmente excedentario se realiza sobre la base de considerar alcanzadas las estimaciones de demanda realizadas en su correspondiente Plan Hidrológico para el segundo horizonte de planificación. Se trata de una premisa marcadamente conservadora y protectora de los intereses de la posible cuenca cedente, por cuanto dichas estimaciones de futuro, en el caso del regadío, que constituye la demanda más cuantiosa, no responden a una previsible evolución de la demanda, sino que tienen el carácter de un catálogo de actuaciones potenciales, tal como señala el Consejo Nacional del Agua en su *Informe sobre las propuestas de los Planes Hidrológicos de cuenca*, de abril de 1998. Ello quiere decir que los sobrantes así determinados lo serían aún en el poco probable caso de que se desarrollaran todas las posibilidades identificadas en el Plan Hidrológico de la cuenca cedente, por lo que ésta no vería mermado, en ningún caso, su potencial de desarrollo.

En el caso concreto de la cuenca del Ebro, las actuaciones de regadío identificadas en su Plan supondrían un desarrollo que, partiendo de una superficie actual de 783.948 ha, llegaría a alcanzar 985.999 ha en el primer horizonte (diez años) y 1.271.306 ha en el segundo horizonte (veinte años), es decir, un ritmo medio de transformación en el periodo completo de algo más de 24.000 ha/año. Como puede verse en la siguiente figura, tales tasas de transformación en regadío no han sido alcanzadas en la cuenca en ningún momento de su historia, lo que confirma el carácter de envolvente maximalista y potencial de las estimaciones de crecimiento del Plan.

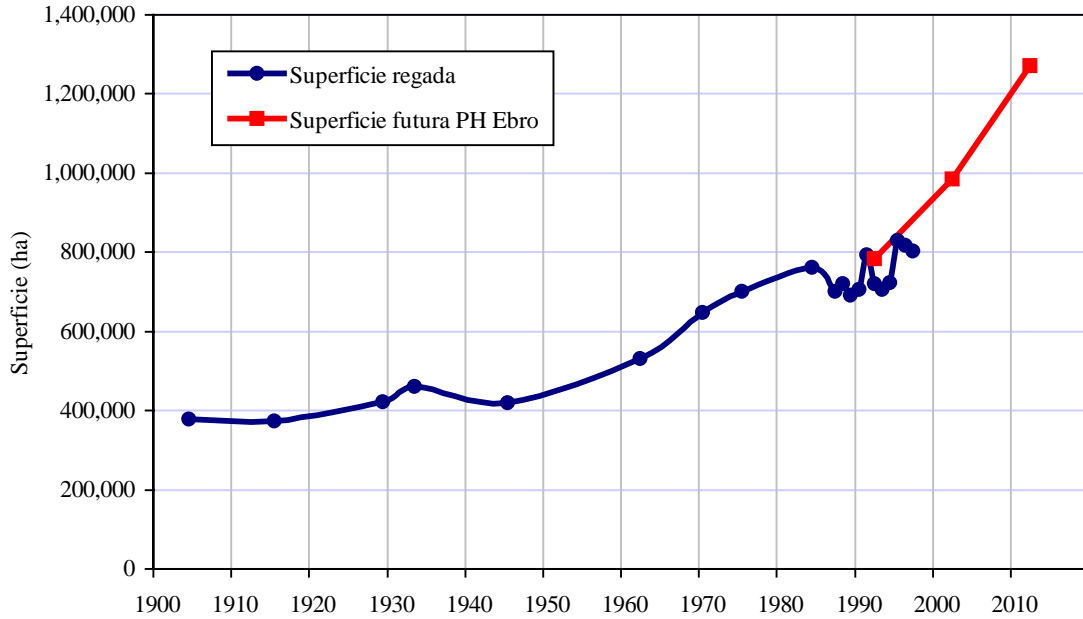


Figura 81. Evolución histórica y prevista de la superficie de riego en la cuenca del Ebro

Con el planteamiento realizado en este Plan Nacional, por tanto, solo se consideran sobrantes las aguas no utilizadas en el segundo horizonte del Plan, lo que, por una parte, garantiza que su transferencia a otra cuenca no afectaría a su potencial de desarrollo y, por otra, representa un importante margen de seguridad, por cuanto la utilización real de agua en el segundo horizonte del Plan será considerablemente menor, al tratarse de una hipótesis de crecimiento claramente maximalista. Ambas consideraciones permiten asegurar que este modo de determinar los sobrantes trasvasables garantiza y protege, en todo caso, los intereses actuales y futuros de la posible cuenca cedente en relación con sus recursos hídricos.

Con estas premisas, el esquema del sistema de explotación de la cuenca se ha planteado identificando las diferentes demandas, tanto actuales como futuras, consideradas en el Plan de cuenca y agrupándolas en unidades de demanda significativas a la escala de la planificación nacional. La figura adjunta muestra la distribución territorial de los actuales regadíos y poblaciones, y permite apreciar la gran extensión y diversidad de las manchas de riego.

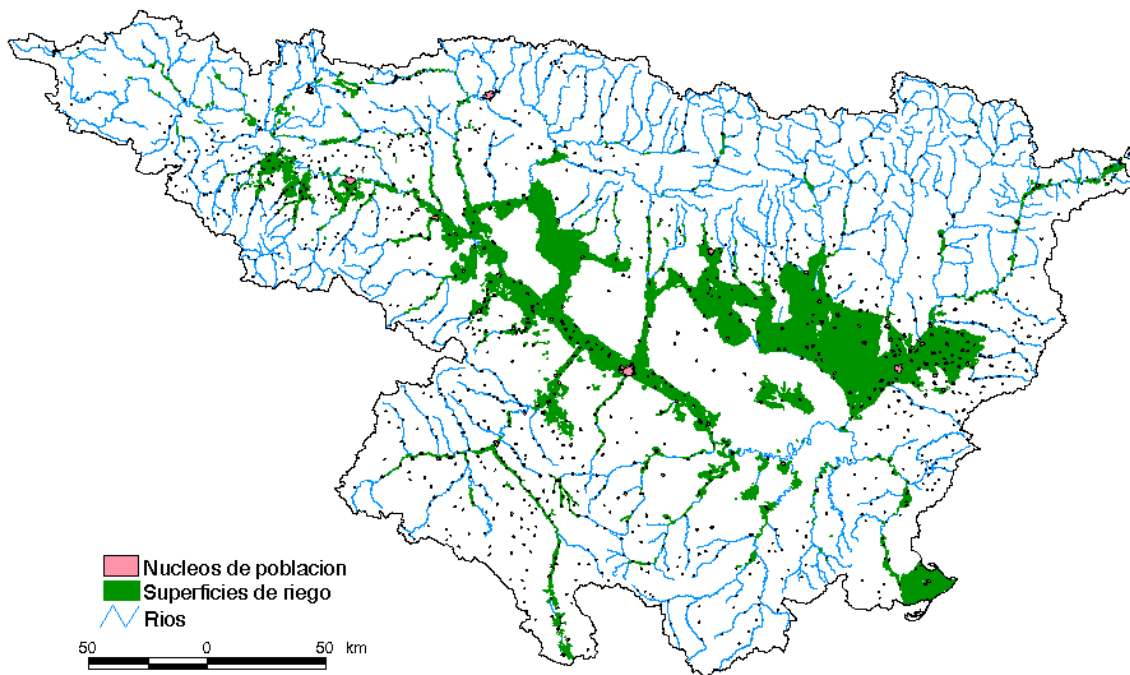


Figura 82. Mapa de situación de poblaciones y regadíos

En el caso del uso de abastecimiento de población se han identificado las unidades que precisan un tratamiento diferenciado por la cuantía de sus demandas (Zaragoza, Vitoria, Pamplona, Delta del Ebro, Logroño, Lleida, etc.) y se han agregado en varias unidades el resto de las demandas actuales de menor volumen y los incrementos de demanda previstos hasta el segundo horizonte. Siguiendo el mismo criterio que en el Plan de cuenca, se han agregado las demandas de uso industrial a las demandas de abastecimiento de población dando lugar a una demanda combinada de abastecimiento de población e industria. Con estos criterios, las demandas finalmente consideradas en el modelo son las indicadas en la siguiente tabla.

Unidad de demanda	Descripción	Demanda
C.P.Urgel	Abast. e industria desde Canal Principal de Urgel	14
CAC	Abast. e industria desde Canal Aragón y Cataluña	21
Delta y otros	Abast. e industrias Delta	39
Huesca	Abast. e industria Huesca	8
Lleida	Abast. e industria Lérida	27
Logroño	Abast. e industria Logroño	35
Pamplona	Abast. e industria Pamplona	49
RAA	Abast. e industria Riegos Alto Aragón	15
Vitoria	Abast. e industria Vitoria	78
Zaragoza	Abast. e industria Zaragoza	181
Resto Aragón+fut	Abast. e industria resto Aragón+demanda futura	129
Resto Ebro alto+fut	Abast. e industria resto Ebro alto+demanda futura	89
Resto Ebro medio+fut	Abast. e industria resto Ebro medio+demanda futura	94
Resto Eje Ebro+fut	Abast. e industria resto Eje Ebro+demanda futura	48
Resto Gállego+fut	Abast. e industria resto Gallego+demanda futura	16
Resto Segre-Cinca+fut	Abast. e industria resto Segre-Cinca+demanda futura	52
	Total	895

Tabla 26. Unidades de demanda urbana e industrial

De esta demanda prevista para el segundo horizonte, aproximadamente un 40% corresponde a abastecimiento de población y un 60% a uso industrial.

En cuanto al uso agrario, las zonas de riego identificadas en el Plan de cuenca se han agrupado en unidades agregadas a efectos de su consideración en el modelo integrado único. En la siguiente tabla se presenta la relación de unidades de demanda agraria consideradas, con las zonas de riego que comprenden, el sistema de explotación al que pertenecen, y su demanda anual.

UDA	Zona de riego	Sistema de Explotación PH Ebro	Demanda (hm ³ /año)
Afl.Aragón-Huerva	Sistema Huecha	Huecha	33
Afl.Aragón-Huerva	Sistema Huerva	Huerva	24
Aguas Vivas	Sistema Aguas Vivas	Aguas Vivas	35
Alhama	Sistema Alhama	Alhama	93
Aragón bajo y Arga	Riegos bajo Aragón desde Arga	Ebro Alto-medio y Aragón	24
Aragón bajo y Arga	Reg. total Arga	Ebro Alto-medio y Aragón	23
Aragón medio	Reg. Irati y reg. Aragón entre Irati y Arga	Ebro Alto-medio y Aragón	97
Arba	Sistema Arbas	Arbas	36
C.A.Urgel	Canal Auxiliar Urgel	Segre-Noguera-Pallaresa	195
C.Bardenas	Canal de Bardenas con retorno a los Arbas	Ebro Alto-medio y Aragón	328
C.Bardenas y Ara.alto	Canal de Bardenas con retornoal Aragón	Ebro Alto-medio y Aragón	132
C.Bardenas y Ara.alto	Cabecera Aragón	Ebro Alto-medio y Aragón	6
C.Delta	Canal margen derecha del Delta	Bajo Ebro	303
C.Delta	Canal margen izquierda del Delta	Bajo Ebro	254
C.Delta (reg.inv.)	Reg. invierno canal margen derecha Delta	Bajo Ebro	91
C.Delta (reg.inv.)	Reg. invierno canal margen izda. Delta	Bajo Ebro	76
C.Imperial	Regadíos Canal Imperial	Ebro Alto-medio y Aragón	239
C.Lodosa y otros	Canal de Lodosa	Ebro Alto-medio y Aragón	230
C.Lodosa y otros	Reg. Eje Ebro hasta río Oca	Ebro Alto-medio y Aragón	4
C.Lodosa y otros	Reg. Eje Ebro hasta río Leza	Ebro Alto-medio y Aragón	25
C.Lodosa y otros	Sistema Nela	Nela	2
C.Lodosa y otros	Sistema Oca	Oca	1
C.Lodosa y otros	Sistema Omecillo	Omecillo	4
C.Lodosa y otros	Subsistema Inglares	Bayas, Zadorra e Inglares	2
C.Lodosa y otros	Subsistema Bayas	Bayas, Zadorra e Inglares	2
C.Lodosa y otros	Sistema Leza-Valle de Ocón	Leza-Valle de Ocón	14
C.Lodosa y otros	Subsistema Linares	Ebro Alto-medio y Aragón	3
C.Lodosa-Aragón	Reg. Eje Ebro hasta río Aragón	Ebro Alto-medio y Aragón	53
C.P.Urgel y Segre alto	Canal Principal Urgel	Segre-Noguera-Pallaresa	427
C.P.Urgel y Segre alto	Segre hasta emb. Oliana	Segre-Noguera-Pallaresa	37
C.P.Urgel (reg.inv.)	Reg. invierno Canal Principal de Urgel	Segre-Noguera-Pallaresa	43
C.Tauste y otros	Canal de Tauste	Ebro Alto-medio y Aragón	75
C.Tauste y otros	Reg. Eje Ebro hasta río Queiles	Ebro Alto-medio y Aragón	23
C.Tauste y otros	Reg. Eje Ebro hasta río Huerva	Ebro Alto-medio y Aragón	15
CAC alto y Esera	Canal Aragón y Cataluña zona alta	Gállego-Cinca-Ésera-Noguera Ribagorzana	316
CAC alto y Esera	Alto Ésera	Gállego-Cinca-Ésera-Noguera Ribagorzana	5
CAC alto y Esera	Acequia Estada	Gállego-Cinca-Ésera-Noguera Ribagorzana	5
CAC bajo	Canal Aragón y Cataluña zona baja	Gállego-Cinca-Ésera-Noguera	258

UDA	Zona de riego	Sistema de Explotación PH Ebro	Demanda (hm ³ /año)
Ribagorzana			
Cidacos	Sistema Cidacos	Cidacos	31
Cinca	Alto Cinca (sin RAA)	Gállego-Cinca-Ésera-Noguera	4
Cinca	Reg. bajo Cinca	Ribagorzana Gállego-Cinca-Ésera-Noguera	90
Ribagorzana			
Ebro (Gallego-Segre)	Ebro entre Gállego y Segre	Bajo Ebro	175
Ebro (Segre-Cherta)	Ebro entre Segre y Cherta	Bajo Ebro	67
Ebro (Segre-Cherta)	Sistema Ciurana	Ciurana	17
Ega	Sistema Ega	Ega	32
Flumen e y Alcanadre	Isuela	Alcanadre	7
Flumen y Alcanadre	Flumen	Alcanadre	23
Flumen y Alcanadre	Guatizalema	Alcanadre	7
Flumen y Alcanadre	Alcanadre	Alcanadre	34
Gallego	Alto Gállego (sin RAA)	Gállego-Cinca-Ésera-Noguera	3
Gallego	Bajo Gállego	Ribagorzana Gállego-Cinca-Ésera-Noguera	191
Ribagorzana			
Guadalo alto y medio	Reg. ag. arr. emb. Caspe	Guadalo alto	90
Guadalo bajo	Reg. ag. ab. emb. Caspe	Guadalo bajo	41
Iregua	Sistema Iregua	Iregua	63
Jalon alto	Alto Jalón	Jalón	22
Jalon bajo	Reg. bajo Jalón	Jalón	219
Jiloca	Reg. total Jiloca	Jalón	85
Martin	Sistema Martín	Martín	53
Matarraña	Sistema Matarraña	Matarraña	55
Najerilla	Sistema Najerilla	Najerilla	71
Nog.Pallaresa	Noguera-Pallaresa	Segre-Noguera-Pallaresa	14
Piñana y N.Rib.	Reg. Ribera N. Ribagorzana	Gállego-Cinca-Ésera-Noguera	26
Piñana y N.Rib.	Canal Piñana	Ribagorzana Gállego-Cinca-Ésera-Noguera	145
Ribagorzana			
Queiles	Sistema Queiles	Queiles	58
RAA-C.Cinca	Riegos del Alto Aragón-Canal del Cinca	Gállego-Cinca-Ésera-Noguera	399
Ribagorzana			
RAA-C.Monegros	RAA-Canal Monegros I-1+Violada (No "Q")	Gállego-Cinca-Ésera-Noguera	61
Ribagorzana			
RAA-Monegros y Flumen	RAA-Resto canal Monegros y Flumen	Gállego-Cinca-Ésera-Noguera	459
Ribagorzana			
Segre bajo	Bajo Segre	Segre-Noguera-Pallaresa	145
Tirón	Sistema Tirón	Tirón	36
Zadorra	Zadorra	Bayas, Zadorra e Inglares	41
Zadorra	Alegria	Bayas, Zadorra e Inglares	11
Total:			6308

Tabla 27. Agregación de zonas de riego del Plan de cuenca en unidades de demanda agraria del modelo

El total actual es, como se observa, de 6308 hm³/año. La demanda de riego potencial total para el segundo horizonte se estima por el Plan en 9879 hm³/año, lo que representa un incremento de 3571 hm³/año respecto a la situación actual. Este incremento se distribuye, de forma simplificada y a efectos de su modelación en el sistema, en diversas unidades de demanda representativas de la distribución territorial real. Para ello se incorporan tres nuevas unidades (Ebro alto, Ebro medio y Aragón) y se incrementan cinco de las unidades existentes según se muestra en la tabla adjunta.

UDA	Sistema de Explotación PH Ebro	Demanda actual (hm ³ /año)	Incremento de demanda (hm ³ /año)	Demanda futura (hm ³ /año)
Ebro alto	Ebro Alto-medio y Aragón	-	389	389
Ebro medio	Ebro Alto-medio y Aragón	-	368	368
Aragón	Ebro Alto-medio y Aragón	-	961	961
Gállego	Gállego-Cinca-Ésera-Noguera Ribagorzana	194	105	299
Cinca	Gállego-Cinca-Ésera-Noguera Ribagorzana	94	647	741
Ebro (Gállego-Segre)	Bajo Ebro	175	400	575
Segre Bajo	Segre-Noguera-Pallaresa	145	441	586
Delta	Bajo Ebro	557	260	817
Total			3571	

Tabla 28. Distribución en unidades del incremento de demanda de riego hasta el segundo horizonte

Además de abastecimientos urbanos e industriales y regadíos, en el esquema se consideran también otras unidades de demanda industrial para la refrigeración de centrales térmicas y nucleares tal y como se indica en la tabla siguiente.

UDI	Central	Demanda	Retorno
Andorra	C.T. de Andorra	18	0.28
Ascó	C.N. Ascó	2438	0.98
Escatrón	C.T. Escatrón	287	1

Tabla 29. Demandas de refrigeración

La central nuclear de Santa María de Garoña toma aguas del Ebro directamente en cola del embalse del Sobrón. Sin embargo, no tiene derecho a desembalses específicos debido a su concesión, salvo aprobación expresa de la Comisión de desembalses. Según el Plan Hidrológico del Ebro, hasta ahora no se han producido desembalses específicos del embalse del Ebro con motivo de la refrigeración de esta central, ya que dispone de un circuito de refrigeración aprovechando el embalse del Sobrón con recirculación de agua cuando el Ebro no aporta caudal suficiente aguas arriba del Sobrón.

Por otra parte, además de las demandas propias descritas, desde la cuenca del Ebro se realizan las transferencias externas que muestra la siguiente tabla, para atender demandas en los ámbitos territoriales de las Cuencas Internas de Cataluña y Norte III.

Unidad	Trasferencia	Sistema de Explotación PH Ebro	Demanda (hm ³ /año)
Ordunte	Trasvase Cerneja-Ordunte	Nela	5
Riudecañas	Trasvase Ciurana-Riudecañas	Ciurana	8
Tarragona	Trasvase a Tarragona	Bajo Ebro	70
Zadorra	Gran Bilbao y Salto de Barazar	Bayas-Zadorra-Inglares	163
Total			246

Tabla 30. Transferencias actuales realizadas desde la cuenca del Ebro

Estas transferencias se incluyen en el esquema como demandas que se atienden desde los puntos de origen de la transferencia.

Respecto a los retornos, en el caso del uso urbano e industrial solo se han considerado en las cuatro unidades de mayor demanda (Zaragoza, resto Aragón, resto Ebro medio y resto Ebro alto), estimándose convencionalmente en el 80% de la demanda. Adoptar este criterio supone una infravaloración de los retornos -que en la práctica serían mayores-, y la consiguiente infravaloración de los sobrantes, lo que queda del lado de la seguridad a los efectos de este Plan Hidrológico Nacional.

Algo similar se ha realizado en el caso del uso agrícola, donde no se han considerado retornos en todas las unidades de demanda, sino tan solo en las más significativas cuantitativamente. Por ello, y para evitar una excesiva infravaloración de los retornos de riego, en lugar de la cifra convencional del 20% habitualmente empleada en el regadío, se ha adoptado un 25%, con lo que el retorno finalmente resultante resulta conservador aunque se aproxima más al que correspondería a adoptar el 20% en todas las unidades de demanda agraria del esquema.

Finalmente, la siguiente tabla resume las demandas consideradas en el sistema de explotación, indicando su cuantía total anual, su distribución estacional y el porcentaje de retorno aprovechable en el sistema.

	DEM. (hm ³)	DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA DEMANDA (%)												RET. (%)
		OC	NV	DC	EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG	ST	
Abast. C.P.Urgel	14	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Abast. CAC	21	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Abast. Delta y otros	39	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Abast. Huesca	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Abast. Lleida	27	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Abast. Logroño	35	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Abast. Pamplona	49	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Abast. RAA	15	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Abast. Vitoria	78	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Abast. Zaragoza	181	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0.8
Abast. Resto Aragón+fut.	129	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0.8
Abast. Resto Ebro alto+fut	89	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0.8
Abast. Resto Ebro medio+fut	94	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0.8
Abast. Resto Eje Ebro+fut	48	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Abast. Resto Gállego+fut	16	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Abast. Resto Segre-Cinca+fut	52	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Reg. Afl.Aragón-Huerva	57	2	0	0	1	1	4	5	8	14	28	26	11	0
Reg. Aguas Vivas	35	2	0	0	0	1	3	8	14	18	24	21	9	0
Reg. Alhama	93	3	1	0	0	1	4	4	9	16	25	24	13	0
Reg. Aragón bajo y Arga	47	1	0	0	1	2	5	10	13	19	25	18	6	0
Reg. Aragón fut	961	1	0	0	0	0	2	3	7	17	32	27	11	0.25
Reg. Aragón medio	97	2	0	0	0	1	4	6	11	14	26	25	11	0
Reg. Arba	40	1	0	0	0	0	2	3	7	17	32	27	11	0

	DEM. (hm ³)	DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA DEMANDA (%)											RET. (%)	
		OC	NV	DC	EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG		ST
Reg. C.A.Urgel	195	3	0	0	0	0	2	6	12	17	28	23	9	0.25
Reg. C.Bardenas	328	1	0	0	0	0	2	3	7	17	32	27	11	0.25
Reg. C.Bardenas y Ara. Alto	138	1	0	0	0	0	1	4	8	17	31	29	9	0
Reg. C.Delta (reg. inv.)	167	17	16	17	17	16	17	0	0	0	0	0	0	0
Reg. C.Delta+fut	817	0	0	0	0	0	1	10	11	20	25	22	11	0
Reg. C.Imperial	239	1	0	0	0	1	2	5	10	17	30	25	9	0.25
Reg. C.Lodosa y otros	287	1	0	0	0	0	1	1	5	24	29	29	10	0.25
Reg. C.Lodosa-Aragón	53	3	0	0	0	0	2	1	1	8	34	35	16	0
Reg. C.P.Urgel (reg. inv.)	43	17	16	17	17	16	17	0	0	0	0	0	0	0
Reg. C.P.Urgel y Segre alto	464	2	0	0	0	0	2	4	9	17	33	26	7	0.25
Reg. C.Tauste y otros	113	1	0	0	0	1	3	6	10	18	27	24	10	0.25
Reg. CAC alto y Ésera	326	2	0	1	1	0	2	6	14	16	22	22	14	0.25
Reg. CAC bajo	258	2	0	1	1	0	2	6	14	16	22	22	14	0.25
Reg. Cidacos	31	3	1	0	0	0	5	5	7	14	26	25	14	0
Reg. Cinca+Fut	741	4	0	1	1	0	4	8	10	17	24	23	8	0.25
Reg. Ebro (Gállego-Segre)+fut	575	1	0	0	0	1	3	10	15	16	24	21	9	0.25
Reg. Ebro (Segre-Cherta)	84	2	0	0	1	2	4	3	9	14	29	24	12	0
Reg. Ebro medio fut	368	1	0	0	0	0	2	3	7	17	32	27	11	0.25
Reg. Ega	32	1	0	0	0	1	3	9	20	19	21	18	8	0
Reg. Flumen y Alcanadre	71	2	0	1	1	0	2	6	14	16	22	22	14	0
Reg. Gállego+fut	299	2	0	1	1	0	2	6	14	16	22	22	14	0.25
Reg. Guadalupe alto y medio	90	2	0	0	0	0	2	6	11	18	27	24	10	0
Reg. Guadalupe bajo	41	2	0	0	0	0	2	6	11	18	27	24	10	0
Reg. Iregua	63	3	0	0	0	2	5	4	10	17	25	22	12	0
Reg. Jalón alto	22	1	0	0	0	0	1	2	9	22	32	26	7	0
Reg. Jalón bajo	219	1	0	0	0	1	2	5	9	17	29	26	10	0.25
Reg. Jiloca	85	1	0	0	0	0	1	3	10	21	30	26	8	0
Reg. Martin	53	2	0	0	0	1	3	8	14	18	24	21	9	0
Reg. Matarraña	55	2	0	0	0	1	4	6	10	15	26	24	12	0
Reg. Najerilla	71	3	0	0	0	0	2	3	9	22	30	22	9	0
Reg. Nog.Pallaresa	14	4	0	0	0	0	2	4	11	17	28	23	11	0
Reg. Piñana y N.Rib.	171	3	0	1	2	0	2	6	14	16	22	22	12	0.25
Reg. Queiles	58	2	0	0	0	1	3	5	10	13	27	28	11	0
Reg. RAA-C.Cinca	399	2	0	1	1	0	2	6	14	16	22	22	14	0.25
Reg. RAA-C.Monegros	61	2	0	1	1	0	2	6	14	16	22	22	14	0
Reg. RAA-Monegros-Flumen	459	2	0	1	1	0	2	6	14	16	22	22	14	0.25
Reg. Ebro alto fut	389	2	0	0	0	0	2	2	7	23	28	26	10	0.25
Reg. Segre bajo+fut	586	3	0	0	0	1	2	6	12	17	27	22	10	0.25
Reg. Tirón	36	1	0	0	0	0	2	3	14	32	32	11	5	0
Reg. Zadorra	52	1	0	0	0	0	1	1	6	31	27	25	8	0
Refrig. CT. Andorra	18	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0.28
Refrig. CN. Asco	2438	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0.98
Refrig. CT. Escatrón	287	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	1
Trasv. Ordunte	5	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Trasv. Riudecañas	8	4	4	3	4	6	7	9	10	14	15	14	10	0
Trasv. Tarragona	70	7	7	7	7	7	7	8	8	8	11	12	11	0
Trasv. Zadorra	163	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Total:	13767	3.7	2.5	2.7	2.7	2.7	4.1	6.2	9.6	14.8	21.4	19.4	10.1	0.357

Tabla 31. Síntesis global de demandas consuntivas en el ámbito del Plan Hidrológico del Ebro

Puede verse que la demanda total consuntiva futura considerada es de 13.767 hm³/año, de los que se consumen 8.847 y retornan al sistema 4.920 (un 35.7%), de los que 2.676 (un 54%) corresponden a las centrales nuclear de Ascó y térmica de Escatrón. Asimismo, los retornos totales de riego se han supuesto de 1.844 hm³/año, cifra, como se indicó, inferior a los 1.977 que resultarían si se adoptase el 20% estándar para todos los regadíos.

En cuanto a niveles de garantía se adoptan los criterios estándar de la planificación nacional cifrados en déficit anuales acumulados de cuantías porcentuales [2,3,10] y [50,75,100] para abastecimientos y riegos respectivamente. Además de estos criterios de caracterización del fallo ordinario, el coeficiente de fallo absoluto (umbral de fallo) se fija en un 1,5.

5.3.2.3. CAUDALES MÍNIMOS

Siguiendo lo establecido en el Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro, y que se recoge por este Plan Nacional, se adopta un caudal mínimo a circular de forma permanente en desembocadura de 100 m³/s. Como muestra la tabla, los 3153'6 hm³/año equivalentes suponen un 19% del total de aportaciones en régimen natural de la cuenca.

TRAMO	Ap. rég. natural (hm ³ /año)	Caudal mínimo (m ³ /s)	Caudal mínimo (hm ³ /mes)	Fracción (%)
Ebro en desembocadura	17036	100	263	19

Tabla 32. Caudales mínimos

Este caudal se introduce, siguiendo los criterios conceptuales propuestos en el Libro Blanco y adoptados en este Plan Hidrológico, como restricción de funcionamiento al sistema global de explotación de recursos.

5.3.2.4. ELEMENTOS DE REGULACIÓN

En la tabla siguiente se presentan las capacidades totales y volúmenes mínimos (hm³), de los embalses considerados en este análisis, algunos de los cuales se encuentran aún en fase de ejecución.

Embalse	Volumen total (hm ³)	Volumen mínimo (hm ³)
Alloz	84	2
Barasona (Joaquín Costa)	92	13
Búbal+Lanuza	89	12
Calanda+Santolea	107	-
Camarasa+Talarn+Terradets	454	113
Canelles+Escales	830	170
Caspe II	81	-
Gigudosa	34	-
Ciurana	12	-
Cueva Foradada	34	12
Ebro	540	1
Eugui	22	1
Grado I+Mediano	835	163
Itoiz	418	9
Mansilla	68	3
Mequinenza	1528	194
Montearagón	51	-
Pajares+Gonzalez Lacasa	68	-
Rialp+Oliana	501	23
Ribarroja	210	74
Santa Ana	240	67
Sotonera	189	10
Tranquera	84	5
Ullivarri+Urrúnaga	220	30
Vadiello	15	0
Val	24	-
Yesa	446	35

Tabla 33. Embalses actuales y en ejecución considerados en el esquema

En algunos de estos embalses, situados en la vertiente pirenaica, se establecen los resguardos para el control de avenidas, que se muestran en la tabla siguiente.

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	MIN
Búbal+Lanuza	73	73	89	89	89	89	73	73	73	89	89	81	12
La Sotonera	189	189	189	174	174	174	174	174	189	189	189	189	10
Grado+Mediano	702	702	781	781	781	781	747	747	802	835	835	702	163

Tabla 34. Resguardos en embalses

En concordancia con el criterio establecido en este Plan Nacional de determinar los sobrantes como los recursos no utilizados una vez alcanzadas las demandas establecidas en el segundo horizonte del Plan de cuenca, se han incluido en el esquema los principales embalses previstos en el Plan para dicho horizonte. Sin ellos, las nuevas demandas no podrían ser atendidas y se desvirtuaría la situación de referencia para el cálculo de sobrantes. Sin embargo, ha de aclararse que, al igual que se ha hecho en las otras cuencas estudiadas, la inclusión de dichos embalses en el esquema no presupone ningún tipo de pronunciamiento sobre su viabilidad técnica, económica o ambiental, más allá de las consideraciones efectuadas en el propio Plan de cuenca. Se trata, en

definitiva, de actuaciones que no condicionan la producción de excedentes y sus posibles transferencias, sino que se vinculan con el futuro desarrollo y consolidación de la cuenca, según las estimaciones y previsiones de su Plan Hidrológico. Si tales desarrollos de la cuenca fuesen inferiores a los previstos, y no se construyesen todos estos embalses, los excedentes en desembocadura serían mayores que los determinados en este estudio, lo que nos coloca, de nuevo, del lado de la seguridad.

Con este criterio, los embalses futuros previstos en el Plan del Ebro que se han incluido en el esquema son los indicados en la siguiente tabla.

Embalse	Volumen total (hm ³)	Volumen mínimo (hm ³)
Biscarrués	225	33
Enciso	47	-
Jánovas	180	18
Loteta	354	18
Lechago	30	-
San Salvador	20	-
Santa Liestra	108	7
Torre del Comte	29	-
Yesa recrecido	1525	133

Tabla 35. Embalses futuros considerados en el esquema

Todos estos embalses se introducen como nuevos elementos en el esquema, a excepción de Santa Liestra, que se considera agregado al embalse de Barasona (Joaquín Costa), y Yesa recrecido, que corresponde al mismo emplazamiento que el actual embalse de Yesa.

5.3.2.5. CONDUCCIONES

El cuadro adjunto resume las capacidades de las conducciones básicas consideradas en el esquema. Por analogía con los criterios adoptados en otros análisis de este Plan Hidrológico Nacional, no se impone ninguna limitación de servicio estacional. En esta cuenca no se incorpora ninguna conducción específicamente vinculada al Plan Nacional.

CONDUCCIÓN	Q _{max} (m ³ /s)	Q _{max} (hm ³ /mes)
Canal del Gállego	90	236
Canal de Monegros	90	236
Canal del Cinca	70	184
Canal de Aragón y Cataluña	32	84
Canal de Enlace	26	68

Tabla 36 . Conducciones consideradas

5.3.2.6. ESQUEMA GENERAL

Con los elementos descritos en epígrafes anteriores se ha construido el sistema básico de explotación general de la cuenca del Ebro, tal y como se muestra en el gráfico adjunto.

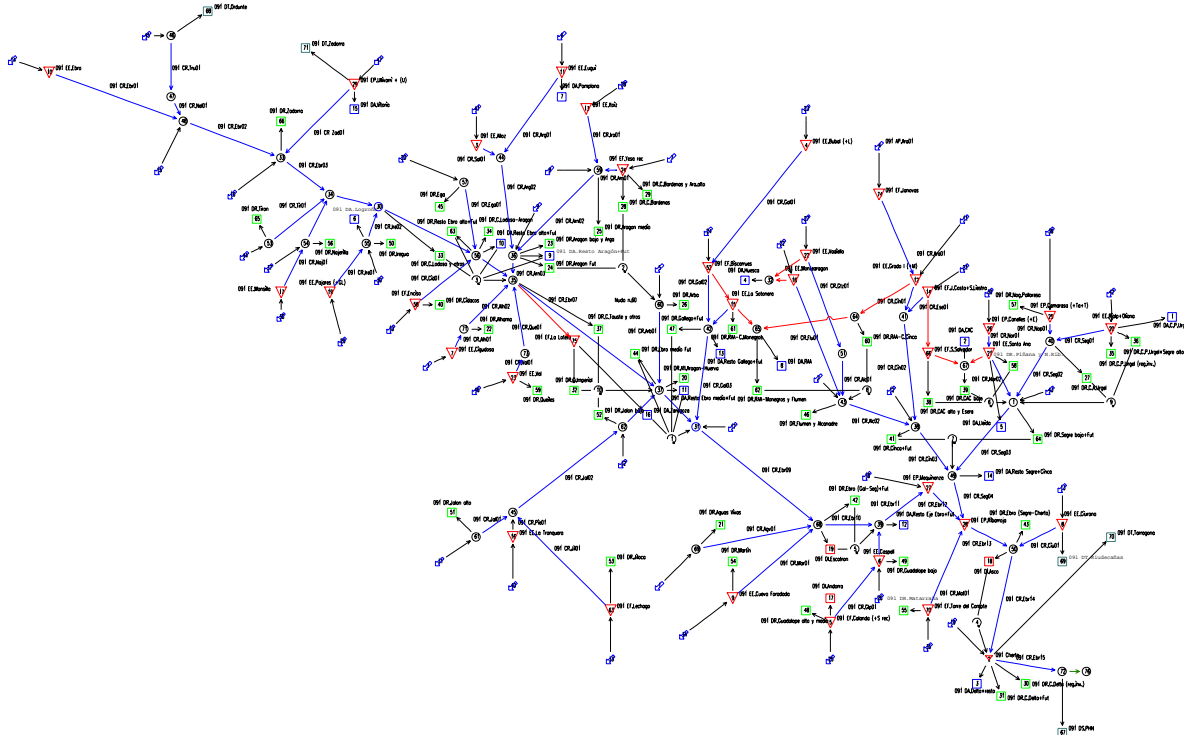


Figura 83. Sistema básico de explotación de la cuenca del Ebro

Este sistema es el que se somete a optimización de la gestión y análisis de la regulación general, con los resultados que seguidamente se exponen.

5.3.3. RESULTADOS OBTENIDOS

El análisis efectuado con el esquema descrito permite determinar los volúmenes circulantes por el tramo final del río Ebro, una vez atendidas todas las demandas de la cuenca, actuales y futuras, situadas aguas arriba. Las series de valores anuales y mensuales resultantes en el periodo de análisis son las mostradas en las figuras siguientes.

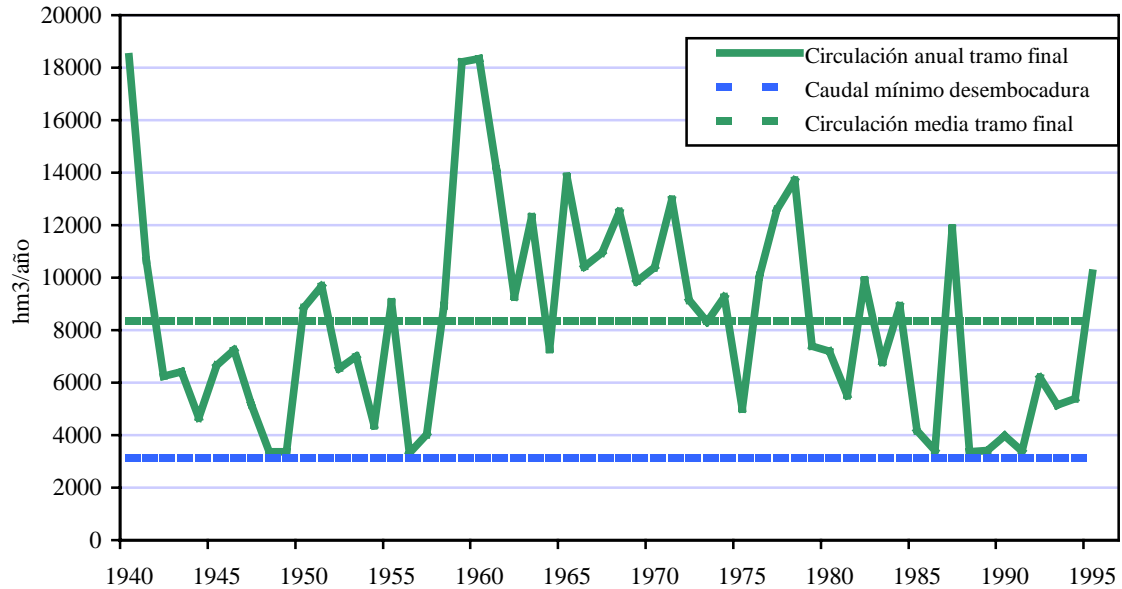


Figura 84. Volúmenes anuales estimados circulantes futuros en el tramo final del Ebro

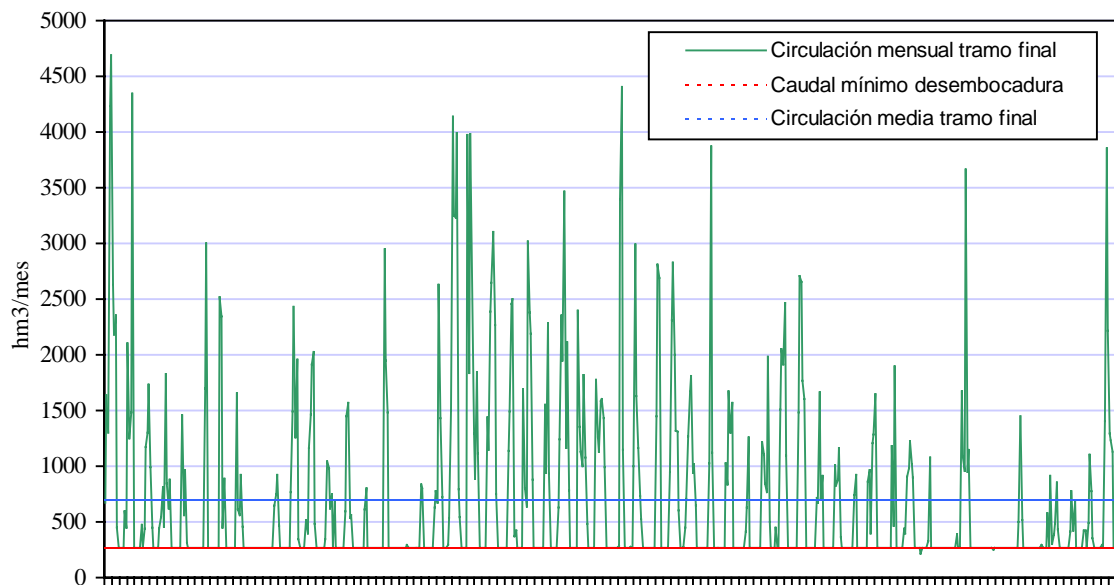


Figura 85. Volúmenes mensuales estimados circulantes futuros en el tramo final del Ebro

Como se aprecia en la figura, la serie de caudales circulantes futuros cumple a escala mensual y anual el requisito de superar el caudal mínimo establecido para la desembocadura en $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ($3154 \text{ hm}^3/\text{año}$, ó $263 \text{ hm}^3/\text{mes}$). Con los criterios descritos pueden calificarse de sobrantes los volúmenes que en dicho tramo final exceden este caudal, pues previamente se habrían atendido todas las demandas posibles del segundo horizonte y se preservaría el caudal mínimo en la desembocadura. De acuerdo con ello, se podrían contabilizar unos sobrantes medios anuales superiores a los 5000 hm^3 .

Este procedimiento permite asegurar que el régimen de transferencias no afectaría a los usos actuales ni futuros de la cuenca, pues los sobrantes se obtienen sin alterar la explotación del sistema: simplemente se observan y registran, sin ninguna intervención exterior, los caudales que circularían por el tramo final en el hipotético segundo horizonte establecido en el Plan de cuenca. La única posible afección sería la alteración en los desplazamientos de la cuña salina en el delta como consecuencia de la modificación de flujos provocada por la detracción de los volúmenes transferidos. Este posible efecto se analiza y cuantifica en Anejo específico, donde se identifican, además, posibles medidas correctoras de dicha alteración.

Los sobrantes obtenidos de esta forma se muestran en la figura siguiente. Se incluyen también en ella los sobrantes obtenidos en el Plan de cuenca (PHEbro) y en los trabajos realizados en desarrollo del proyecto de Plan Nacional de 1993 (PHN96). Puede apreciarse la similitud de las tres estimaciones, y ello a pesar de que las evaluaciones realizadas en este Plan Nacional se han realizado con series de aportaciones obtenidas por un procedimiento diferente y no se han incluido todos los elementos de regulación contemplados en el Plan de cuenca. Una diferencia fundamental es que la serie de sobrantes obtenida en este Plan Nacional incorpora el periodo correspondiente a la sequía de principios de los noventa, que, como se puede apreciar en la figura, es el más crítico del periodo de análisis y condiciona, por tanto, la cuantía de los sobrantes trasvasables.

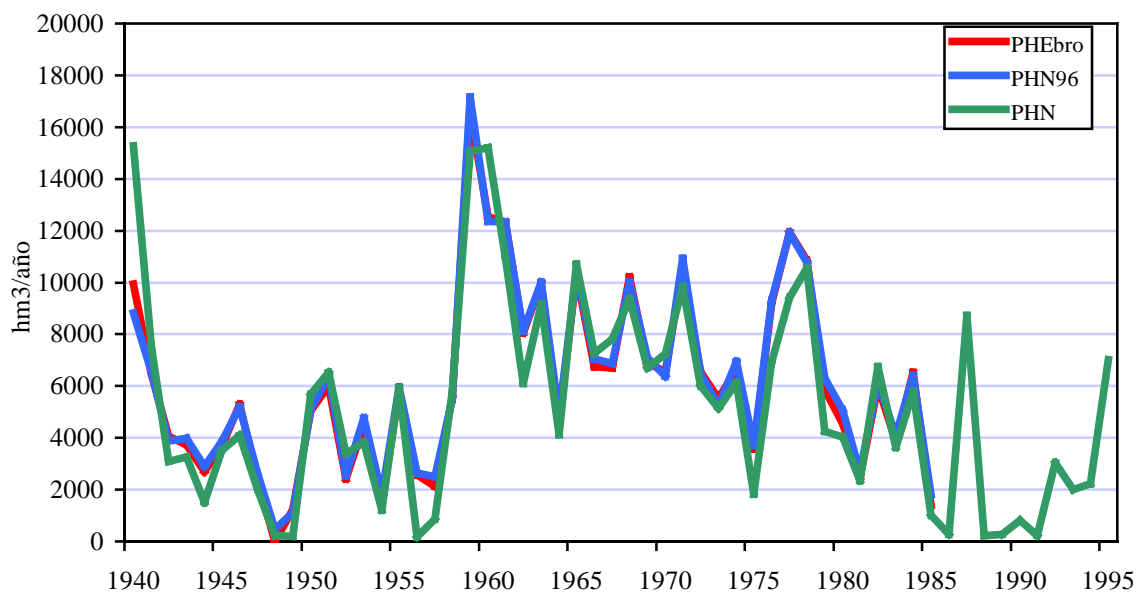


Figura 86. Series de sobrantes anuales

5.4. LA DISPONIBILIDAD DE SOBRANTES

Seguidamente se procede al análisis de la disponibilidad de sobrantes en dos áreas distintas de la cuenca: el tramo bajo, en la zona de desembocadura, y el río Noguera-Pallaresa, en el embalse de Talarn.

5.4.1. ZONA DE DESEMBOCADURA

5.4.1.1. CAUDALES CIRCULANTES. EVOLUCIÓN PREVISIBLE

El análisis del sistema del Ebro ha mostrado que, en la situación futura, y con todos los desarrollos previstos en la planificación hidrológica de la cuenca, se producirán unos flujos en la desembocadura con cuantía media de unos 8.370 hm³/año. Si de estos se deducen los 3.154 correspondientes al caudal mínimo para el Delta, resulta disponerse de unos 5200 hm³/año calificables, en términos jurídicos, como sobrantes. Si no se alcanzase el nivel completo de aprovechamiento previsto en el Plan Hidrológico, tal cuantía de sobrantes se vería correspondientemente incrementada.

La figura adjunta muestra la obtenida evaluación de la circulación futura en desembocadura, junto con otras evaluaciones disponibles, y la realmente observada en el periodo de referencia.

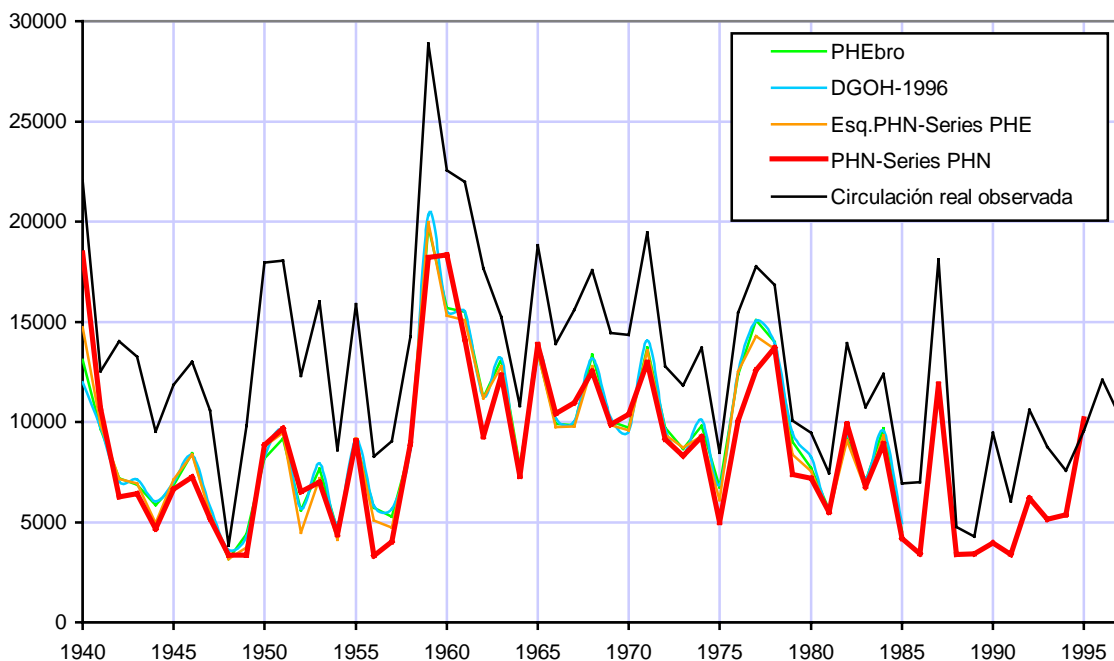


Figura 87. Circulación de caudales anuales (hm³) en el tramo final del Ebro

Como puede verse, la concordancia entre las diversas estimaciones es muy buena, pese a haber sido obtenidas en distintos estudios, y con procedimientos técnicos diferentes entre sí. La diferencia media con los flujos realmente observados desde el año 80 hasta hoy es de más de 3.000 hm³/año, que son, aproximadamente, los correspondientes al previsto incremento futuro de consumos netos en la cuenca.

Para ilustrar este efecto, la figura siguiente muestra el registro histórico observado (periodo 1940-1997) de caudales circulantes en el tramo final, que, como se vió, puede considerarse caracterizado por tres fases: entre 1940 y finales de los 50, en que el consumo neto permanece estable y algo por encima de los 3.000 hm³/año, con caudales

medios circulantes en desembocadura de unos 14.000 hm³/año. Una segunda fase es la del periodo de 20 años comprendido entre finales de los 50 y finales de los 70, en que se produce un incremento de consumos netos muy importante y sostenido, alcanzándose los 5.000 hm³/año, con unas circulaciones medias en desembocadura mayores de 12.000 hm³/año. Desde esas fechas el consumo neto continúa creciendo, aunque a un ritmo mucho menor, hasta la actualidad, en que puede cifrarse en unos 5.500 hm³/año, con circulaciones medias en desembocadura de unos 11.500 hm³/año.

A este periodo histórico del pasado reciente, con sus tres fases indicadas, seguiría una hipotética transición de 20 años en que se supone que se desarrollan y materializan todas las previsiones de demandas del Plan Hidrológico del Ebro (supuesto, como se vió, maximalista y poco verosímil). Tras ello, el periodo siguiente sería el ya mostrado, resultante del análisis del sistema en su estado futuro, y que implicaría unos consumos netos del orden de los 8.800 hm³/año, con circulaciones medias en desembocadura superiores a los 8.300 hm³/año.

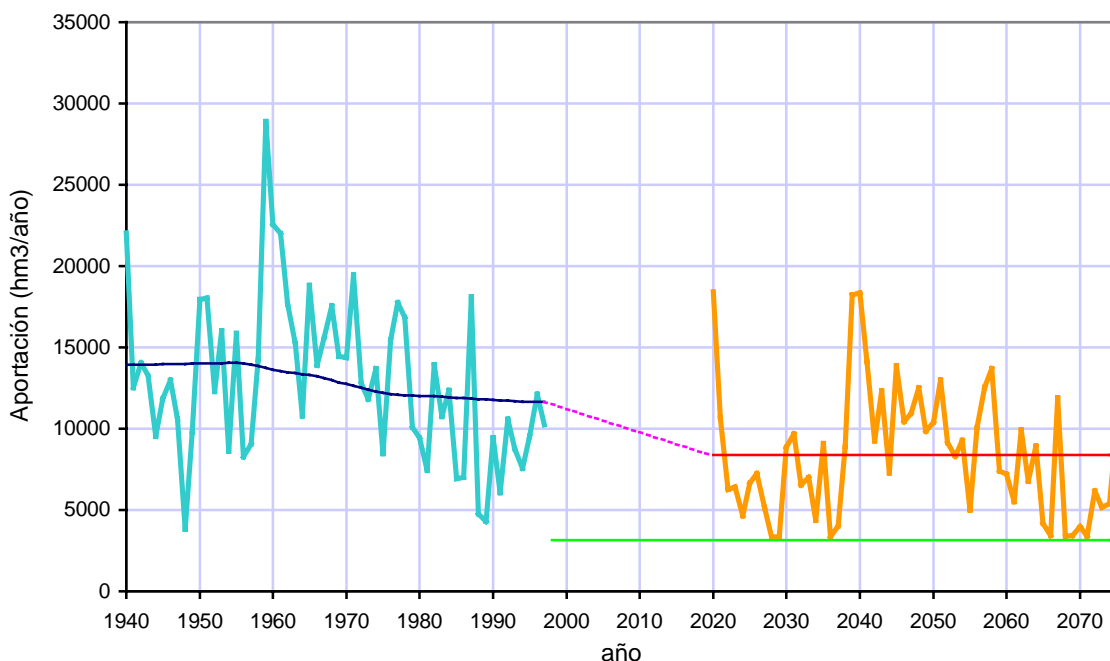


Figura 88. Evolución de volúmenes circulantes en el tramo final

Puede verse en la figura que, como ya se indicó, la simulación realizada permite mantener todos los años los caudales mínimos en desembocadura, pese al gran ritmo de crecimiento de consumos previsto en el Plan, que resulta ser superior al mayor de su historia como se vió analizando la evolución de superficies de riego o, ahora, la pendiente de la recta de transición. Ello muestra la viabilidad teórica de las previsiones del Plan Hidrológico del Ebro, y la corrección de sus determinaciones técnicas. Además de ello, cualquier modificación a la baja de este ritmo máximo de crecimiento dará lugar a mayores caudales circulantes en el tramo final, dejando los análisis realizados en este Plan Hidrológico Nacional del lado de la seguridad.

5.4.1.2. ESTACIONALIDAD DEL FLUJO

Como se vió en las anteriores figuras de circulaciones futuras anuales y mensuales, el régimen de flujos en desembocadura es ciertamente muy irregular tanto interanual como intraanualmente. Para investigar su estructura estacional, la figura adjunta muestra las medias y distintos percentiles de las aportaciones mensuales circulantes en el tramo final del río. Se representan también, como contraste, las medias mensuales obtenidas en el Plan Hidrológico del Ebro y en otros trabajos previos (DGOH, 1995), pudiendo comprobarse que todas las evaluaciones de caudales son sensiblemente coincidentes, aunque los propuestos en este Plan Nacional son ligeramente inferiores a los de las otras dos estimaciones, como consecuencia, entre otras cosas, de la incorporación de la sequía de principios de los noventa.

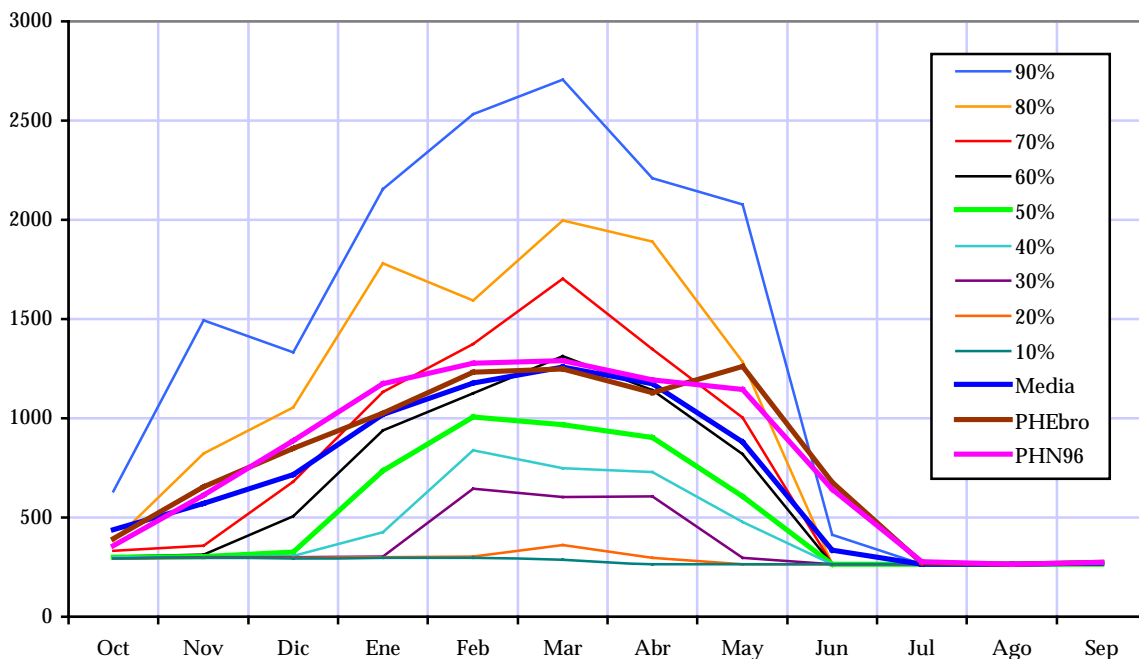


Figura 89. Percentiles y medias de los caudales mensuales (hm³) en el tramo final del Ebro

Puede verse que los caudales circulantes son muy elevados, pero se concentran en algunos meses del año, quedando prácticamente reducidos al mínimo ambiental del Delta en el periodo junio-septiembre. Los meses que siempre aportan cantidades importantes son los de diciembre a mayo. En este semestre se concentra el 75% de las aportaciones y el 90% de los sobrantes de todo el año.

La consecuencia práctica de este severo comportamiento es que la posible derivación de recursos para una transferencia externa debe considerar tal modulación en origen, y prever su máxima cuantía anual en función de la modulación de las necesidades externas y de las posibilidades de regulación de los sobrantes.

5.4.1.3. INDICADORES DE COMPORTAMIENTO BAJO EL SUPUESTO DE DEMANDA

Obtenido el régimen estacional de los flujos circulantes en desembocadura, cabe suponer que este flujo alimenta una demanda externa, que sería la atendida con la transferencia, y estudiar las características que tendría este suministro hídrico. Para ello evaluaremos, para diferentes valores de la demanda externa y del hipotético almacenamiento disponible, el comportamiento de distintos indicadores de garantía de atención de esta demanda.

Las figuras adjuntas muestran, para el supuesto razonable de una demanda continua en los 8 meses octubre-mayo y nula en junio-septiembre, los valores de la garantía mensual, garantía volumétrica y déficits anuales acumulados para 1, 2 y 10 años, según el almacenamiento disponible, y para cada total anual demandado. Asimismo, se incluye una representación de estos déficit para capacidades de embalse excepcionalmente grandes, lo que nos permite observar sus propiedades asintóticas.

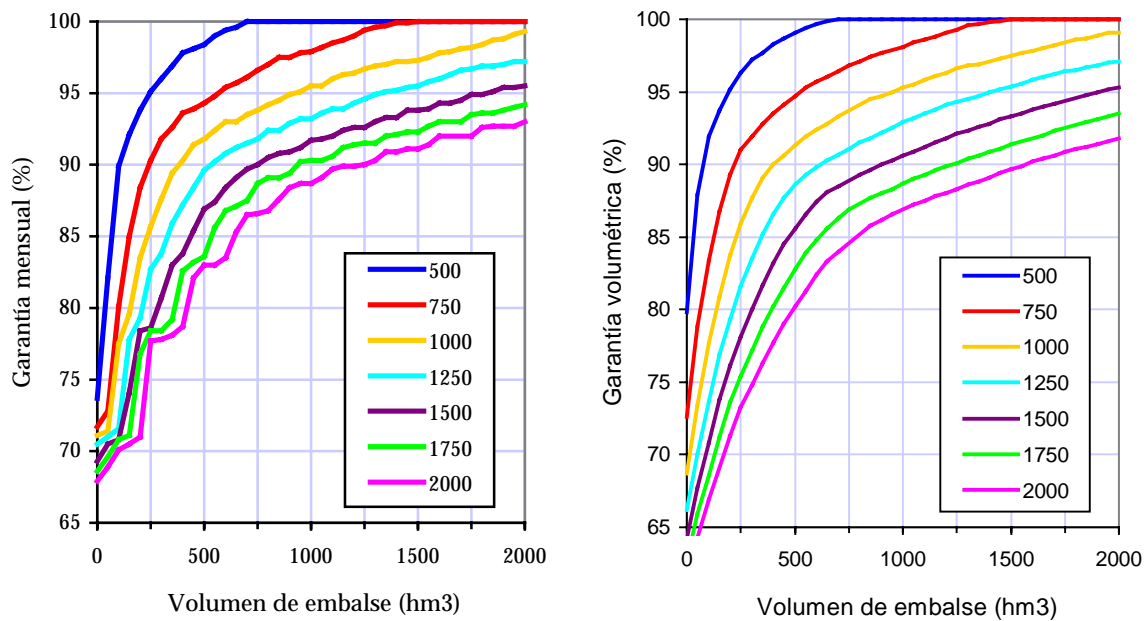


Figura 90. Garantías mensual y volumétrica para demanda continua en 8 meses

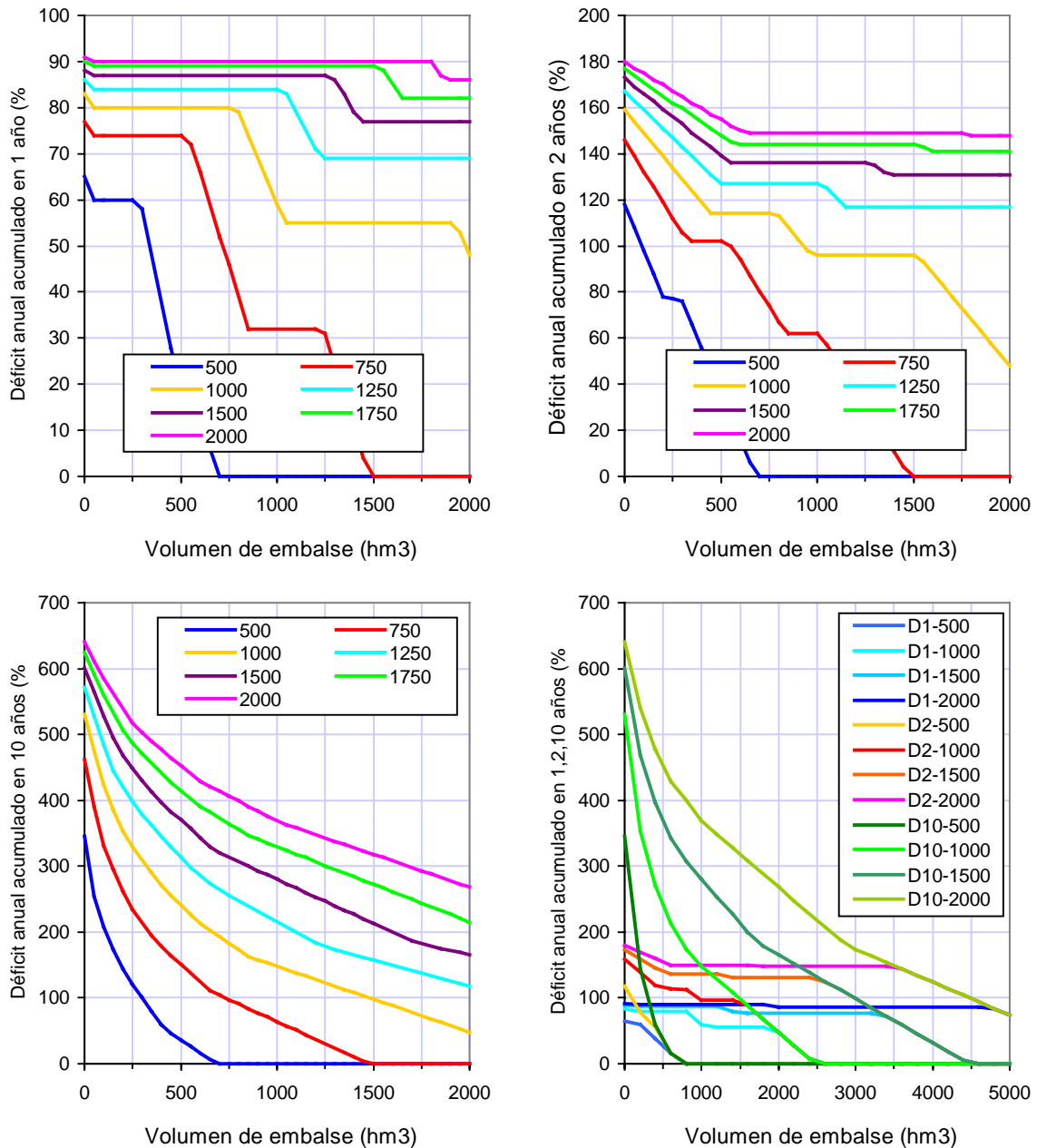


Figura 91. Déficit anuales acumulados para demanda continua en 8 meses

Como se observa en las figuras, si no existe ninguna capacidad de almacenamiento disponible las garantías mensuales son inferiores al 75%, las volumétricas inferiores al 80%, y se producen fallos aparentes de suministro (65, 120, 350% de déficit en 1, 2 y 10 años), lo que supone un resultado deficiente, incluso para demandas reducidas, del orden de 500 hm³/año.

En los gráficos de demandas mensual y volumétrica se observa que, si puede disponerse de alguna capacidad de almacenamiento, los rendimientos mejoran extraordinariamente hasta volúmenes de embalse del orden de 500 hm³ (entre 300 y 700 según la demanda), y después continúan mejorando pero a un ritmo mucho más reducido. Ello da una primera idea de la disponibilidad mínima que parece

recomendable. Como referencias indicativas cabe indicar que sin embalse no parece viable ninguna transferencia; con 500 hm³ de embalse y el 95% de nivel mínimo de garantía tanto mensual como volumétrica, el volumen que puede derivarse sería de unos 750 hm³/año; si el embalse se eleva a unos 1.000 hm³, entonces el volumen derivable alcanza los 1.000 hm³/año; finalmente, un almacenamiento de 1.500 hm³, permitiría superar los 1.300 hm³/año de transferencia.

Si se examina ahora el gráfico de déficit máximo en 1 año, se observa que un embalse de 800 hm³ produce mejoras sustanciales para demandas de hasta 750 hm³/año, pero si las demandas son muy grandes (p.e. mayores de 1500 hm³/año), la mejora es prácticamente inexistente, incluso para volúmenes de embalse muy elevados. En la figura conjunta (4^a) puede verse este efecto, comprobando que si la demanda es de 2000 hm³/año, ni siquiera un embalse de 5000 hm³ puede llegar a mejorar el déficit anual máximo.

Observando el gráfico de déficit máximo acumulado en 2 años, con el gráfico conjunto, el efecto anterior aparece aún con mayor nitidez, pudiendo verse que para demandas superiores a 1000 hm³/año, es necesario aproximarse a los 3000 hm³ de embalse para conseguir mejoras apreciables.

Si ahora se observa el gráfico de déficit máximo acumulado en 10 años, y el gráfico conjunto, puede verse como el efecto anterior ha desaparecido, y los déficit se van reduciendo de forma gradual a medida que se aumenta la regulación disponible, con independencia de cual sea el nivel de demanda solicitado.

Este comportamiento está revelando, en definitiva, la existencia de un periodo reducido extremadamente crítico, que provoca importantes déficit acumulados en 1 y 2 años, y que requiere, para su superación, de volúmenes de embalse muy elevados frente a las demandas requeridas. En efecto, volviendo al gráfico de circulación de caudales anuales, puede verse que existe un periodo de 4 años (1988-1991) en el que la circulación es la correspondiente al caudal mínimo ecológico, y los sobrantes disponibles son de pocos cientos de hm³ al año.

Ante esta situación, es obligado ponderar prudentemente tales riesgos con un criterio de seguridad razonable, que impida inicialmente compromisos de transferencias que no pudiesen satisfacerse en el futuro, y ello aunque las cuantías anuales sean muy inferiores a las máximas posibles.

Para ello se requiere determinar los umbrales de fallo admisibles, lo que conduce, en definitiva, a estudiar la tipificación de las demandas que se atenderían con la transferencia.

Dado que un principio inspirador de este Plan Hidrológico Nacional es la no ampliación de riegos con aguas trasvasadas, y su destino básico es para abastecimientos, sustitución de la sobreexplotación, y mejora de la garantía, el máximo fallo admisible en un año sería el que podría soportar una demanda de tal naturaleza. Ello se traduce, en la práctica, en un suministro seguro para el abastecimiento, ya que el riego puede soportar mermas esporádicas de entrega movilizándolo puntual y temporalmente los recursos subterráneos sobreexplotados, que son el objeto de la sustitución, y para los que ya existe el necesario equipamiento. Esta

movilización ocasional tendría el carácter de un socorro excepcional, al nivel estrictamente necesario para alcanzar los estándares de garantía, y podría también operar para los abastecimientos aunque parece prudente no considerar, en principio, tal posibilidad.

En las zonas del levante identificadas como deficitarias, los incrementos de abastecimientos pueden suponer del orden del 30% del total requerido, por lo que es razonable aceptar que el máximo déficit anual admisible sea del orden del 70%, o, equivalentemente, del 140% en dos años consecutivos, ya que los ritmos actuales de extracción tienen carácter continuado, y no requieren recuperaciones específicas a escala bianual. A escala decenal, no parece razonable –aunque sería posible– mantener tales condiciones excepcionales, y el problema se traslada al de continuidad global de servicio, equivalente, en definitiva, a una garantía porcentual de tipo mensual o volumétrico. Si el mínimo anual ordinario se establece en un 95%, el déficit anual acumulado en 10 años sería del orden del 180%, valor que puede sin duda aumentarse considerando el mecanismo de socorro, aunque sin alcanzar el 700% que implicaría la operación de tal mecanismo de forma continua. Se propone, tentativamente, un 300% como cifra de compromiso prudencial y reducida.

Examinando los gráficos de déficit anuales acumulados, puede verse que tales situaciones se consiguen, a escala anual o bianual, y sin regulación alguna, para demandas del orden de los 600 hm³/año, mientras que a escala decenal apenas se llegaría a unos 500 hm³/año.

La situación mejora extraordinariamente a poca cuantía de almacenamiento de que pueda disponerse. Así, con unos 500 hm³, los tres criterios de déficit acumulado apuntan a volúmenes trasvasables del orden de 700, 1500 y 1200 hm³/año respectivamente; con unos 1000 hm³ de embalse estas cuantías se elevan a 1100, 1600 y 1600 hm³/año, y con un embalse de 1500, se elevarían hasta 1250, 1700 y 1900 hm³/año respectivamente.

En síntesis, ponderando estos resultados con los anteriormente expuestos para los criterios porcentuales mensual y volumétrico, y tomando las estimaciones más limitativas y seguras, puede concluirse que, en los términos de una demanda añadida al sistema, no es deseable plantear ninguna transferencia desde el curso bajo del Ebro si no se dispone de algún almacenamiento que permita cierta modulación en la toma. Si este almacenamiento fuese de 500 hm³, podrían derivarse 700 hm³/año; si fuese de 1000 se podrían derivar 1000 hm³/año; y si fuese de 1500 se podrían derivar 1200 hm³/año.

La situación de este curso bajo del río es que existen dos importantes embalses hidroeléctricos, los de Mequinenza y Ribarroja, que con capacidades totales de 1530 y 210 hm³, y útiles de 1330 y 135 hm³ respectivamente, pueden proporcionar sobradamente este servicio sin afección alguna a las demandas de la cuenca del Ebro, sin que se requiera el concurso de ninguna otra regulación de la cuenca -actual ni futura-, sin afectar a los usos recreativos de estos embalses, y con el único impacto previsible de una modificación de las condiciones de turbinación hidroeléctrica, reducible a términos económicos cuya cuantía es computable, e íntegramente

repercutible, en su caso, a los beneficiarios de la transferencia como un elemento más de su coste.

En consecuencia, y en contra de un tópico muy extendido, ninguna de las infraestructuras de regulación planteadas en la cuenca del Ebro tiene relación alguna con las posibles transferencias externas desde esta cuenca. De hecho, y sin perjuicio de los posibles efectos de regularización de flujos, en la medida en que se desarrollen tales regulaciones habrá mayor consumo propio en la cuenca y, en consecuencia, menores volúmenes sobrantes en su desembocadura. Como veremos, posteriormente se acotará y cuantificará este efecto de merma.

5.4.1.4. INDICADORES DE COMPORTAMIENTO BAJO EL SUPUESTO DE SOBRENTE

En lo expuesto anteriormente se ha supuesto que la posible transferencia desde el curso bajo del Ebro tiene el carácter de una demanda más, con un cierto régimen estacional, y determinados criterios de garantía que satisfacer de forma razonable. En estas condiciones, los resultados son los que se han mostrado anteriormente.

Un enfoque diferente a éste es el de considerar una cierta capacidad de almacenamiento y de toma, y derivar los caudales sobrantes que sea posible en cada momento, encomendando la regulación de estas derivaciones a los lugares de tránsito o destino, fuera del sistema. No se plantea, pues, una demanda de transferencia como tal, sino un máximo trasvasable anual y una facilidad de derivación no regulada del sobrante existente hasta alcanzar este máximo, sin ningún compromiso de disponibilidad ni regulación en la zona de origen.

Esta formulación parece, en principio, el deseable siempre y cuando tal régimen de explotación sea técnicamente viable en el sistema global, con tránsitos y destinos, y el funcionamiento conjunto obedezca a la racionalidad técnico-económica. Además, esta concepción es concordante con el carácter de las transferencias planteadas, que no corresponden estrictamente a nuevas demandas, sino a complementos, auxilios y consolidaciones de demandas ya previamente existentes.

Para valorar los resultados de este enfoque puede verse la figura adjunta, que muestra los volúmenes medios anuales que podrían derivarse del bajo Ebro en función de la capacidad de la toma, y para diferentes supuestos de almacenamiento disponible en origen.

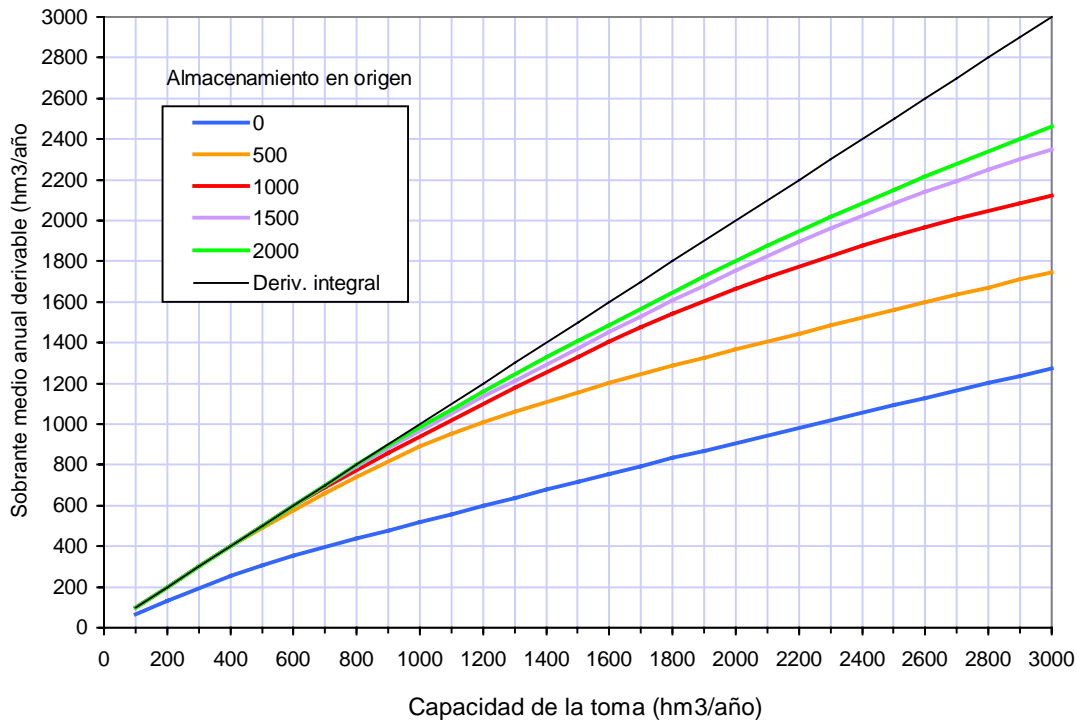


Figura 92. Sobrantes medios anuales derivables según la capacidad de toma y el almacenamiento disponible

Como puede comprobarse, si el almacenamiento disponible es cero, los volúmenes de sobrantes derivables crecen de forma casi lineal con la capacidad de captación, de forma que con una toma de 1000 hm³/año podrían derivarse, por término medio, 500 hm³/año de sobrantes, con una toma de 2000 hm³/año podrían derivarse unos 900, y con una toma de 3000 hm³/año podrían derivarse 1300. Ello supone un coeficiente de dimensionamiento de la conducción (capacidad total/volumen transportado) aproximadamente igual a 2.

Además, puede verse con claridad que si se dispone de algún almacenamiento en origen el rendimiento mejora extraordinariamente, aproximándose al coeficiente de dimensionamiento 1, que sería el dado por la línea de derivación integral (o de los 45°), representada en la figura, y que supone que la toma estaría funcionando de forma permanente a su plena capacidad.

Así, con un almacenamiento en origen de 500 hm³, es posible derivar 1000 hm³ de sobrantes al año con una toma de 1200, 1200 con toma de 1600, y casi 1400 con una toma de 2000, y casi 1800 con una toma de 3000. Si el almacenamiento se aumenta a 1000 hm³ (aún inferior al realmente existente), sería posible derivar 1000 hm³/año con una toma de 1100, y 1300 con una toma de 1500.

Puede concluirse, en definitiva, que concebida la transferencia no como una demanda ordinaria que haya de satisfacer ciertas garantías mínimas, sino como una derivación estricta de sobrante, cuando lo haya, y que debe ser modulado en tránsito o destino, no existe ninguna dificultad hidrológica para derivar volúmenes medios del orden de los 2000 hm³/año con tomas de 3000, y disponiendo de almacenamientos en origen inferiores a los 1000 hm³.

5.4.1.5. CONCLUSIONES. LOS SOBANTES DERIVABLES

Ponderando los resultados anteriores con los obtenidos previamente, siguiendo una concepción de demanda ordinaria, puede finalmente proponerse, de forma prudencial y muy conservadora, una derivación media máxima de 1200 hm³/año, lo que requiere una captación máxima en origen de hasta 1600 hm³/año de capacidad (coeficiente 1.33), y un almacenamiento en origen de unos 500-1000 hm³. El carácter conservador de esta cuantía permitiría, en su caso, absorber incluso otras posibles derivaciones de la cuenca, tales como la captación del Noguera Pallaresa hacia el área de Barcelona, sin que el volumen máximo propuesto se vea alterado en la práctica. Asimismo, una mayor disponibilidad de almacenamiento en origen, perfectamente viable, podría quizá permitir una mejor gestión de la cuña salina y de la circulación de flujos en el delta, tal y como se indica en el correspondiente Anejo de este Plan.

En definitiva, con este criterio, la serie de sobrantes anuales derivables y sus cuantiles mensuales son los mostrados en la figura adjunta.

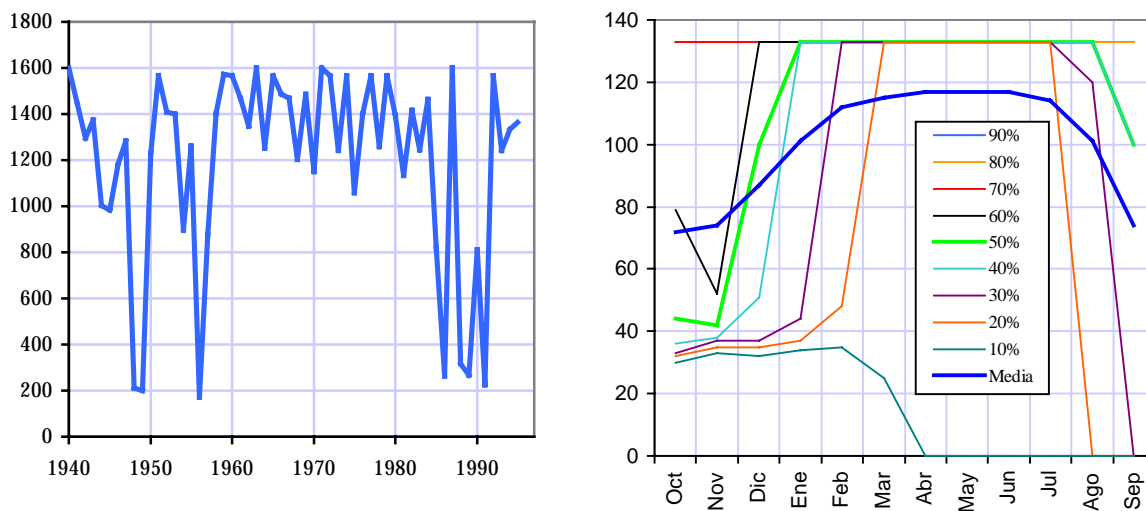


Figura 93. Serie anual y cuantiles mensuales de los sobrantes derivables

Observando la figura puede verse que, siendo el valor medio de 1200, la mayoría de los años se derivan cantidades entre 1100 y 1600 hm³/año. No existe ningún año en que no se derive nada, y hay 7 años con valores reducidos, por debajo de los 300 (lo que vendría a coincidir, por otra parte, con el mínimo estricto conforme al criterio de garantía de demanda ordinaria).

Los cuantiles mensuales muestran una meseta en el periodo octubre-abril (todos los cuantiles considerados son positivos), y un periodo desfavorable en abril-septiembre, exacerbado especialmente en agosto y septiembre. Ello confirma, en definitiva, la razonable validez del modelo de demanda en 8 meses anteriormente empleado, que excluye enteramente el cuatrimestre junio-septiembre de la demanda de recursos procedentes de las transferencias.

5.4.1.6. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Para perfeccionar el análisis, cabe considerar el efecto que tendría sobre la serie de sobrantes una disminución generalizada de las aportaciones naturales como consecuencia de un hipotético cambio climático.

Tales efectos han sido analizados en el Libro Blanco del Agua, cuya conclusión al respecto puede resumirse en que no procede modificar las demandas hídricas previstas, pero sí cabe reducir las aportaciones en cuantías que son inciertas, pero que pueden tentativamente cifrarse, a efectos de diseño, en un 5% medio global al segundo horizonte del Plan (la horquilla correspondiente al Ebro está en el 3-9% de disminución de aportaciones). Asimismo, se prevé también un aumento de irregularidad de las aportaciones, cuya cuantificación se ignora.

La figura adjunta muestra la circulación de caudales anuales observada en el tramo final del río Ebro, junto con la serie de circulaciones de diseño, adoptada en este Plan Hidrológico, y las circulaciones resultantes tras una disminución generalizada de aportaciones naturales del 5 y el 10%.

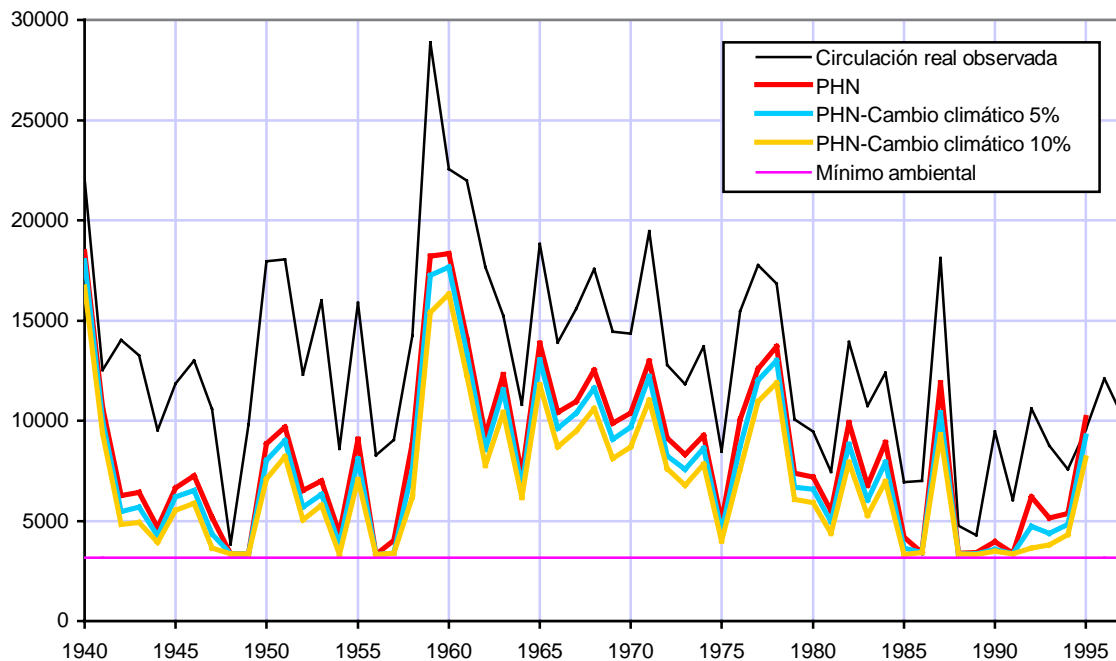


Figura 94. Circulación de caudales anuales (hm^3) en el tramo final del Ebro bajo supuestos de cambio climático

Como puede verse, la serie de sobrantes anuales apenas se ve afectada por la reducción de caudales naturales, aunque fallarían mas demandas propias de la cuenca del Ebro. Las circulaciones medias resultantes son de 8372, 7696 y 6967 $\text{hm}^3/\text{año}$ respectivamente, frente a los 12900 medios observados en el periodo 1940-97. En todos los casos se mantendría el mínimo ambiental de 100 m^3/s en desembocadura.

Los órdenes de magnitud de las cifras mostradas, en contraste con los máximos sobrantes derivables sugeridos, permiten concluir que una merma de aportaciones naturales como consecuencia del cambio climático no incidiría apreciablemente sobre los resultados anteriormente obtenidos.

5.4.1.7. EFECTOS DE LAS NUEVAS REGULACIONES DEL EBRO

Para concluir el estudio, cabe considerar el efecto que tendría sobre la serie de sobrantes la no existencia de ninguna de las nuevas infraestructuras de regulación previstas o en ejecución en el ámbito de la cuenca del Ebro, combinada con el supuesto más desfavorable de demandas, que es el de desarrollo de todos los regadíos previstos a largo plazo en su plan Hidrológico. Ello permite valorar la incidencia que tienen las presas del Ebro para los sobrantes disponibles en su desembocadura.

Para evaluar esta hipótesis se repite el análisis del sistema pero eliminando las presas de Biscarrués, Enciso, Jánovas, La Loteta, Lechago, San Salvador, Santa Liestra, Torre del Compte, y recrecimiento de Yesa.

Los resultados obtenidos son los mostrados en la figura, en la que se han representado también las series anteriormente obtenidas.

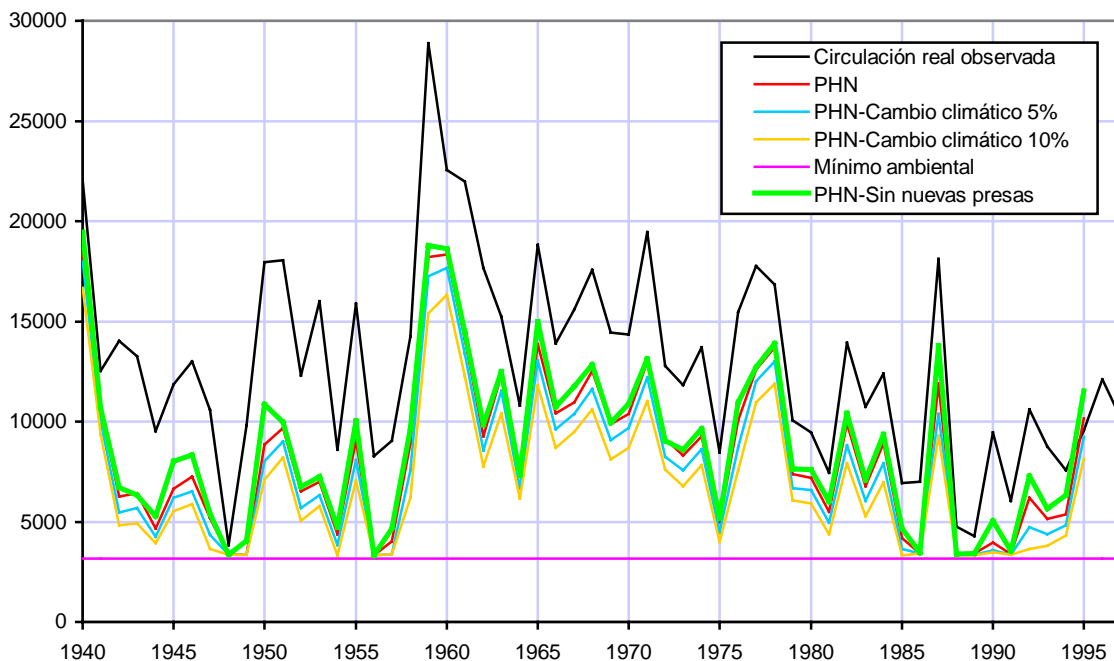


Figura 95. Circulación de caudales anuales (hm^3) en el tramo final del Ebro bajo el supuesto de no nuevas presas

Como se observa, esta hipótesis da lugar a unos caudales circulantes que son mayores que los resultantes bajo cualquiera de los otros supuestos anteriores. El valor medio de la serie se eleva a $8873 \text{ hm}^3/\text{año}$, lo que supone $500 \text{ hm}^3/\text{año}$ más de los obtenidos suponiendo la existencia de todas las nuevas presas (8372).

Ello muestra de forma inequívoca que las nuevas regulaciones del Ebro mejorarán las garantías de servicio de los sistemas propios de la cuenca, pero no se requieren en absoluto para la mejor disponibilidad de sobrantes trasvasables. Muy al contrario, su efecto es precisamente el de disminuir del orden de un 6% los caudales del río circulantes en la desembocadura.

5.4.2. CUENCA DEL SEGRE

Bajo el supuesto de derivación de caudales no requeridos por el sistema, y que –sin perjuicio de su posible afección hidroeléctrica– no rebajen las garantías de suministro de las demandas consuntivas existentes y previsibles a largo plazo, la serie de volúmenes sobrantes en el río Noguera-Pallaresa, derivables desde Talarn, es la mostrada en los gráficos adjuntos.

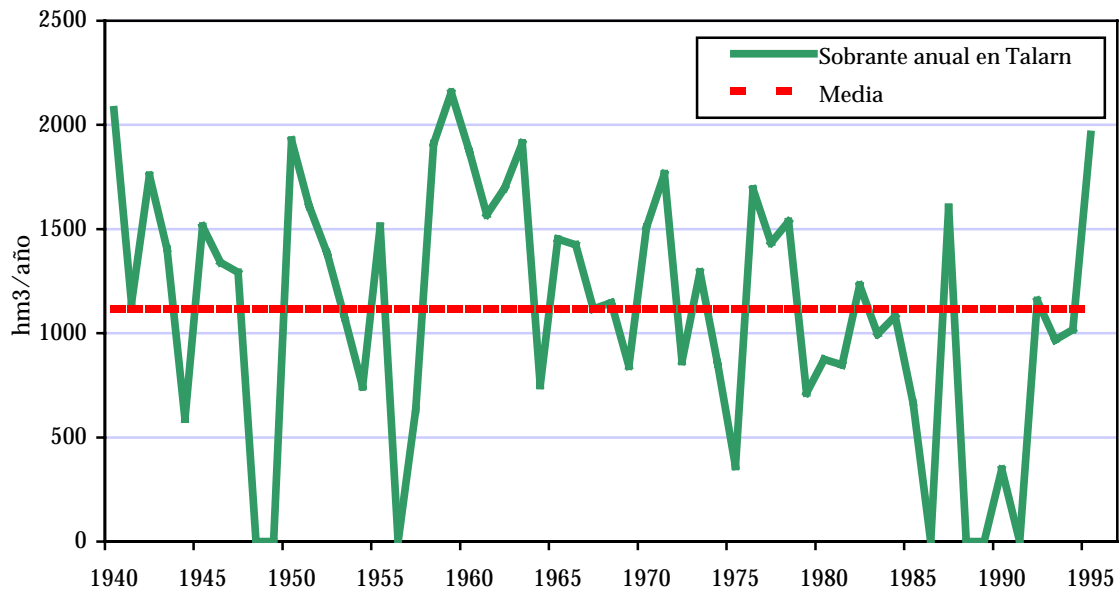


Figura 96. Sobrantes anuales futuros en Talarn

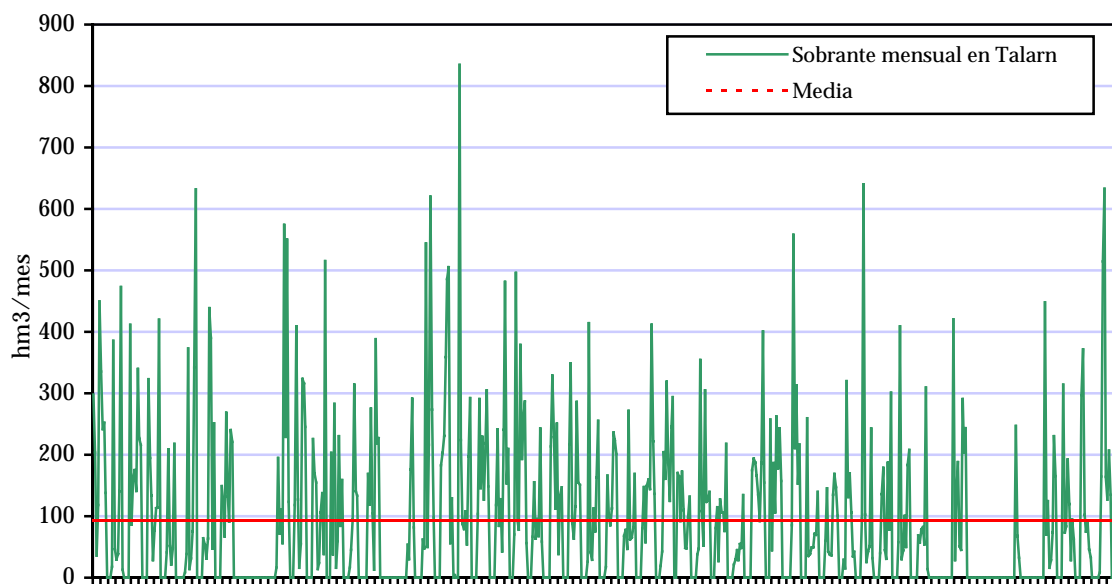


Figura 97. Sobrantes mensuales futuros en Talarn

Como se aprecia, existe un sobrante medio anual muy importante (del orden de 1118 hm³/año), pero con una gran irregularidad temporal: existen años con más de 2000 hm³, y años en que prácticamente no hay sobrantes disponibles.

Intraanualmente, la irregularidad de los flujos derivables es también manifiesta como puede verse examinando la serie mensual y, con mayor detalle, las medias y distintos percentiles de esta serie.

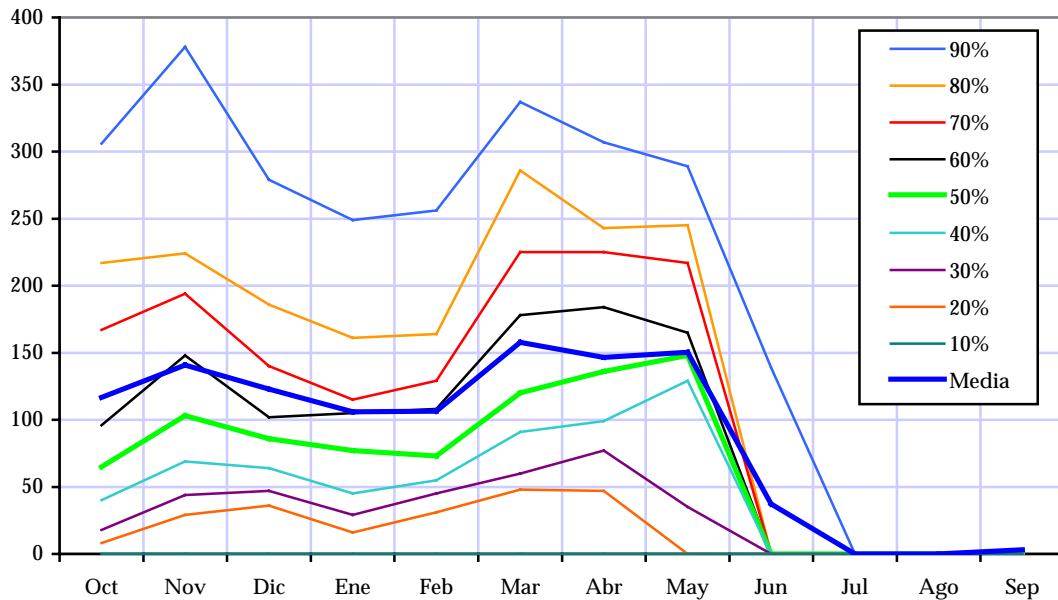


Figura 98. Percentiles y media de los sobrantes mensuales (hm³) en Tarn

Puede verse que los sobrantes son elevados, pero se concentran en el período octubre-mayo (más de 100 hm³/mes de media en este período, con 93 de media global), quedando prácticamente anulados en el período junio-septiembre. El período húmedo es bastante regular, con dos máximos relativos en otoño y primavera (lluvias y deshielos respectivamente).

La consecuencia práctica de este comportamiento hidrológico es que, como sucede en otros casos analizados, la posible derivación de recursos para una transferencia externa debe considerar tal modulación de 8 meses en origen, y prever su máxima cuantía anual en función de la modulación de las necesidades externas y de las posibilidades de regulación de los sobrantes.

Para estudiar este fundamental aspecto evaluaremos, para diferentes valores de la demanda externa y del hipotético almacenamiento disponible, el comportamiento de distintos indicadores de garantía de atención de esta demanda.

Las figuras adjuntas muestran, para el supuesto razonable de una demanda continua en los 8 meses octubre-mayo y nula en junio-septiembre, los valores de la garantía mensual, garantía volumétrica y déficits anuales acumulados para 1, 2 y 10 años, según el almacenamiento disponible, y con una curva para cada total anual demandado. Asimismo, se incluye una representación de estos déficits para capacidades de embalse excepcionalmente grandes, lo que nos permite observar sus propiedades asintóticas.

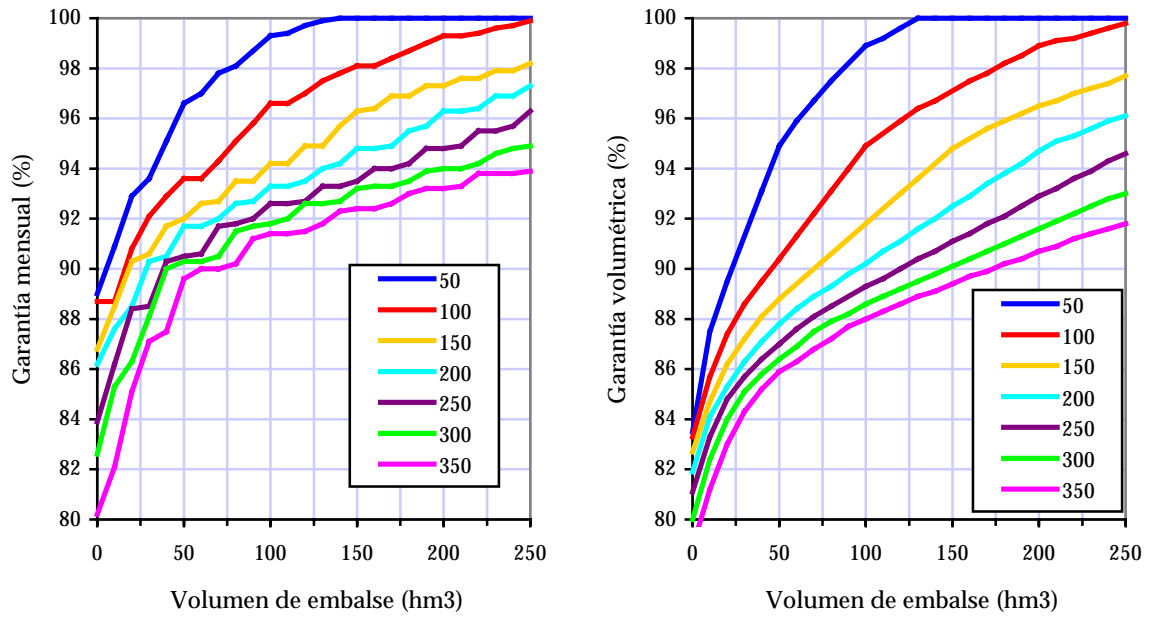


Figura 99. Garantías mensual y volumétrica para demanda continua en 8 meses

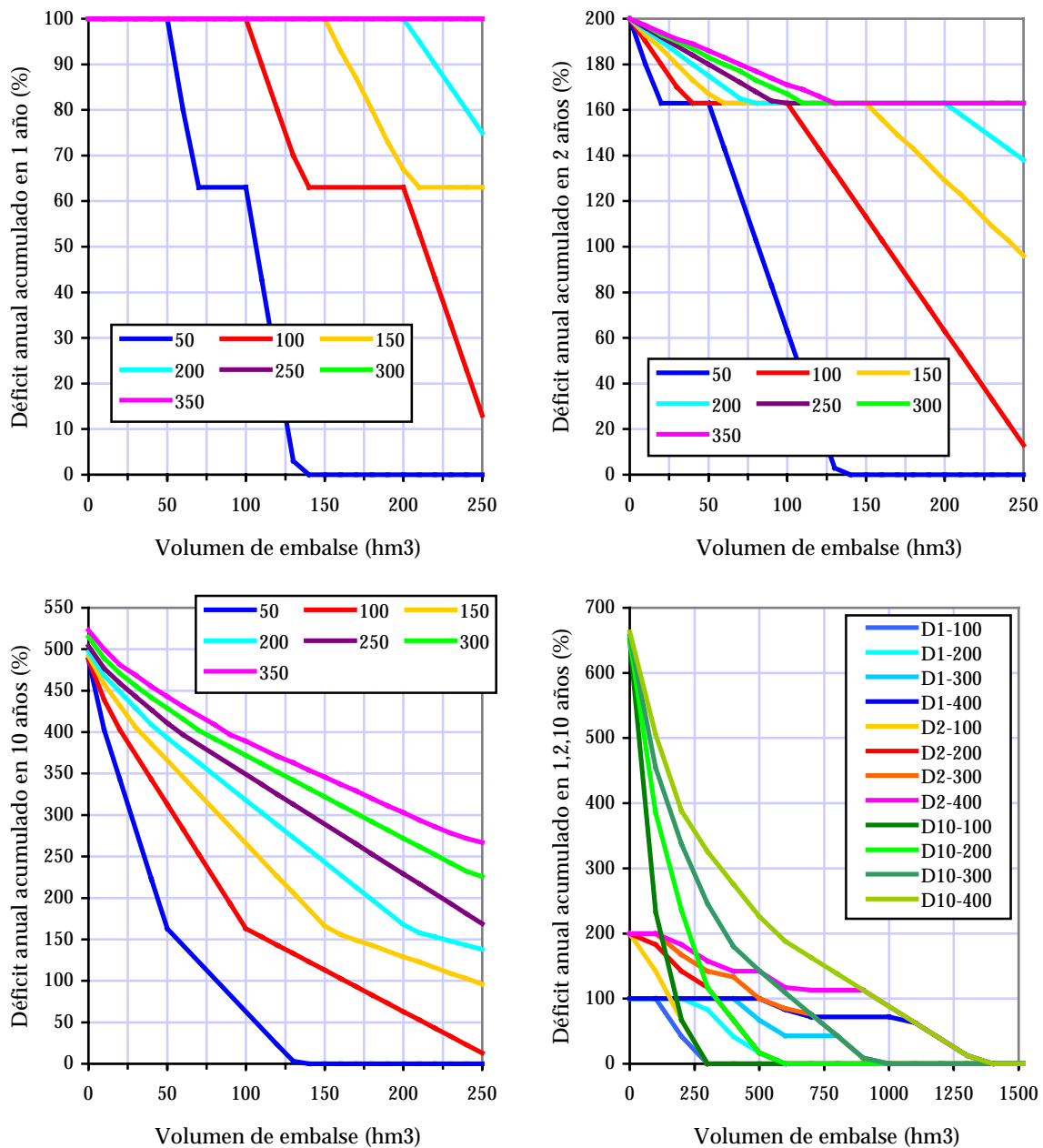


Figura 100. Déficit anuales acumulados para demanda continua en 8 meses

Como se observa en las figuras, si no existe ninguna capacidad de almacenamiento disponible las garantías mensuales son inferiores al 90%, las volumétricas inferiores al 85%, y se producen fallos aparentes de suministro (100, 200, 490% de déficit en 1, 2 y 10 años), lo que supone un resultado deficiente, incluso para demandas reducidas, del orden de $100 \text{ hm}^3/\text{año}$.

En los gráficos de demandas mensual y volumétrica se observa que, si puede disponerse de alguna capacidad de almacenamiento, los rendimientos mejoran mucho hasta volúmenes de embalse del orden de 50 hm^3 , y después continúan mejorando pero a un ritmo mucho más reducido. Ello da una primera idea de la disponibilidad mínima que parece recomendable.

Si se examina ahora el gráfico de déficit máximo en 1 año, se observa que un embalse de 130 hm³ produce mejoras sustanciales para demandas de hasta 100 hm³/año, pero si las demandas superan los 200 hm³/año, la mejora es prácticamente inexistente, incluso para volúmenes de embalse elevados. En la figura conjunta (4^a) puede verse este efecto, comprobando que si la demanda es de 400 hm³/año se requiere un embalse de 500 hm³ para comenzar a mejorar el déficit anual máximo.

Observando el gráfico de déficit máximo acumulado en 2 años, con el gráfico conjunto, el efecto anterior aparece aún con mayor nitidez, pudiendo verse que para demandas superiores a 300 hm³/año, es necesario aproximarse a los 500 hm³ de embalse para conseguir mejoras apreciables.

Si ahora se observa el gráfico de déficit máximo acumulado en 10 años, y el gráfico conjunto, puede verse como el efecto anterior de los umbrales ha desaparecido, y los déficit se van reduciendo de forma gradual a medida que se aumenta la regulación disponible, con independencia de cual sea el nivel de demanda solicitado.

Este comportamiento está revelando, en definitiva, la existencia de un periodo reducido extremadamente crítico, que provoca importantes déficit acumulados en 1 y 2 años, y que requiere, para su superación, de volúmenes de embalse elevados frente a las demandas requeridas. En efecto, volviendo al gráfico de circulación de caudales anuales, puede verse que existen periodos reducidos en los que el sobrante es nulo, aunque en muy abundante en términos medios. Con embalses del orden de 150 hm³, puede mejorarse el déficit bianual para demandas de hasta 350 hm³/año, y con embalse de 200 hm³ se comienza a mejorar el déficit anual para demandas de 200 hm³/año.

En lo expuesto hasta ahora se ha supuesto que la posible transferencia desde el Noguera-Pallaresa tiene el carácter de una demanda más, con un cierto régimen estacional, y determinados criterios de garantía que satisfacer de forma razonable. En estas condiciones, los resultados son los que se han mostrado anteriormente.

Un enfoque diferente a éste es el de considerar una cierta capacidad de almacenamiento y de toma, y derivar los caudales sobrantes que sea posible en cada momento, encomendando la regulación de estas derivaciones a los lugares de tránsito o destino, fuera del sistema. No se plantea, pues, una demanda de transferencia como tal, sino un máximo trasvasable anual y una facilidad de derivación no regulada del sobrante existente hasta alcanzar este máximo, sin ningún compromiso de disponibilidad ni regulación en la zona de origen.

Esta formulación parece, en principio, deseable siempre y cuando tal régimen de explotación sea técnicamente viable en el sistema global, con tránsitos y destinos, y el funcionamiento conjunto obedezca a la racionalidad técnico-económica. Además, esta concepción es concordante con el carácter de las transferencias planteadas, que no corresponden estrictamente a nuevas demandas, sino a complementos, auxilios y consolidaciones de demandas ya previamente existentes.

Para valorar los resultados de esta posibilidad puede verse la figura adjunta, que muestra los volúmenes medios anuales que podrían derivarse de Talarn en función de la capacidad de la toma, y para diferentes supuestos de almacenamiento disponible en origen.

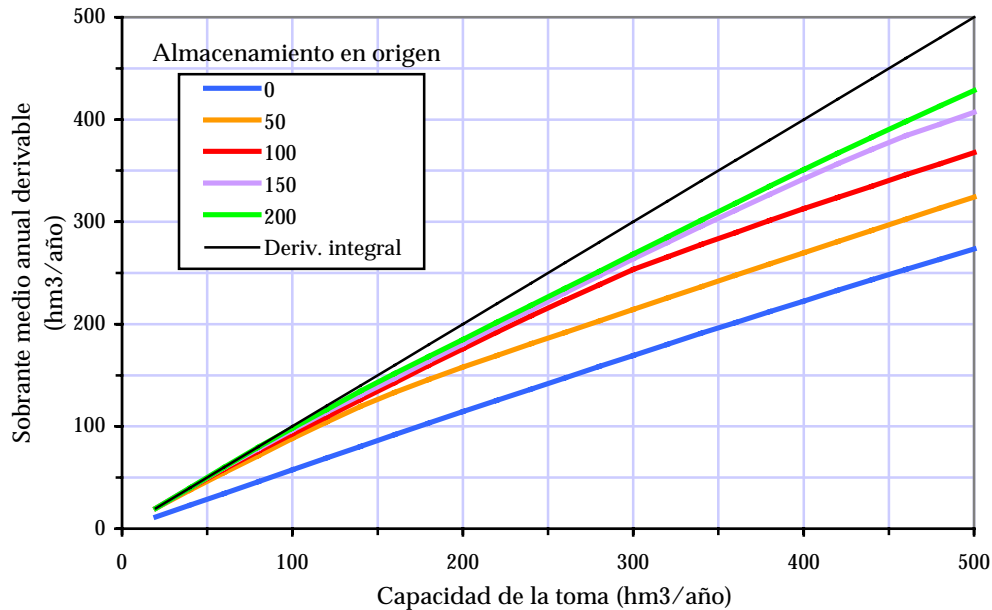


Figura 101. Sobrantes medios anuales derivables según la capacidad de toma y el almacenamiento disponible

Como puede comprobarse, si el almacenamiento disponible es cero, los volúmenes de sobrantes derivables crecen de forma casi lineal con la capacidad de captación, de forma que con una toma de 200 hm³/año podrían derivarse, por término medio, 110 hm³/año de sobrantes, con una toma de 400 hm³/año podrían derivarse unos 220, y con una toma de 500 hm³/año podrían derivarse 270. Ello supone un coeficiente de dimensionamiento de la conducción (capacidad total/volumen transportado) aproximadamente igual a 2.

Además, puede verse con claridad que si se dispone de algún almacenamiento en origen el rendimiento mejora mucho, aproximándose al coeficiente de dimensionamiento 1, que sería el dado por la línea de derivación integral (o de los 45°), representada en la figura, y que supone que la toma estaría funcionando de forma permanente a su plena capacidad.

Así, con un almacenamiento en origen de 150 hm³, es posible derivar 200 hm³ de sobrantes al año con una toma de 220, 300 con toma de 350, y 400 con una toma de 500.

Puede concluirse, en definitiva, que concebida la transferencia no como una demanda ordinaria que haya de satisfacer ciertas garantías mínimas, sino como una derivación estricta de sobrante, cuando lo haya, y que debe ser modulado en tránsito o destino, no existe ninguna dificultad hidrológica para derivar volúmenes medios del orden de los 400 hm³/año con tomas de 500, y disponiendo de almacenamientos en origen del orden de 150 hm³.

No obstante, ponderando este resultado con el antes obtenido, siguiendo una concepción de demanda ordinaria, puede finalmente proponerse, de forma prudencial y conservadora, una derivación media máxima de 250 hm³/año, lo que requiere una captación máxima en origen de hasta 300 hm³/año de capacidad (coeficiente 1.2), y un almacenamiento en origen de unos 100 hm³. Una mayor disponibilidad de

almacenamiento en origen, en principio viable dado que Talamn tiene 205 hm³ de capacidad, podría mejorar estos resultados.

En definitiva, con este criterio, la serie de sobrantes anuales derivables y sus cuantiles mensuales son los mostrados en la figura adjunta.

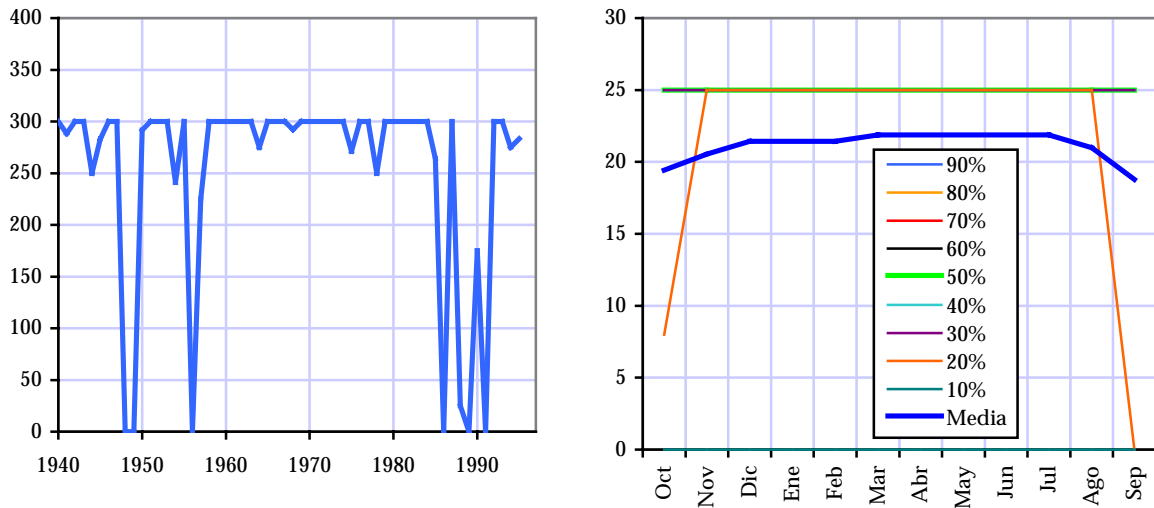


Figura 102. Serie anual y cuantiles mensuales de los sobrantes derivables

Observando la figura puede verse que, siendo el valor medio de 250, la mayoría de los años se derivan cantidades entre 250 y 300 hm³/año, y hay 5 periodos en que no se producen sobrantes.

Los cuantiles mensuales muestran una meseta en el periodo noviembre-agosto (todos los cuantiles salvo el 10% son iguales al máximo), y un periodo desfavorable en octubre y septiembre para los cuantiles menores. Nótese que si el sobrante medio anual derivado es inferior a 250, el número de años sin excedentes disminuirá, siendo posible utilizar los años húmedos para derivar cuantías mayores y liberar desembalses en las cuencas de destino, que se irían recuperando en estos años para utilizar sus reservas en los años secos.

5.5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

En este capítulo se ha procedido al análisis del sistema de la cuenca del Ebro desde el punto de vista de la planificación hidrológica nacional. Para ello, se han diferenciado tres apartados básicos, incidentes en distintos aspectos, y secuencialmente concatenados desde el punto de vista del razonamiento global.

En primer lugar, se ha llevado a cabo un estudio singular sobre los caudales circulantes en el curso bajo del río, con objeto de investigar sus tendencias y explicar su comportamiento.

Una vez dilucidada esta cuestión, se ha procedido al análisis de regulación y balances del sistema hidráulico de la cuenca a largo plazo, obteniendo como resultado una serie de circulaciones futuras que incorporan los efectos de todos los desarrollos posibles previstos en el Plan Hidrológico de la cuenca, y los requerimientos ambientales previstos en dicho Plan.

Finalmente, se ha estudiado la estructura de los caudales circulantes excedentarios con objeto de determinar cual es su disponibilidad efectiva, y cuales serían las cuantías máximas que, razonablemente, podrían ser objeto de transferencias externas.

Las principales conclusiones obtenidas son:

1. La inspección visual de la serie de caudales del río Ebro en Tortosa desde principios de siglo parece revelar un descenso continuado en las aportaciones. Sin embargo, un análisis comparativo de los datos registrados en la estación de Tortosa con los de otras estaciones de la cuenca, como las del Ebro en Castejón y Zaragoza, o las de su afluente el Segre, indica que los datos de la estación de Tortosa podrían tener errores importantes hasta los años 30, y que el registro desde mediados de los 50 puede considerarse, en principio, satisfactorio. Este registro muestra, en efecto, un descenso de caudales que ha de ser investigado.
2. Las series de aportaciones naturales del Ebro estimadas en el Plan de cuenca y en el presente documento, muestran en general una buena concordancia que confirma la calidad y fiabilidad de ambas evaluaciones. De la inspección visual de ambas series y de los análisis estadísticos realizados no se infiere ninguna tendencia temporal, a diferencia de lo que sucedía con la serie de aportaciones registradas en Tortosa. Este resultado era en cualquier caso lo esperable ya que se trata de series de aportaciones en régimen natural, y desautoriza, en principio, la hipótesis de que los recursos naturales están disminuyendo con el tiempo. La aportación media en régimen natural en el periodo 1940/41-1995/96 es del orden de 17.200 hm³/año, y varía desde los 8.000 hm³/año en los años más secos hasta los 30.000 hm³/año en los más húmedos. Esta estimación está encajada con otras evaluaciones previas, que arrojan magnitudes en torno a los 18.000 hm³/año.
3. El balance de las aportaciones en régimen natural con las variaciones en los embalses y las aportaciones medidas en la estación de Tortosa, permite estimar la evolución de los consumos netos agregados que se han producido en la cuenca. Entre 1940 y 1950 el consumo permanece estable ligeramente por encima de 3.000 hm³/año, entre finales de los 50 y principios de los 70 se produce un incremento de consumos muy importante y sostenido, alcanzando los 5.000 hm³/año, y desde esas fechas continúa creciendo a un ritmo mucho menor, hasta valores actuales del orden de 5.500 hm³/año. Esta cifra es coincidente con la demanda consuntiva de la cuenca del Ebro reflejada en el Libro Blanco, 5.400 hm³/año, obtenida a partir de las demandas sectoriales mediante procedimientos absolutamente distintos. Los datos de consumos quedan a su vez explicados con la evolución de la superficie de los regadíos en la cuenca, que muestra la misma tendencia.

4. Como consecuencia de todo lo anterior, puede afirmarse que la merma de los desagües al mar en el Ebro es un hecho cierto que puede ser completamente explicado simplemente por el desarrollo de los regadíos en la cuenca, mientras que las aportaciones naturales no parecen mostrar tendencias decrecientes desde 1940 hasta la actualidad. Este resultado confirma que a partir de las series de aportaciones naturales pueden estimarse los sobrantes para distintas situaciones de demandas e infraestructuras hidráulicas en la cuenca, siendo los sobrantes futuros (en el sentido jurídico del término) los que habría que analizar desde el punto de vista de la existencia de caudales y la viabilidad de las posibles transferencias.
5. Bajo los supuestos básicos de este Plan Hidrológico Nacional la determinación de los posibles recursos sobrantes en cuencas de carácter globalmente excedentario se realiza sobre la base de considerar plenamente desarrolladas las estimaciones de demanda realizadas en su correspondiente Plan Hidrológico para el segundo horizonte de planificación. Los sobrantes así determinados lo serían aún en el caso poco probable de que se desarrollaran todas las posibilidades identificadas en el Plan Hidrológico de la cuenca cedente. Este planteamiento por una parte garantiza que las transferencias a otra cuenca no afectarían a los usos actuales ni al potencial de desarrollo de la cuenca cedente, y por otra, representa un importante margen de seguridad, por cuanto la utilización real de agua en el segundo horizonte del Plan será considerablemente menor, al tratarse de una hipótesis de crecimiento claramente maximalista.
6. Con las premisas anteriores, el esquema del sistema de explotación de la cuenca se ha planteado identificando las diferentes demandas, tanto actuales como futuras, consideradas en el Plan de cuenca y agrupándolas en unidades de demanda significativas a la escala de la planificación nacional, y se ha adoptado un caudal mínimo a circular en desembocadura que se ha introducido como restricción de funcionamiento al sistema global de explotación de recursos. En el esquema de explotación se han incluido los principales embalses previstos en el Plan para dicho horizonte. Sin ellos, las nuevas demandas propias no podrían ser atendidas y se desvirtuaría la situación de referencia para el cálculo de sobrantes, siendo éstos aún mayores que los aquí obtenidos. Ha de aclararse que, como es obvio, la inclusión de dichos embalses en el esquema es un requerimiento de cálculo, y no presupone ningún tipo de pronunciamiento sobre su viabilidad técnica, económica o ambiental, más allá de las consideraciones efectuadas en el propio Plan de cuenca, que es el competente a estos efectos.
7. Con los elementos anteriores se ha construido el sistema básico de explotación general de la cuenca, cuyo análisis muestra que la serie de valores de los caudales circulantes en el tramo final puede cumplir el requisito de superar el caudal mínimo establecido para la desembocadura en $100 \text{ m}^3 / \text{seg}$. Con los criterios descritos pueden calificarse jurídicamente de recursos excedentarios o sobrantes los volúmenes que en dicho tramo final exceden ese caudal, pudiendo contabilizarse unos sobrantes medios anuales del orden de los 5.200 hm^3 .
8. La serie de sobrantes obtenida en este Plan Nacional es similar a la serie de sobrantes del Plan de cuenca, con la diferencia básica de que la serie aquí obtenida incorpora el periodo correspondiente a la sequía de principios de los noventa, que,

es el más crítico del período de análisis y, por tanto, revisa a la baja la cuantía de los sobrantes trasvasables. En síntesis, los flujos futuros en la desembocadura tendrían una cuantía media de unos 8.370 hm³ /año, frente a los 11.700 actuales. Si de estos se deducen los 3.154 correspondientes al caudal mínimo para el delta, resulta disponerse de unos caudales medios futuros de 5.200 hm³/año calificables jurídicamente como sobrantes.

9. Los caudales medios circulantes en el tramo final son muy elevados, pero con gran irregularidad, y concentrados en algunos meses del año, quedando prácticamente reducidos al mínimo ambiental del delta en el periodo junio-septiembre. Los meses que siempre aportan cantidades importantes son los de diciembre a mayo. En este semestre se concentra el 75% de las aportaciones y el 90% de los sobrantes de todo el año. La consecuencia práctica de este severo comportamiento es que la posible derivación de recursos para una transferencia externa debe considerar tal modulación en origen, y prever su máxima cuantía anual en función de la estacionalidad de las necesidades externas y de sus posibilidades de regulación. El régimen de transferencias en 8 meses al año, excluido el periodo junio-septiembre, resulta ser adecuado como modelo para los análisis.
10. Conforme a ello, no existe dificultad hidrológica para derivar del bajo Ebro, de forma sostenida, volúmenes superiores a los 2000 hm³/año, con almacenamientos en origen inferiores a 1000 hm³, y coeficientes de toma de 1,5. De forma conservadora, y como referencia de cálculo, puede suponerse una derivación total máxima de 1200 hm³/año (un 23% de los sobrantes y un 14% del caudal circulante futuro), con una toma en origen de 1600 (coef. 1'3), y un almacenamiento entre 500 y 1000 hm³. Para ello no se requiere de ninguna regulación existente ni futura en la cuenca del Ebro, salvo el empleo parcial de los embalses hidroeléctricos ya existentes en el curso bajo del río, sin afectar a sus usos recreativos, y sin más efectos que una moderada afección a la producción que podría compensarse económicamente por los beneficiarios de las transferencias.
11. No existe dificultad hidrológica para derivar del Noguera-Pallaresa, de forma sostenida, volúmenes superiores a los 400 hm³/año, con almacenamientos en origen inferiores a 150 hm³, y coeficientes de toma de 1,3. De forma conservadora, y como referencia de cálculo, puede suponerse una derivación total máxima de 250 hm³/año, con una toma de 300 (coef. 1'2), y un almacenamiento en origen de 100 hm³.
12. Tal y como se han concebido las transferencias descritas, éstas funcionarían en régimen estricto de toma de sobrantes, por lo que los usuarios del Ebro pueden operar sus sistemas conforme a su propia conveniencia, exactamente igual que si la transferencia no existiese. Ésta captará lo que sea posible en cada momento conforme a los máximos anuales establecidos y respetando los caudales mínimos del delta, sin que deba adoptarse ninguna medida singular de explotación en la cuenca salvo la ya mencionada, relacionada con el régimen de los embalses hidroeléctricos del tramo final.
13. Una posible merma de aportaciones naturales inducida por cambios climáticos, o un incremento de las eficiencias de uso y ahorros en la cuenca, no afectarían apreciablemente a los resultados obtenidos.