

# ANÁLISIS DE LA ALTERNATIVA AL RECRECIMIENTO DE YESA PROPUESTA POR LA FUNDACIÓN NUEVA CULTURA DEL AGUA

Confederación Hidrográfica del Ebro  
Zaragoza, marzo de 2005

---

## ÍNDICE

- 1.- Resumen
- 2.- Antecedentes
- 3.- Objetivo del informe
- 4.- Alternativa de la FNCA (2004b)
  - 4.1.- Objetivos
  - 4.2.- Descripción de la alternativa
  - 4.3.- Análisis de las hipótesis de partida
    - 4.3.1.- Serie de aportaciones
    - 4.3.2.- Superficies de riego
    - 4.3.3.- Necesidades hídricas netas
    - 4.3.4.- Rescate de recurso por modernización
    - 4.3.5.- Dotaciones del sistema Bárdenas
    - 4.3.6.- Aspectos energéticos
- 5.- Descripción de los elementos básicos de las simulaciones efectuadas en este estudio
  - 5.1.- Modelo de simulación
  - 5.2.- Esquema de funcionamiento
  - 5.3.- Series de aportaciones
  - 5.4.- Embases
    - 5.4.1.- Comunes a las dos alternativas
    - 5.4.2.- Alternativa del recrecimiento de Yesa
    - 5.4.3.- Alternativa FNCA (2004b)
  - 5.5.- Canales
  - 5.6.- Demandas
  - 5.7.- Prioridades de suministro
- 6.- Resultados del funcionamiento de las dos propuestas
- 7.- Conclusiones
- 8.- Bibliografía

Anejo I: Serie de aportaciones en régimen natural  
Anejo II: Superficies de riego dependientes del canal de Bárdenas.  
Anejo III: Resultados gráficos de las simulaciones

## **1.- RESUMEN**

Se realiza un análisis de la alternativa al recrecimiento de Yesa que, por encargo de la Asociación Río Ara, ha realizado la Fundación Nueva Cultura del Agua (FNCA) en el año 2004. Según esta propuesta es posible garantizar las demandas del sistema sin recrecer el embalse de Yesa y construyendo los embalses laterales de Orés (60 hm<sup>3</sup>) y Marracos (62 hm<sup>3</sup>), siempre y cuando se transforme el sistema de riego de inundación a presión en 28.000 ha y, además, se empleen dotaciones inferiores a las establecidas en el Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro que sólo aseguren el riego medio.

El análisis realizado en este trabajo pone de relieve la importancia de realizar una valoración ajustada y realista de las dotaciones de riego (aspecto clave que supone la diferencia fundamental entre las necesidades de agua estimadas por la Administración y la alternativa propuesta por la FNCA). Se considera que la dotación objetivo definida en el Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro está justificada tal y como ponen de manifiesto los estudios relacionados con las dotaciones de cuenca del Ebro y del sistema de Bárdenas. A la vista de toda la información disponible parece difícil considerar las hipótesis de dotaciones de riego propuestas por la FNCA como realistas.

Considerando las demandas aprobadas en el Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro se ha realizado una simulación mensual de la explotación para el periodo de 55 años 1947/2002. El esquema de recrecimiento de Yesa con la construcción de un embalse lateral satisface las demandas de riego en los años medios y secos de una forma mucho más eficiente que el esquema propuesto por la FNCA. El déficit medio de los regadíos de Bárdenas en la alternativa de recrecimiento de Yesa es 80 hm<sup>3</sup>/año mientras que en la alternativa de la FNCA es 131 hm<sup>3</sup>/año. La opción de recrecimiento de Yesa garantiza mayores volúmenes de riego en 27 de los 55 años simulados (50 %) y en 7 años (13 %) la alternativa de la FNCA presenta déficits mayores que 200 hm<sup>3</sup> en comparación con la del recrecimiento de Yesa.

Los resultados de la simulación ponen también de relieve que el recrecimiento de Yesa por sí solo no va a garantizar el regadío de las 90.445 ha de Bárdenas siendo necesario recurrir a otras estrategias para disminuir el déficit en el suministro de los cultivos.

## **2.- ANTECEDENTES**

El río Aragón se ha considerado de forma tradicional una de las fuentes de recursos más importantes para satisfacer las demandas tanto de su propia cuenca como la de los Arbas y las del eje del Ebro (Canal Imperial de Aragón, Canal de Tauste,...). Para regular sus aguas se puso en funcionamiento en 1959 el embalse de Yesa con una capacidad total de 447 hm<sup>3</sup>.

El crecimiento de las demandas de agua posteriores a su construcción planteó la necesidad de aportar recursos adicionales procedentes de la cuenca del río Aragón. Ello llevó en los años 70 al planteamiento de diferentes soluciones: embalses de la canal de Berdún, de Lumbier y Embún. Finalmente se consideró como mejor opción la del recrecimiento del embalse de Yesa hasta los 1550 hm<sup>3</sup>. El primer proyecto de recrecimiento de Yesa se aprobó en 1993. Este proyecto se actualiza en el año 2000 (CHE, 2000a) iniciándose entonces las obras del recrecimiento.

Durante el año 2004 se ha propuesto una modificación del volumen máximo de recrecimiento de Yesa en el marco de la Comisión del Agua del Gobierno de Aragón en la que se varía la cota máxima de embalse recrecido. Se establece la cota máxima posible sin que se inunde el núcleo urbano de Sigüés. La cota barajada es de 510.5 m con un volumen útil total de 1066 hm<sup>3</sup> (IAA, 2004).

A mediados de 2004, por encargo de la Asociación Río Ara, la Fundación Nueva Cultura del Agua (FNCA) presentó un primer avance de alternativa al recrecimiento de Yesa. Se proponen siete posibles embalses laterales alimentados por el canal de Bárdenas y situados dentro de la zona regable (FNCA, 2004a). Los embalses propuestos eran los de Sangüesa (63 hm<sup>3</sup>), recrecimiento de Carcastillo (de 5 a 32 hm<sup>3</sup>), dos embalses denominados Erla NO (52 hm<sup>3</sup>), Orés (78 hm<sup>3</sup>), Erla SE (74 hm<sup>3</sup>) y Marracos (62 hm<sup>3</sup>). Todos ellos suponen una capacidad conjunta de 361 hm<sup>3</sup> y una superficie anegada de 4.473 ha. En fechas recientes la FNCA ha actualizado su propuesta (FNCA, 2004b; Arrojo et al., 2004) en la que sustituye el recrecimiento de Yesa por los embalses de Orés y Marracos (Figura 1) con una capacidad total de almacenamiento de 122 hm<sup>3</sup> que junto con una disminución en las dotaciones de riego permitirían satisfacer las necesidades hídricas de los regadíos de Bárdenas.

### **3.- OBJETIVO DEL INFORME**

El objetivo del presente informe es realizar una valoración de la alternativa propuesta por la Fundación Nueva Cultura del Agua (FNCA, 2004b) frente al proyecto de recrecimiento de Yesa con un volumen útil 1066 hm<sup>3</sup>.

Para ello se presentan en primer lugar las características principales de la propuesta de la FNCA (2004b) y se discuten los aspectos relacionados con las series de aportaciones consideradas, superficies de riego, necesidades hídricas de los cultivos, rescate de agua por modernización, dotaciones de riego y aspectos energéticos. Más adelante y con el objetivo de analizar las diferencias en la satisfacción de las demandas se realizan dos simulaciones de la explotación del sistema, una con Yesa recrecido a cota media y la otra con el esquema de la FNCA (2004b). Las dos simulaciones se realizan con las demandas establecidas en el Plan de cuenca del Ebro. Finalmente se presentan las principales conclusiones del estudio.

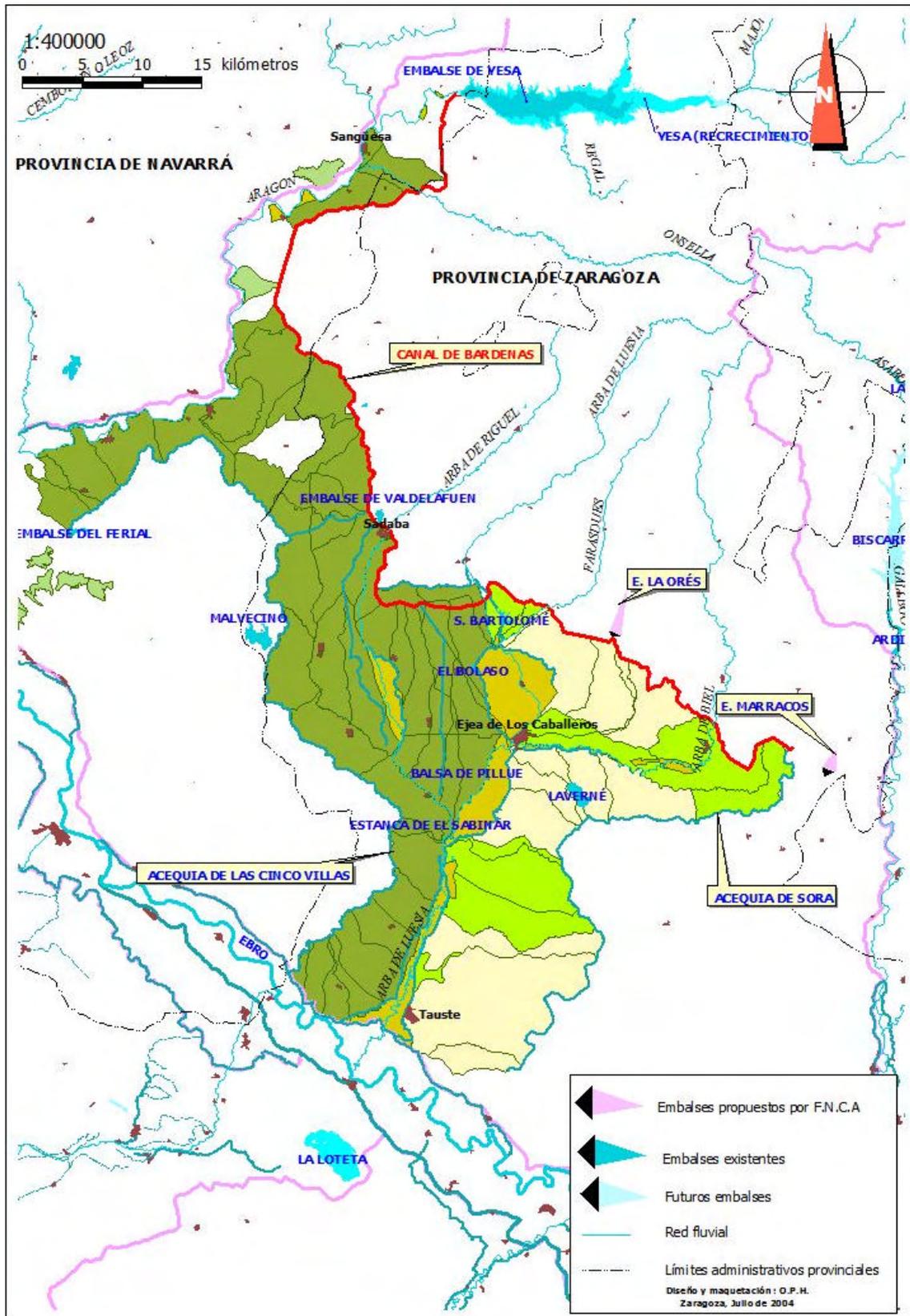


Figura 1: Riegos de Bardenas y situación de los embalses laterales propuestos en FNCA (2004b).

## 4.- ALTERNATIVA DE LA FNCA (2004)

### 4.1.- Objetivos

Los objetivos de la propuesta FNCA (2004b) son:

- a) *Garantizar la viabilidad de las explotaciones agrícolas tanto en Bárdenas como en la canal de Berdún.*
- b) *Garantizar un aporte de agua de boca procedente del río Aragón para Zaragoza y su entorno.*
- c) *Entender que en la consecución de los dos objetivos anteriores ha de asumirse el compromiso de que por el río Aragón circule agua en cantidad y calidad suficiente como para conseguir un “buen estado ecológico natural” tal y como establece la Directiva Marco del Agua.*
- d) *Entender que en el caso hipotético de ser necesarias nuevas regulaciones estas no deben volver a inundar más territorio en las comarcas afectadas por la construcción del actual embalse de Yesa.*

Los puntos a), b) y c) responden plenamente a los objetivos de la planificación hidrológica en España tal y como establece el artículo 40 sobre objetivos y criterios de la planificación hidrológica de la Ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social por el que se modifica el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio (texto refundido de la Ley de Aguas). Con respecto al último punto hay que destacar que la situación de las nuevas regulaciones no debe estar condicionada a priori sino que debe surgir de los estudios técnicos, económicos, sociales y medioambientales que para cada una de ellas se realicen.

Para el cumplimiento de dichos objetivos en FNCA (2004b) se plantea seguir el siguiente método de trabajo:

- 1.- Realizar un análisis de los requerimientos actuales del sistema Yesa-Arbas-Bárdenas y de Zaragoza y su entorno.
- 2.- Valorar el caudal ambiental necesario en el río Aragón aguas abajo de Yesa.
- 3.- Valorar el nivel de eficiencia del uso de agua en el sistema.
- 4.- Actuar con medidas técnicas y políticas sobre la mejora de la eficiencia y la disminución de los usos de agua, buscando significativos rescates de los volúmenes actualmente servidos.
- 5.- Realizar un análisis, lo más ajustado posible, de los requerimientos a servir en el futuro a los abastecimiento en Bárdenas y en Zaragoza y su entorno, basándose en escenarios paulatinamente más eficientes.
- 6.- Calcular unos requerimientos ajustados para el regadío en Bardenas, lo que conlleva:
  - a) considerar escenarios de incremento de superficies de regadío en Bárdenas acordes con la filosofía que emana del Plan Nacional de Regadíos; b) partir de bases realistas a la hora de definir la estructura de cultivos del regadío en escenario futuros; y c) exigir unos niveles de eficiencia paulatinamente mayores en el uso del agua en las zonas regadas.

- 7.- Una vez valorados los volúmenes rescatados en los usos actuales, pasar a poner en servicio aumentos en los requerimientos, bien como incrementos de superficies regadas, bien como mejora de las dotaciones servidas.
- 8.- En el caso de que los volúmenes rescatados no sean suficientes para asumir los nuevos servicios que ha de prestar el agua, y sólo después de haber agotado las anteriores vías de mejora en la gestión de la demanda, incrementar los volúmenes disponibles mediante nuevas regulaciones.
- 9.- En el caso de que sean necesarias nuevas regulaciones del recurso, priorizar las que se realicen en la propia zona receptora y beneficiada del agua, con embalses que utilicen el agua circulante por los canales del sistema fuera de la época de riegos. Es decir, aplicación del principio de regulación en tránsito.

#### 4.2.- Descripción de la alternativa

El punto de partida de la propuesta FNCA (2004b) consiste en la valoración de las necesidades hídricas para el futuro de Bárdenas proyectadas hasta el año 2020. Las demandas propuestas comparadas con las definidas en el Plan Hidrológico del Ebro CHE (1996a) se presentan en la Tabla I.

**Tabla I:** Demandas estimadas en FNCA (2004b) comparadas con las definidas en el Plan Hidrológico del Ebro (CHE, 1996a). Unidades en hm<sup>3</sup>/año.

DEMANDAS	FNCA (2004b)	CHE (1996a)
Abastecimiento e industria a núcleos dependientes del canal de Bárdenas	12	25
Abastecimiento a Zaragoza	79	100
Aragón medio-bajo	252	252
Regadíos de Bárdenas	608-715 <sup>a</sup>	817
<b>TOTAL</b>	<b>951-1.058</b>	<b>1.194</b>

<sup>a</sup> Según distintas hipótesis de superficies regadas, estructura de cultivos y hectáreas modernizadas

La diferencia fundamental de las demandas entre la propuesta de la FNCA (2004b) y el Plan Hidrológico del Ebro se produce en la estimación de las demandas de los regadíos de Bárdenas. La disminución de estas demandas propuestas en FNCA (2004b) son determinantes en la viabilidad de su alternativa. Más adelante se discutirá si esta disminución de las demandas son técnicamente asumibles.

Una vez definidas las demandas del sistema por la FNCA, se hace una simulación del funcionamiento de la explotación con el modelo SIMGES (desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia). El objetivo de estas simulaciones es identificar los embalses que garanticen las demandas. Las características de la simulación realizada son:

- a) Se simula un periodo de 56 años (672 meses) comprendido entre octubre de 1941 y septiembre de 1996.
- b) La serie de aportaciones al embalse de Yesa se ha tomado de IAA (2004). Esta serie tiene dos procedencias. Hasta septiembre de 1986 es la obtenida en el estudio de recursos (CHE, 1993a) a partir de la aplicación de un modelo de precipitación-aportación. Este estudio constituyó uno de los trabajos básicos previos al Plan Hidrológico de Cuenca. El periodo posterior a septiembre de 1986 se toma a partir de

la correlación lineal en el periodo común de datos entre la serie de CHE (1993a) y la serie obtenida por el CEDEX con el modelo SIMPA para la elaboración del Libro Blanco del Agua. El tratamiento estadístico de la correlación se toma de CHE (1999). La aportación media de la serie empleada es 1.411 hm<sup>3</sup>/año.

- c) Se considera un límite de capacidad de canal de Bárdenas a la salida del embalse de Yesa de 52 m<sup>3</sup>/s. No se prevé parada de canal para mantenimiento.
- d) Se simulan distintas hipótesis cuyas demandas se presentan en la Tabla I.
- e) No se considera el resguardo de avenidas en el embalse de Yesa.

La principal conclusión de la aplicación del modelo según FNCA (2004b) es que sin recrecer el embalse de Yesa y con la construcción de los embalses laterales de Orés (60 hm<sup>3</sup>) y Marracos (62 hm<sup>3</sup>) se garantizan las demandas del sistema.

Finalmente, en FNCA (2004b) se realiza el análisis de los costes de su propuesta en comparación con la alternativa al recrecimiento de Yesa (junto con un embalse lateral) con los costes de bombeo anuales incluidos. El coste del recrecimiento de Yesa se valora en 143 millones de euros y el de la propuesta FNCA (2004b) en 78 millones de euros. La diferencia sería de 65 millones de euros a favor de la alternativa de la FNCA (2004b).

### **4.3.- Análisis de las hipótesis de partida**

El análisis detallado de las hipótesis de partida de la propuesta realizada en FNCA (2004b) permite las siguientes consideraciones.

#### **4.3.1.- Serie de aportaciones**

Las serie de aportaciones considerada en FNCA (2004b) puede estar sobrevalorada si se tienen en consideración los datos de aforos disponibles. Los trabajos realizados en los últimos años por la Oficina de Planificación en relación con el recrecimiento de Yesa (CHE, 2000b; CHE, 2003) consideran una serie de aportaciones basada exclusivamente en los datos de las distintas estaciones de aforos existentes en el entorno del embalse de Yesa. Estas estaciones son: nº 63 (Esca en Sigüés), nº 101 (Aragón en Yesa PP), nº 170 (Aragón en Yesa CE) y nº 829 (embalse de Yesa).

En una cuenca en la que se dispongan de datos de aforos, para realizar una evaluación de los recursos hídricos es preferible tomar los datos de estos aforos que de modelos de precipitación-aportación en los que las manipulaciones de cálculo son siempre complicadas y pueden inducir a desviaciones que en algunos casos pueden ser importantes.

Además, es adecuado sustraer a los recursos disponibles en el embalse de Yesa los consumos de agua esperados para la cabecera del Aragón aguas arriba del embalse de Yesa (estimados en 20 hm<sup>3</sup>/año según los datos del Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro).

La serie obtenida por la Oficina de Planificación a partir de los datos de aforos y descontados los 20 hm<sup>3</sup>/a de consumos futuros de la canal de Berdún tiene una

aportación media de 1.288 hm<sup>3</sup>/año en el periodo de 55 años comprendido entre octubre de 1947 y septiembre de 2002. La serie empleada en FNCA (2004b) tiene una aportación media de 1.411 hm<sup>3</sup>. La significativa diferencia entre ambas series (123 hm<sup>3</sup>/año) sugiere la necesidad de revisar el modelo propuesto en FNCA (2004b) con la serie de aportaciones basada en datos de aforos medidos.

#### 4.3.2.- Superficies de riego

En FNCA (2004b) se estima una superficie de riego para el horizonte 2008 de 80.024 ha conforme al Plan Nacional de Regadíos. Una vez desarrollado Bárdenas II la superficie total de Bárdenas se estima en 90.000 ha.

En los últimos años el Gobierno de Aragón ha realizado un esfuerzo muy importante en la transformación de la superficie regable de Bárdenas II. Según estimaciones de la Junta de Explotación de Bárdenas en la actualidad las hectáreas regables están alrededor de 80.000. Dado que el esfuerzo inversor continúa parece que suponer el escenario al 2008 en 80.000 ha puede quedarse por debajo de la realidad.

#### 4.3.3.- Necesidades hídricas netas

Las necesidades hídricas netas consideradas en FNCA (2004b) corresponden con las necesidades hídricas medias obtenidas para la comarca agraria Cinco Villas Sur en Martínez Cob et al (1997).

Las necesidades hídricas consideradas en el Plan Hidrológico del Ebro son las obtenidas en el estudio CHE (1993b). Estas necesidades no son las medias, sino que son las correspondientes a una probabilidad de déficit hídrico del 80 %, es decir que satisfacen las necesidades el 80 % de los años y serían insuficientes el 20 % de los años. Este umbral estadístico se consideró adecuado para los trabajos relacionados con la planificación hidrológica de la cuenca del Ebro para que: a) las necesidades hídricas no supusieran una limitación para el desarrollo de las zona regables; b) garantizaran una mejor cobertura de dichas necesidades; y c) que suponga una garantía frente al previsible efecto del cambio climático (incremento de las temperaturas con el consiguiente incremento de las evapotranspiraciones de los cultivos y, por tanto, de los déficits hídricos a satisfacer con el riego).

El método de determinación de las necesidades de los cultivos fue aprobado por todos los usuarios del agua de la cuenca del Ebro en el marco del Consejo del Agua de la cuenca del Ebro. Por ello una propuesta de modificación del método para determinar las necesidades hídricas de los cultivos de Bárdenas como la que se hace en FNCA (2004b) debe, dada la implicación tan importante que puede tener en el futuro, estar justificada por datos reales de campo que justifiquen la validez de las dotaciones propuestas. Como se verá más adelante las dotaciones propuestas en CHE (1993b) se ajustan de forma adecuada a las obtenidas en otros estudios y a comprobaciones de suministros reales. Por ello, no parece existir motivo para su revisión.

#### 4.3.4.- Rescate de recurso por modernización

En FNCA (2004b) se plantea la posibilidad de una liberación de nuevo recurso por la transformación de riego por inundación a riego a presión de hasta un máximo de 192 hm<sup>3</sup>. Esta cifra se ha obtenido considerando las eficiencias de riego deseables proporcionadas en el Plan de Infraestructuras Hidráulicas de Aragón en la que se asigna a los regadíos tradicionales una eficiencia de 0.57, a los regadíos por inundación de Bárdenas I y II de 0.64 y a los regadíos a presión 0.72.

La cuantificación de la liberación de agua de 192 hm<sup>3</sup> parece excesiva si se considera los siguiente:

- a) Un análisis preliminar de los datos medios mensuales de las estaciones de aforos situadas en la cuenca del Arba permite concluir que los retornos medios para el periodo 1990-2000 pueden ser del orden de 100 hm<sup>3</sup> para las alrededor de 60.000 ha existentes en esta cuenca. El resumen de este análisis representa en la Figura 2.
- b) Estudios de detalle realizados en el año 2004 (CHE, 2004; Causapé et al., 2005) ponen de relieve que las eficiencias globales del sistema son bastante elevadas. De esta manera, en los meses de junio, julio y agosto de 2004 (con escasas lluvias, riego constante y niveles piezométricos estabilizados) el volumen para regadío es 228 hm<sup>3</sup> y el drenaje en Tauste (aportación del Arba, acequias laterales y estimación del flujo subterráneo a través del aluvial) es 15 hm<sup>3</sup>. Ello supone una fracción drenante del 7 % y una eficiencia del 87 %. Estos valores (preliminares por lo reducido del periodo de estudio, pero orientativos) son notablemente superiores a los calculados en parcelas más pequeñas de Bárdenas por Causapé (2002) y Lecina (2005), que son del orden del 50 %. La diferencia se puede justificar por el destacado esfuerzo que la Comunidad General está realizando en la reutilización de las aguas en aprovechamientos de agua puntuales desde la red de drenaje, la derivación de aguas para riego desde los múltiples azudes de los ríos del sistema y las recientes iniciativas de algunas comunidades de regantes en la adecuada gestión de sus aguas como el control en parcela de los volúmenes de agua demandada o la incorporación (Playán et al., 2004) dentro del programa ADOR del Gobierno de Aragón.

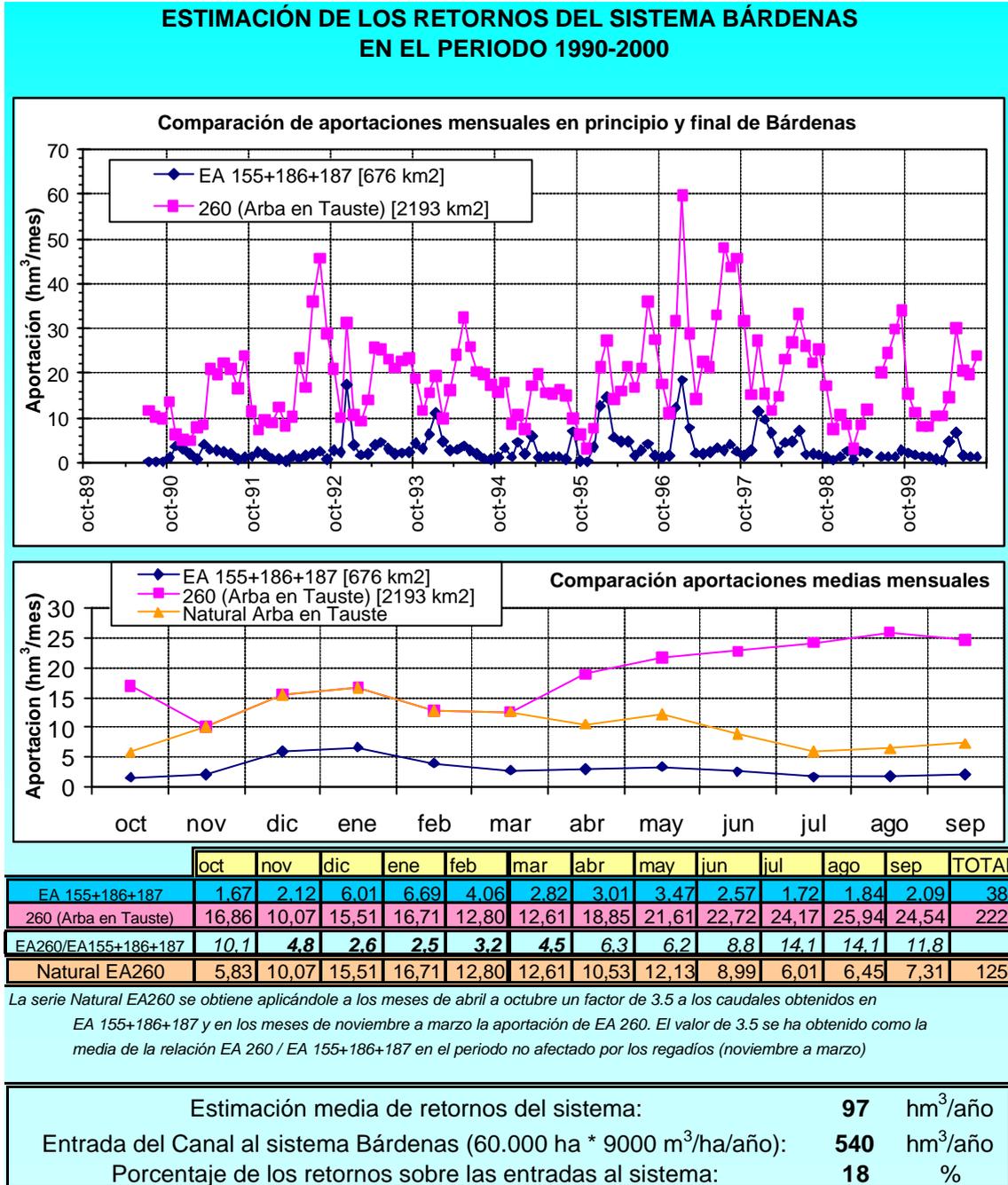
A la vista de los datos disponibles parece que las cifras de liberación de recurso propuestas en FNCA (2004b) proporcionan unos volúmenes que no se corresponde con la realidad de los regadíos de Bárdenas.

Por otra parte hay que recordar que estos retornos de regadío al Arba no son totalmente improductivos ya que permiten mantener en el verano el caudal mínimo del Ebro a su paso por Zaragoza. Por ello su desaparición obligaría a soltar agua desde algún embalse.

#### 4.3.5.- Dotaciones del sistema Bárdenas

Las dotaciones para el sistema Bárdenas propuestas en FNCA (2004b) oscilan entre 7.465 y 8.211 m<sup>3</sup>/ha/año según distintas hipótesis. Estas dotaciones son menores que la dotación media en embalse de 9.129 m<sup>3</sup>/ha/año establecida para el sistema Bárdenas en el Plan Hidrológico del Ebro. Como ya se ha visto en los dos apartados anteriores no

**Figura 2:** Evaluación preliminar de los retornos de la cuenca de los Arbas en el periodo 1900/2000 a partir de los datos de las estaciones de aforos. EA 155+186+187 son las suma de las aportaciones de las tres estaciones de aforos situadas en la cabecera del sistema y no están afectadas por los regadíos.



queda claro que las hipótesis de mejora de la eficiencia consideradas en FNCA (2004b) se ajusten a la realidad.

Sobre la validez de las dotaciones de riego propuestas en el estudio de dotaciones (CHE, 1993b) utilizado en la confección del Plan Hidrológico del Ebro cabe decir lo siguiente:

- El estudio supuso un avance muy importante en el conocimiento de las necesidades hídricas de los cultivos de la cuenca del Ebro. La metodología aplicada fue la misma

para todos los regadíos de la cuenca del Ebro. Se realizó una labor de campo muy importante especialmente en la validación de las estaciones climatológicas del INM empleadas en los cálculos y en la determinación de la fenología de los cultivos mediante encuestas a regantes y agencias de extensión agrarias. Hasta el momento no se ha realizado otro trabajo similar, a escala de toda la cuenca del Ebro, que mejore la información de campo recopilada en CHE (1993b).

- Durante el mismo año se realizó un estudio de contraste en el que se controlaron los consumos reales en varias parcelas de la cuenca del Ebro consideradas como eficientes (CHE, 1993c). Una de las parcelas controladas fueron las elevaciones de Quinto de Ebro. La conclusión principal de este trabajo es que las dotaciones establecidas en CHE (1993b) se ajustan de forma adecuada a las dotaciones reales.
- En CEDEX (1996) se realizó una revisión del cálculo teórico de las necesidades hídricas de los cultivos obteniéndose valores similares a los obtenidos en CHE (1993a).
- El volumen de agua distribuido por el canal de Bárdenas (Memoria anual de la Confederación Hidrográfica) indica que en años de disponibilidad de recurso circulan por el canal cifras cercanas a los 700 hm<sup>3</sup>, que para una superficie aproximada de 75.000 ha supone una dotación del orden de 9.300 m<sup>3</sup>/ha/año.
- Por último y dado que en ocasiones se emplean los datos de California como referencia para España cabe destacar que en el Plan Hídrico de California (CDWR, 1998) la dotación media de riego es del orden de 11.100 m<sup>3</sup>/ha/año.

De todo lo anterior cabe concluir que una revisión de las dotaciones como la propuesta en FNCA (2004b) no parece estar justificada a no ser que vaya precedida de estudios de más detalle con validación de datos en campo.

#### 4.3.6.- Aspectos energéticos

La valoración de los costes energéticos es un aspecto complejo en sistemas como el propuesto en FNCA (2004b) dada la existencia de grandes variaciones en el nivel de agua turbinada como el que se produce en los embalses laterales propuestos.

La estimación de los costes de explotación de los bombeos realizada en FNCA (2004b) concluye que teniendo en cuenta el coste de los bombeos a los embalses laterales y el beneficio previsible en la turbinación el coste anual sería 474.000 euros equivalentes a 4.56 €/ha o a 0.04 €/m<sup>3</sup>.

En el balance energético no tiene en cuenta el beneficio adicional que se obtendría por la explotación hidroeléctrica por el recrecimiento del embalse de Yesa derivados de una turbinación a mayor carga y a vertidos menores. Por otro lado no quedan claras las hipótesis de partida que emplea la FNCA (2004b) para la estimación de los costes.

## **5.- DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS BÁSICOS DE LAS SIMULACIONES EFECTUADAS EN ESTE ESTUDIO**

### **5.1.- Modelo de simulación**

El programa empleado es una adaptación del modelo SIM-V del Departamento de Recursos Hidráulicos de Texas (Martín, 1982) disponible en la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE, 1996b). El modelo realiza la simulación mensual de un sistema hidrológico para determinadas alternativas de demandas, infraestructuras y régimen de explotación obteniendo como resultado final el valor mensual de las distintas componentes del balance (volumen de los embalses, caudal circulante por el río y canales, demandas servidas y déficit asociado a cada una de las demandas).

La simulación de la explotación dentro del modelo requiere la definición de un esquema de funcionamiento del sistema en la que se especifican la estructura de los ríos, canales y embalses, las series de aportación, datos relativos a los embalses (volúmenes totales y muertos y tasas de evaporación), datos relativos a los canales (caudales máximos circulantes), información de las demandas mensuales y finalmente un orden de prioridad para la satisfacción de las demandas.

### **5.2.- Esquema de funcionamiento**

Se ha empleado un esquema de funcionamiento con 31 nudos y 34 arcos. Se ha considerado siete nudos de embalse. En la Figura 2 se presenta un esquema simplificado del grafo empleado en la simulación.

### **5.3.- Serie de aportaciones**

La serie mensual de entradas al embalse de Yesa considerada comprende desde octubre de 1947 hasta septiembre de 2002 (55 años) (Figura 3a y Anejo I). Se ha tomado a partir de datos directos de las estaciones de aforos: nº 63 (Escá en Sigüés), nº 101 (Aragón en Yesa-PP), nº 170 (Aragón en Yesa-CE) y nº 829 (entradas al embalse de Yesa).

Una vez obtenida la serie de entradas al embalse de Yesa se le han descontado los consumos para riego y abastecimiento previstos en el segundo horizonte del Plan Hidrológico del Ebro en la cabecera del río Aragón (estimados en 20 hm<sup>3</sup>/año). Los detalles de la construcción de las series pueden consultarse en CHE (2000b) y CHE (2003).

La aportación media es 1.288 hm<sup>3</sup>/año con grandes variaciones entre los valores extremos. La aportación mínima se presenta en 1948/49 con 386 hm<sup>3</sup> seguida por el año 1988/89 con 538 hm<sup>3</sup> y 2001/02 con 622 hm<sup>3</sup>. Las mayores aportaciones se dan en 1976/77 con 2.153 hm<sup>3</sup> y 1965/66 con 2.145 hm<sup>3</sup>. Las desviaciones anuales con respecto a la media acumuladas (Figura 3b) ponen de relieve la existencia de cuatro periodos claramente diferenciados:

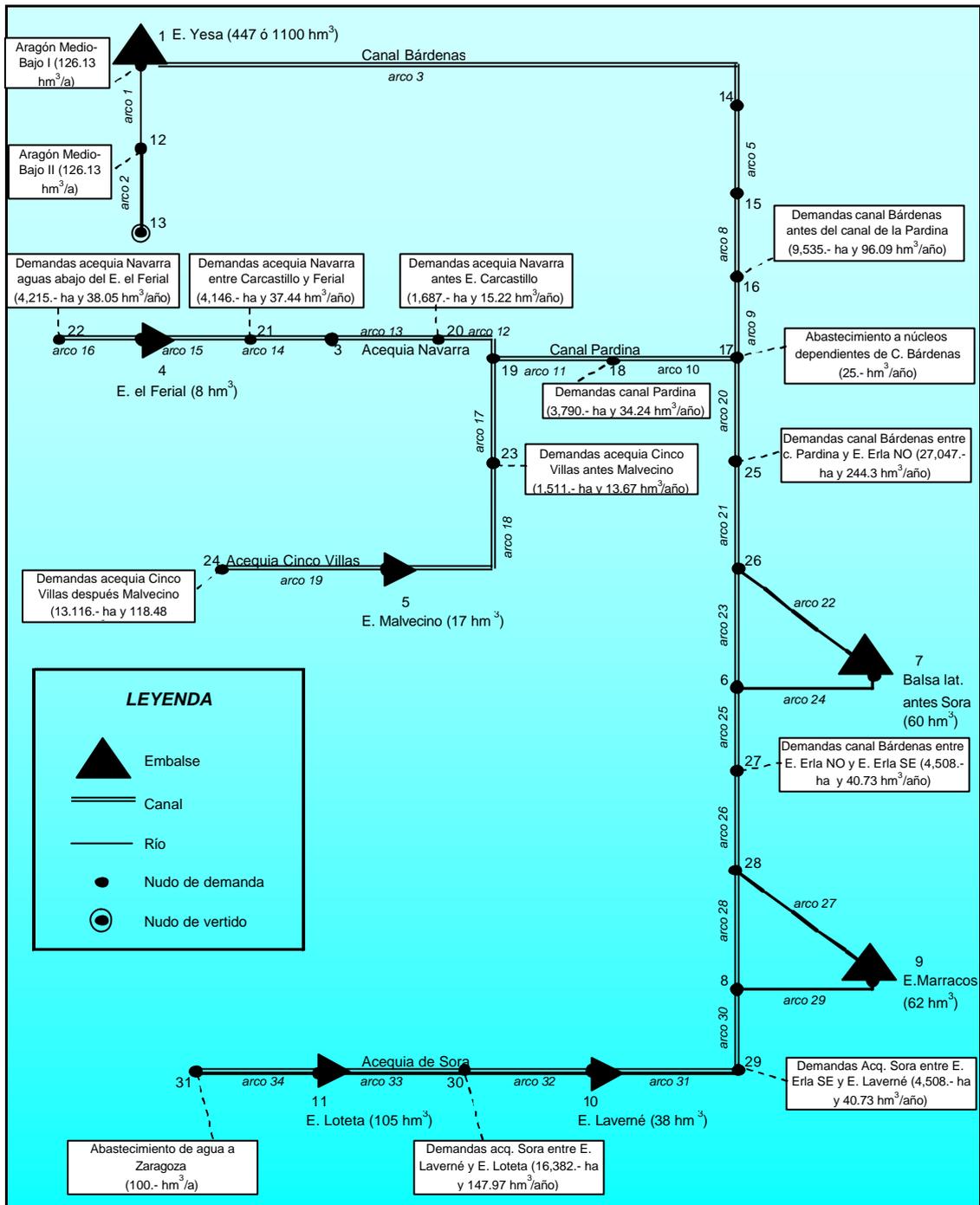
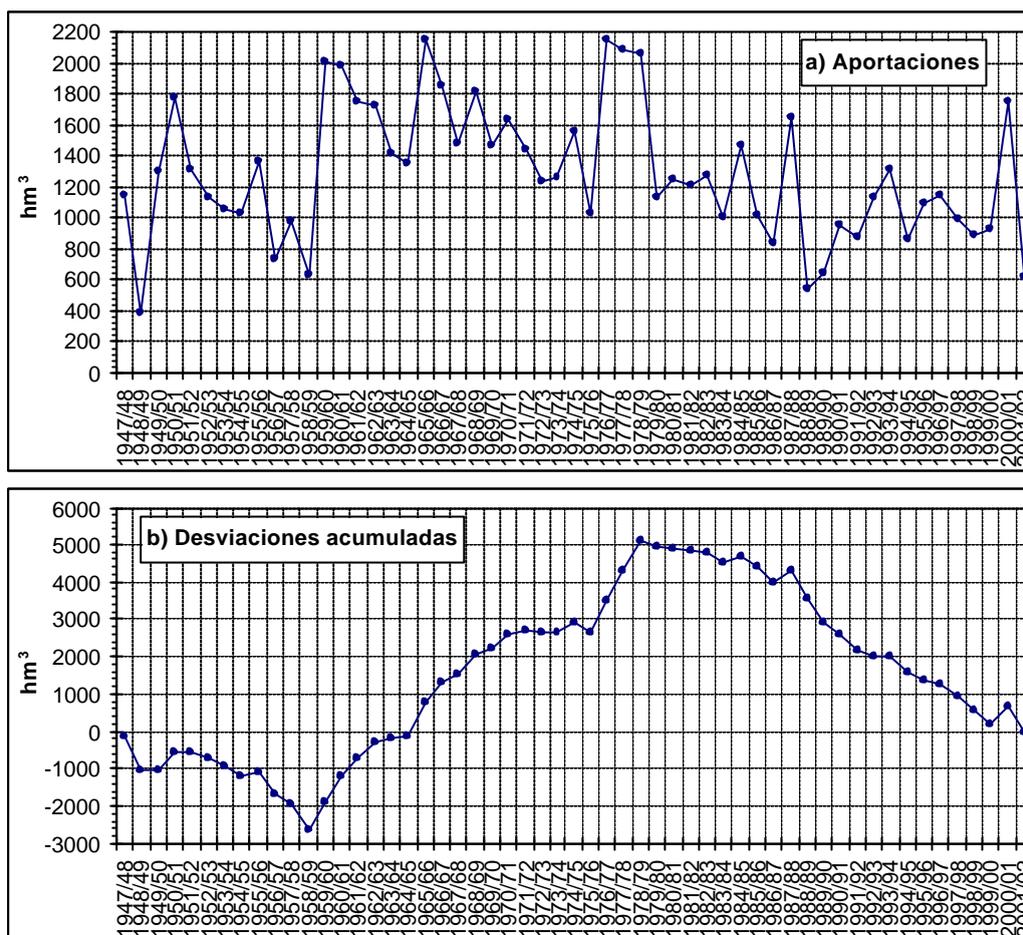


Figura 2: Esquema de funcionamiento para la simulación del recrecimiento de Yesa y la alternativa de la FNCA (2004b).



**Figura 3:** Entradas al embalse de Yesa: a) evolución anual; b) desviaciones acumuladas (decreciente significa periodo seco y creciente periodo húmedo).

- a) 1947/48-1958/59: periodo seco (12 años)
- b) 1959/60-1978/79: periodo húmedo (10 años)
- c) 1979/80-1987/88: periodo de aportaciones próximas a la media (9 años)
- e) 1988/89-2001/02: periodo seco (14 años)

## 5.4.- Embalses

### 5.4.1.- Comunes a las dos alternativas

Los embalses considerados en los esquemas de simulación de las dos alternativas y sus principales características son:

- Embalse del Ferial. El embalse del Ferial regula aguas para el regadío de 1.412 ha. El volumen total y útil es 8.13 hm<sup>3</sup>. El embalse se puso en explotación en 1999 (GN, 1999).
- Embalse de Malvecino. El objetivo del embalse es mejorar la capacidad de transporte de la acequia de las Cinco Villas. Afecta a 16.000 ha de riego. El volumen total es 7.2 hm<sup>3</sup>. En estos momentos el embalse se encuentra en construcción. En la actualidad los regantes están planteando el recrecimiento del embalse en 10 hm<sup>3</sup>. Por

ello en la simulación se ha considerado un volumen total de 17.2 hm<sup>3</sup>. Estos datos se han tomado de la base de datos de embalses de la OPH.

- Embalse de Laverné. Situado en la acequia de Sora y se encuentra en construcción. Presenta un volumen total de 37.8 hm<sup>3</sup> (CGRCB, 1999).
- Embalse de la Loteta. Conectado con el final de la acequia de Sora. Actualmente se encuentra en construcción. Tiene un volumen total de 105 hm<sup>3</sup>, volumen muerto de 8 hm<sup>3</sup> y útil de 97 hm<sup>3</sup> (CHE, 1995).

Los datos referentes a las curvas de embalse y tasas de evaporación consideradas en cada embalse se han tomado de CHE (2003). El embalse de Carcastillo no se ha considerado en las simulaciones puesto que en la actualidad se ha desestimado su construcción a solicitud de los regantes beneficiarios de la infraestructura.

#### 5.4.2.- Alternativa recrecimiento de Yesa

Los embalses considerados en esta alternativa y sus características son:

- Embalse de Yesa. La alternativa de recrecimiento de Yesa a cota intermedia considera en su formulación más reciente un volumen útil de 1066 hm<sup>3</sup> para una cota máxima de 510.5 m (IAA, 2004). Para las simulaciones realizadas se ha considerado un volumen muerto de 35 hm<sup>3</sup> lo que supone un volumen total de Yesa recrecido de 1101 hm<sup>3</sup>.

El volumen de embalse tiene un resguardo mensual destinado a laminación de avenidas. Este volumen se ha tomado del documento XYZT del embalse de Yesa y se obtienen unos valores de resguardo de: 126 hm<sup>3</sup> en octubre, 123 hm<sup>3</sup> en noviembre, 110 hm<sup>3</sup> en diciembre, 74 hm<sup>3</sup> en enero, 39 hm<sup>3</sup> en febrero, 37 hm<sup>3</sup> en marzo, 45 hm<sup>3</sup> en abril, 54 hm<sup>3</sup> en mayo, 55 hm<sup>3</sup> en junio, 64 hm<sup>3</sup> en julio y 89 hm<sup>3</sup> en agosto y 114 hm<sup>3</sup> en septiembre. Este volumen se tiene que descontar del volumen útil de embalse.

- Embalse lateral antes de la acequia de Sora. Es un hecho constatado en varios estudios (CHE, 2003; FNCA, 2004b; Arrojo et al., 2004) que con la limitación de la capacidad máxima de transporte del canal de Bárdenas a la salida del embalse, el desarrollo completo de los regadíos de Bárdenas I y II no será posible sin la construcción de un embalse lateral de un volumen aproximado de 60 hm<sup>3</sup> o un aumento de la capacidad del canal. Por este motivo en la alternativa del recrecimiento de Yesa se ha incluido un embalse lateral de una capacidad de 60 hm<sup>3</sup> cuya situación y volumen definitivos queda pendiente de definir a falta de estudios específicos.

#### 5.4.3.- Alternativa FNCA (2004b)

La alternativa de la FNCA (2004b) propone los siguientes embalses:

- Embalse de Yesa. Se mantiene en las condiciones actuales, con un volumen total de  $447 \text{ hm}^3$ , volumen muerto de  $35 \text{ hm}^3$  y útil de  $412 \text{ hm}^3$  (según datos del documento XYZT de la presa de Yesa).
- Embalse de Orés. Se propone un volumen de embalse total de  $60 \text{ hm}^3$ . El embalse se llenaría por bombeo y se vaciaría por gravedad.
- Embalse de Marracos con un volumen útil para la regulación del sistema Bárdenas de  $62 \text{ hm}^3$ . Se llenaría por gravedad y se vaciaría por bombeo.

### 5.5.- Canales

Las capacidades máximas de canal empleadas en el modelo se han tomado de CHE (2003) a partir de los proyectos constructivos de los canales. La capacidad de salida del canal de Bárdenas en el embalse de Yesa es  $52 \text{ m}^3/\text{s}$  de acuerdo con los datos de la estación de aforos 407 (canal de Bárdenas en Embalse de Yesa). En las simulaciones se ha considerado que el canal está cerrado durante todos los años en los meses de noviembre y diciembre por necesidades de mantenimiento.

### 5.6.- Demandas

Las demandas consideradas en el modelo (Tabla II) son:

- Abastecimiento a Zaragoza. Se ha tomado la demanda de  $100 \text{ hm}^3/\text{año}$  considerada en el Plan Hidrológico de Cuenca del Ebro (CHE, 1996a).
- Demandas de abastecimiento dependientes del canal de Bárdenas. Se ha estimado un total de  $25 \text{ hm}^3/\text{año}$ . Este valor coincide con la reserva de agua que se hace desde el embalse de Yesa para garantizar estos abastecimientos.
- Demanda del Aragón medio-Bajo. El caudal a mantener es  $8 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $252 \text{ hm}^3/\text{año}$ ) durante todo el año. Este caudal es el impuesto por necesidades concesionales. La aplicación del método del caudal básico (CEDEX, 1998) al río Aragón aguas debajo del embalse de Yesa realizado en CHE (2000b) aporta valores del mismo orden de magnitud (caudal medio de mantenimiento de  $8.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ).
- Demanda para los riegos de Bárdenas. Se representa la situación con Bárdenas I y II totalmente desarrollados, que supone un total de  $90.445 \text{ ha}$ . Se ha tomado la dotación objetivo del sistema Bárdenas del Plan de Cuenca (CHE, 1996a) de  $9.129 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ . Esta dotación corresponde a la de probabilidad de déficit hídrico del 80 %, es decir, la que será necesaria para satisfacer las necesidades de los cultivos en, al menos, el 80 % de los años y la eficiencia global del sistema es del 60 %. La demanda agraria total considerada es  $817 \text{ hm}^3/\text{año}$ . El desglose de las superficies regables para cada uno de los nudos del modelo se incluyen en el Anejo II.

**Tabla II:** Demandas (en hm<sup>3</sup>) consideradas en el modelo de simulación.

Nudo	Descripción	Total	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
<b>Demandas Aragón medio-Bajo</b>														
1	Aragón (I)	126,13	10,71	10,37	10,71	10,71	9,68	10,71	10,37	10,71	10,37	10,71	10,71	10,37
12	Aragón (II)	126,13	10,71	10,37	10,71	10,71	9,68	10,71	10,37	10,71	10,37	10,71	10,71	10,37
<b>Total Aragón medio-Bajo</b>		<b>252,26</b>	<b>21,42</b>	<b>20,74</b>	<b>21,42</b>	<b>21,42</b>	<b>19,36</b>	<b>21,42</b>	<b>20,74</b>	<b>21,42</b>	<b>20,74</b>	<b>21,42</b>	<b>21,42</b>	<b>20,74</b>
<b>Demandas abastecimiento</b>														
17	Abastecimiento núcleos Bárdenas	24,97	2,12	0	0	6,3	1,92	2,12	2,05	2,12	2,05	2,12	2,12	2,05
31	Abastecimiento a Zaragoza	99,96	8,33	0	0	24,99	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33
<b>Total Abastecimiento</b>		<b>124,93</b>	<b>10,45</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>31,29</b>	<b>10,25</b>	<b>10,45</b>	<b>10,38</b>	<b>10,45</b>	<b>10,38</b>	<b>10,45</b>	<b>10,45</b>	<b>10,38</b>
<b>Demandas Regadíos canal de Bárdenas</b>														
16	Bárdenas antes C. Pardina	86,09	3,01	0	0	3,01	3,01	3,01	5,17	10,33	15,5	17,22	17,22	8,61
18	C. Pardina	34,24	1,2	0	0	1,2	1,2	1,2	2,05	4,11	6,16	6,85	6,85	3,42
20	A. Navarra antes E. Carcastillo	15,22	0,53	0	0	0,53	0,53	0,53	0,91	1,83	2,74	3,05	3,05	1,52
21	A. Navarra entre E. Carcastillo y E. Ferial	37,44	1,31	0	0	1,31	1,31	1,31	2,25	4,49	6,74	7,49	7,49	3,74
22	A. Navarra después E. Ferial	38,05	1,33	0	0	1,33	1,33	1,33	2,28	4,57	6,85	7,61	7,61	3,81
23	A. Cinco Villas antes E. Malvecino	13,67	0,48	0	0	0,48	0,48	0,48	0,82	1,64	2,46	2,73	2,73	1,37
24	A. Cinco Villas después E. Malvecino	118,48	4,15	0	0	4,15	4,15	4,15	7,11	14,22	21,32	23,69	23,69	11,85
25	Bárdenas entre C. Pardina y E. Erla NO	244,3	8,55	0	0	8,55	8,55	8,55	14,66	29,32	43,97	48,86	48,86	24,43
27	Bárdenas entre E. Erla NO y E. Erla SE	40,73	1,43	0	0	1,43	1,43	1,43	2,44	4,89	7,33	8,14	8,14	4,07
29	A. Sora entre E. Erla SE y Laverné	40,73	1,43	0	0	1,43	1,43	1,43	2,44	4,89	7,33	8,14	8,14	4,07
30	A. Sora entre E. Lanerné y E. Loteta	147,97	5,18	0	0	5,18	5,18	5,18	8,88	17,76	26,63	29,59	29,59	14,8
<b>Total regadíos Bardenas</b>		<b>816,92</b>	<b>28,6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>28,6</b>	<b>28,6</b>	<b>28,6</b>	<b>49,01</b>	<b>98,05</b>	<b>147</b>	<b>163,4</b>	<b>163,4</b>	<b>81,69</b>
<b>Total demandas Sistema</b>		<b>1194</b>	<b>60,5</b>	<b>20,7</b>	<b>21,4</b>	<b>81,3</b>	<b>58,2</b>	<b>60,5</b>	<b>80,1</b>	<b>130</b>	<b>178</b>	<b>195</b>	<b>195</b>	<b>113</b>

Durante los últimos años se han ampliado los regadíos de Bárdenas II. En la actualidad se estima que la superficie regable se aproxima a las 80.000 ha (según estimaciones de la Junta de Explotación de Bárdenas). Dado el destacado impulso que se ha dado al proceso de transformación de la superficie regable de Bárdenas por parte del Gobierno de Aragón, puede pensarse que la superficie regable propuesta en el modelo de simulación es realista.

### 5.7.- Prioridades de suministro

El funcionamiento de los sistemas de explotación requiere de una serie de reglas de explotación que rigen el orden de prioridad de satisfacción de las demandas y de llenado de los embalses. La estrategia de las demandas ha sido la misma en los dos escenarios simulados. Se ha dado prioridad al abastecimiento (núcleos dependientes del canal de Bárdenas y abastecimiento a Zaragoza), demandas del río Aragón aguas abajo del embalse de Yesa y finalmente los regadíos de Bárdenas.

Los criterios seguidos para el llenado de los embalses son:

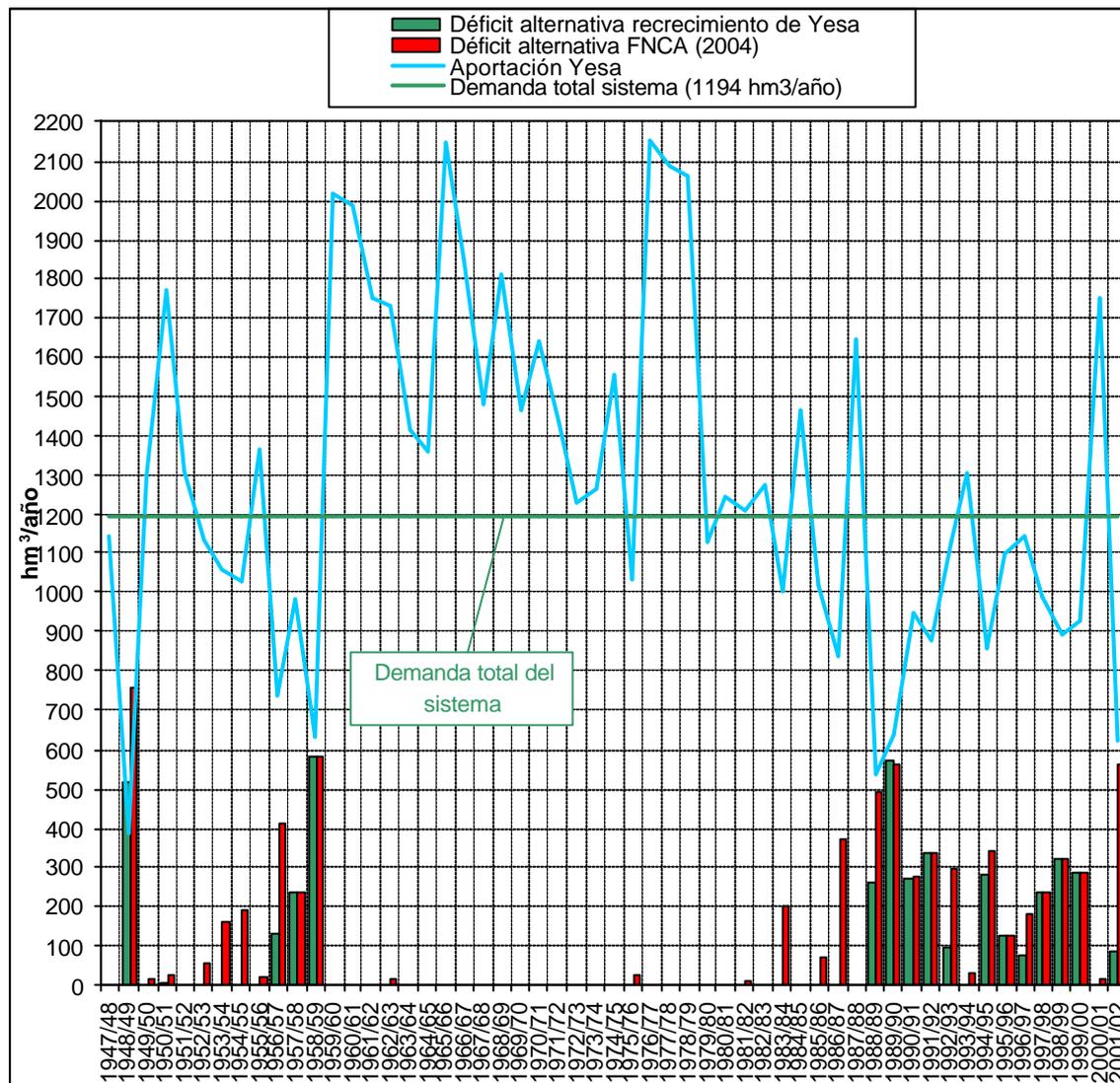
- a) Al comienzo del año hidrológico se llena el embalse de Yesa hasta los 60 hm<sup>3</sup> para asegurar el abastecimiento anual de los núcleos dependientes del canal de Bárdenas. Esta agua almacenada constituye una reserva que se irá liberando a lo largo del año para la satisfacción de este uso.
- b) A continuación se produce el llenado del embalse de Yesa para las demandas del Aragón medio bajo. Una vez lleno el agua se irá liberando para la satisfacción del uso.
- c) A continuación se almacena a agua en el embalse de la Loteta para el abastecimiento de agua a Zaragoza. El embalse se encuentra lleno, como muy tarde en el mes de abril y el agua almacenada se va liberando a lo largo del año hasta vaciarse a final de campaña.
- d) A continuación se procede al llenado de los embalses para los riegos de Bárdenas. La estrategia de llenado de los embalses laterales resulta complicada puesto que no es adecuado llenarlas completamente al principio puesto que se corre el riesgo de que a final de campaña no se disponga de agua para los regadíos de cabecera. Por ello se ha diseñado una estrategia mixta en las que se produce un llenado de los embalses laterales a un volumen intermedio y, una vez que el embalse de Yesa está lleno se procede a terminar de llenar los embalses laterales. La definición definitiva de la estrategia de llenado debe estar precedida de estudio rigurosos de optimización del recurso.

## **6.- RESULTADOS DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS DOS PROPUESTAS**

Los resultados de las simulaciones se presentan de la siguiente manera:

- a) En la Figura 4 se presenta la evolución de los déficits de las dos hipótesis frente a las aportaciones del sistema.
- b) En el Anejo III se presenta la tabla con las aportaciones y déficits anuales (Tabla AIII.1) y las figuras con los déficits de ambas hipótesis (Figura AIII.1) y los vertidos anuales (Figura AIII.2).

La simulación en ambos esquemas permite una satisfacción total de las demandas más prioritarias (abastecimiento a Bárdenas y Zaragoza y las demandas del río Aragón) presentándose las diferencias en las demandas servidas en los regadíos de Bárdenas. Del análisis de los déficits anuales de los dos escenarios (Figura 4) se desprende que en ningún caso la satisfacción de las demandas es total. Este hecho pone de manifiesto especialmente en los dos periodos secos y en el periodo de aguas medias (1947/48-1958/59 y 1979/80-2001/2002). El déficit medio es 80 hm<sup>3</sup>/año en la alternativa de recrecimiento de Yesa con varios años en los que el déficit es mayor que 500 hm<sup>3</sup>. Esta idea sugiere por sí sola la necesidad de proceder una mejora global de la eficiencia del sistema. En la actualidad la Comunidad General de Bárdenas ha iniciado proyectos encaminados hacia esta mejora que, sin lugar a dudas, conducirán a una sostenibilidad del sistema.



**Figura 4:** Evolución de las aportaciones y déficits de riego del sistema Bárdenas en los escenarios del recrecimiento de Yesa y FNCA (2004b)

La comparación de las alternativas permite concluir con claridad que la opción del recrecimiento de Yesa permite una mayor satisfacción de los regadíos de Bárdenas. A nivel de valores medios el déficit del recrecimiento de Yesa es de 80  $\text{hm}^3/\text{año}$  mientras que en la opción de la FNCA (2004b) es 131  $\text{hm}^3/\text{año}$ . La comparación de los déficits (Figura 5) en los 55 años simulados pone claramente de manifiesto que la opción del recrecimiento de Yesa garantiza mayores volúmenes de riego en 27 años (50 % de los años simulados) y en 7 años (13 %) la alternativa de FNCA (2004b) presenta déficits mayores que 200  $\text{hm}^3$  en comparación con la alternativa de recrecimiento de Yesa. Estos datos indican claramente que la opción de la FNCA (2004b) no puede considerarse como una alternativa válida al recrecimiento de Yesa dada la evidente diferencia en los volúmenes servidos entre ambos escenarios.

**Figura 5:** Comparación de los déficits en los regadíos de Bárdenas en bs esquemas de recrecimiento de Yesa y FNCA (2004b) a partir de las simulaciones del periodo 1947/2002 realizados con el modelo de simulación de la explotación SIMV.

<b>Comparación de los déficits en las dos propuestas:</b>	
En los 55 años simulados se hubiera tenido:	
- Sin déficit en las dos propuestas.....	25 años
- Con déficit en la propuesta FNCA y sin déficit en recrecimiento Yesa.....	13 años
<i>De estos 13 años el déficit de la FNCA es:</i>	
a) Mayor que 200 hm <sup>3</sup> .....	2 años
b) Entre 100 y 200 hm <sup>3</sup> .....	2 años
c) Entre 50 y 100 hm <sup>3</sup> .....	2 años
d) menor que 50 hm <sup>3</sup> .....	7 años
- Con déficit en las dos propuestas.....	17 años
<i>De estos 17 años el déficit de la FNCA respecto del déficit recrecimiento de Yesa es:</i>	
a) Mayor que 200 hm <sup>3</sup> .....	5 años
b) Entre 100 y 200 hm <sup>3</sup> .....	1 años
c) Entre 50 y 100 hm <sup>3</sup> .....	1 años
d) Entre 0 y 50 hm <sup>3</sup> .....	7 años
e) Igual .....	3 años

## 7.- CONCLUSIONES

Las principales conclusiones del análisis de la alternativa de FNCA (2004b) al recrecimiento de Yesa son:

- a) Los tres primeros objetivos de FNCA (2004b) son objetivos compartidos por la Planificación Hidrológica según lo establecido en la Ley 62/2004. No es así con el cuarto objetivo planteado por la FNCA (2004b) en el que se considera como condición básica de partida que no se debe inundar más territorio en las comarcas afectadas por la construcción del actual embalse de Yesa.
- b) La alternativa planteada en FNCA (2004b) presenta algunos aspectos técnicos que deben ser objeto de reconsideración a la vista de los estudios disponibles:

- b.1) La serie de aportaciones empleada en FNCA (2004b) puede estar sobrevalorada en torno al 10 % ( $123 \text{ hm}^3/\text{año}$ ) en comparación con la serie de aportaciones obtenida a partir de los datos directos. **Las conclusiones obtenidas en FNCA (2004b) deben ser revisadas considerando la serie de aportaciones tomada de aforos directos.**
- b.2) Superficies de los cultivos. El reciente esfuerzo inversor realizado por el Gobierno de Aragón en la transformación de los riegos de Bárdenas II sugiere la posibilidad de que este plan de riegos este finalizado en un corto plazo. Ello indica que las soluciones técnicas al suministro del sistema dependiente de Yesa han de ser acordes con los plazos en los que se va a desarrollar el regadío.
- b.3) En FNCA (2004b) se han estimado las necesidades hídricas a partir de los valores medios, lo que **supone que la mitad de los años no se satisface la necesidad hídrica requerida por los cultivos.** En el Plan Hidrológico del Ebro se consideró la necesidad neta que satisface los cultivos el 80 % de los años. Esta diferencia metodológica supone una importante disminución en las dotaciones consideradas en FNCA (2004b) con respecto a las aprobadas en el Plan de cuenca.
- b.4) La recuperación de recurso por modernización de regadíos se estima en  $192 \text{ hm}^3/\text{año}$ . En análisis preliminar de los datos de las estaciones de aforos de los Arbas y los estudios de detalle realizado en el año 2004 (CHE, 2004) ponen de relieve que **los recursos retornados son significativamente menores que los estimados en FNCA (2004b) y que por tanto sus estimaciones no son ajustadas a la realidad.**
- b.5) Las dotaciones de riego estimadas en FNCA (2004b) son significativamente menores que las aprobadas en el Plan Hidrológico de cuenca. Los datos disponibles de recursos demandado por los regantes de Bárdenas en los años con disponibilidad de recurso, estudios de dotaciones obtenidos por otros organismos (CEDEX, 1996) y comparaciones con parcelas de regadío eficientes como las elevaciones de Quinto de Ebro permiten concluir que **las dotaciones objetivo aprobadas en el Plan Hidrológico del Ebro se ajustan a las dotaciones reales de parcelas eficientes. Por este motivo no parece que haya argumentos suficientes para asumir las dotaciones de riego planteadas en FNCA (2004b).**
- c) Para realizar una valoración de la eficiencia hídrica se ha realizado una simulación de la explotación del sistema con la alternativa de Yesa recrecido y con la alternativa propuesta en FNCA (2004b). Las características de la simulación son:
- Las simulaciones se han realizado mensualmente con el modelo de gestión de la explotación SIMV.
  - Se ha simulado el periodo de 55 años (660 meses) comprendido entre octubre de 1947 y septiembre de 2002.
  - La serie de aportación se ha obtenido de los datos directos de aforos a la que se han descontado  $20 \text{ hm}^3/\text{año}$  (consumos estimados para la cabecera del río Aragón aguas arriba del embalse de Yesa). La aportación media es  $1.288 \text{ hm}^3/\text{año}$ .
  - Embalses. Los embalses comunes a las dos alternativas y su volumen útil han sido: El Ferial ( $8 \text{ hm}^3$ ), Malvecino recrecido ( $17 \text{ hm}^3$ ), Laverné ( $38 \text{ hm}^3$ ) y Loteta ( $97 \text{ hm}^3$ ). La alternativa de recrecimiento de Yesa considera el embalse de Yesa

- (1.066 hm<sup>3</sup>) y un embalse lateral situado en el tramo final del canal de Bárdenas (antes de la acequia de Sora) con un volumen estimado de 60 hm<sup>3</sup>. La alternativa FNCA (2004b) considera el embalse de Yesa (volumen total de 447 hm<sup>3</sup>), Orés (60 hm<sup>3</sup>) y Marracos (62 hm<sup>3</sup>).
- Canales. El límite máximo del canal de Bárdenas en su origen es 52 m<sup>3</sup>/s. Se considera que el canal se cierra los meses de noviembre y diciembre para mantenimiento.
  - Las demandas son las establecidas en el Plan Hidrológico del Ebro: Abastecimiento a Zaragoza (100 hm<sup>3</sup>/año), abastecimiento e industria a las poblaciones dependientes del canal de Bárdenas (25 hm<sup>3</sup>), Aragón medio-Bajo (252 hm<sup>3</sup>) y regadíos de Bárdenas (90.445 ha con una dotación de 817 hm<sup>3</sup>/año). El total de las demandas consideradas es 1.194 hm<sup>3</sup>/año.

Los resultados del modelo permiten concluir lo siguiente:

- c.1) Los resultados de la comparación de las dos alternativas son concluyentes. **El recrecimiento de Yesa satisface las demandas de riego en los años medios y secos de una forma mucho más eficiente que el esquema propuesto por la FNCA.** El déficit medio de los regadíos de Bárdenas en la alternativa de recrecimiento de Yesa es 80 hm<sup>3</sup>/año mientras que en la alternativa de la FNCA es 131 hm<sup>3</sup>/año. La opción de recrecimiento de Yesa garantiza mayores volúmenes de riego en 27 de los 55 años simulados (50 %) y en 7 años (13 %) la alternativa de la FNCA presenta déficits mayores que 200 hm<sup>3</sup> en comparación con la del recrecimiento de Yesa.
- c.2) Por último, cabe destacar que **el recrecimiento de Yesa por sí solo no va a satisfacer totalmente las garantías de los regadíos de Bárdenas** como pone de manifiesto su déficit medio para los regadíos de Bardenas de 80 hm<sup>3</sup>/año. Por este motivo se recomienda recurrir a nuevas estrategias para la disminución del déficit. La continuación en la mejora de la eficiencia de los regadíos tanto a nivel de parcela como a nivel de gestión desde la comunidad de regantes que ha iniciado la Comunidad General de Regantes del Canal de Bárdenas parece ser una línea adecuada a seguir.

## 8.- BIBLIOGRAFÍA

- Arrojo, P.; Gracia, J.J.; Miguélez, E.; Sánchez, R. (2004) *Alternativa sostenible al recrecimiento de Yesa*. En Actas del IV Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua. Tortosa.
- Causapé, J. (2000) *Repercusiones medioambientales de la agricultura sobre los recursos hídricos de la comunidad de regantes número V de Bárdenas (Zaragoza)*. Tesis Doctoral. Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza. Disponible en <http://www.cervantesvirtual.com>.
- Causapé Valenzuela, J.; Sebastián Herrer, S.; García Vera, M.A.; Costa Alandí, C.; Lecina Brau, S. (2005) *El impacto ambiental del regadío a escala de polígono de riego: el caso de Bárdenas (Zaragoza)*. Pendiente de publicación en el Congreso Nacional de Riegos.
- CEDEX (1996) Determinación de las dotaciones de riego en los planes de regadío de la cuenca del Ebro. Informe inédito. Madrid.
- CEDEX (1998) *Metodología de cálculo de regímenes de caudales de mantenimiento*. Informe técnico clave 51-495-1-017. Madrid.

- CDWR (1998) *California Water Plan Update*. Editado por el California Department of Water Resources. Bulletin 160-98.
- CGRCB (1999) *Proyecto de construcción del embalse de Laverné regulador de la acequia de Sora. Documento número 1: memoria y anejos*. Consultor: Euroestudios. Informe inédito de la Comunidad General de Regantes del Canal de Bárdenas.
- CHE (1993a) *Estudio de recursos hidráulicos de la cuenca del Ebro (Plan Hidrológico)*. Consultor: INYPSA. Informe inédito. Zaragoza.
- CHE (1993b) *Apéndice de las dotaciones de riego de la propuesta del proyecto de directrices del Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro*. Consultor: INYPSA. Informe inédito. Zaragoza.
- CHE (1993c) *Evaluación de los consumos de riegos por medición en parcelas seleccionadas de la cuenca del Ebro*. Consultor: Intagro S.L. Informe inédito. Zaragoza.
- CHE (1995) *Proyecto del embalse de la Loteta y de la conducción desde la Loteta hasta el Canal Imperial de Aragón*. Consultor: FCC y Aldesa construcciones. Informe inédito.
- CHE (1996a) *Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro*. Disponible en [www.chebro.es](http://www.chebro.es). Zaragoza.
- CHE (1996b) *Revisión, mejora y automatización de los modelos de simulación de la explotación de la cuenca del Ebro*. Consultor: SURGE S.L. Informe Inédito. Zaragoza.
- CHE (1999) *Comparación de datos en unidades de aportación entre el Centro de Estudios Hidrográficos y la Confederación Hidrográfica del Ebro*. Consultor: Chi-cuadrado. Informe inédito. Zaragoza.
- CHE (2000a) *Concurso de proyecto y construcción del recrecimiento del embalse de Yesa sobre el río Aragón*. Informe inédito. Zaragoza.
- CHE (2000b) *Análisis de sensibilidad del volumen de recrecimiento de Yesa y afección a las garantías de las principales demandas*. Informe Inédito. Zaragoza.
- CHE (2003) *Análisis de sensibilidad del volumen de recrecimiento del embalse de Yesa (segunda parte)*. Informe inédito. Zaragoza.
- CHE (2004) *La red de control de los regadíos de la cuenca del Ebro: metodología y aplicación al sistema Bárdenas*. Consultor: Ager-ingenieros. Disponible en [www.chebro.es](http://www.chebro.es). Zaragoza.
- FNCA (2004a) *Avance del informe de Alternativas al recrecimiento de Yesa*.
- FNCA (2004b) *Alternativa sostenible al recrecimiento de Yesa*. Disponible en [www.unizar.es/fnaca](http://www.unizar.es/fnaca).
- GN (1999) *El Ferial: transformación en regadío y gestión eficaz del agua*. Folleto divulgativo del departamento de Agricultura, Ganadería y Alimentación del Gobierno de Navarra y de Riegos de Navarra, S.A.
- IAA (2004) *Informe sobre el recrecimiento de Yesa*. Consultor: BS-Ingeniería. Informe inédito. Zaragoza.
- Lecina, S.; Playán, E.; Isidoro, D.; Dechmi, F.; Causapé, J.; Faci, J.M. (2005) *Irrigation evaluation and simulation at the irrigation district V of Bardenas (Spain)*. Agricultural Water Management. (en prensa).
- Martin, Q.W. (1982) *Multireservoir simulation and optimization model SIM-V. Program Documentation and User's Manual*. Departamento de recursos hídricos de Texas.
- Martínez Cob, A.; Faci, J.M.; Tercero, A. (1997) *Evapotranspiración y necesidades de riego de los principales cultivos en las comarcas de Aragón*. Publicación 182. Institución Fernando el Católico. Zaragoza.
- Playán, E.; Cervero, J.; Mantero, I.; Salvador, R.; Lecina, S.; Faci, J.M. (2004) *El programa Ador: una herramienta para la mejora de la gestión del agua en las comunidades de regantes*. Riegos y drenajes XXI. 134.

## **ANEJO I**

### **SERIE DE APORTACIONES EN RÉGIMEN NATURAL**



## **ANEJO II**

### **SUPERFICIES DE RIEGO DEPENDIENTES DEL CANAL DE BÁRDENAS**

## Desglose de las superficies regadas en los nudos del esquema de simulación.

Comunidades de regantes	Superficie regada 2000/2001	Nudo								
		8 (Antes Canal Pardina)	10 (Canal Pardina)	12 (Acequia Navarra hasta embalse Carcastillo)	13 (Acequia Navarra entre E. Carcastillo y E. Ferial)	14 (Ag. Ab. Ferial)	15 (Acequia Cinco Villas hasta E. Malvecino)	16 (Acequia Cinco Villas desde E. Malvecino)	17 (Entre C. Pardina y E. Laverné)	18 (Entre E. Laverné y Loteta)
CR I	2.020	2.020								
CR II	6.835	6.835								
CR III	5.114			968	4.146					
CR IV	7.212			719			1.511			
		448								
			1.764							
CR V	15.500							2.770		
CR VI	6.297							4.271		
CR VII	6.075							6.075		
CR IX	3.730								3.730	
CR X	3.300								3.300	
CR XI	3.577									3.577
Sector I Bârdenas (Gestora de Biota)	770								770	
Hernandez Esteruelas	341								341	
Riguel	652								652	
Yesa	20	20								
Javier	7	7								
San Martín de Cáseda	68	68								
Campo Bajo y La Galera de Cáseda	137	137								
El Ferial	1.410					1.410				
Villafranca, Milagro y Cadreita	2.805					2.805				
Las Vegas de Ejea	3.785								3.785	
Huerta Alta de Tauste	2.002								0	
Comunidad VIII (Elevación de Biota)	1.452								1.452	
Santia	381								381	
<b>Total situación actual</b>	<b>73.489</b>	<b>9.535</b>	<b>3.790</b>	<b>1.687</b>	<b>4.146</b>	<b>4.215</b>	<b>1.511</b>	<b>13.116</b>	<b>29.911</b>	<b>3.577</b>
Pendiente Bârdenas II aguas arriba de Laverné	6.152								6.152	
Pendiente Bârdenas II aguas abajo de Laverné	12.805									12.805
<b>Total Bardenas I y II futuro</b>	<b>92.446</b>	<b>9.535</b>	<b>3.790</b>	<b>1.687</b>	<b>4.146</b>	<b>4.215</b>	<b>1.511</b>	<b>13.116</b>	<b>36.063</b>	<b>16.382</b>

## **ANEJO III**

### **RESULTADOS GRÁFICOS DE LAS SIMULACIONES**

## CUADRO AIII.I

### Aportaciones y déficits anuales para el Sistema Bárdenas

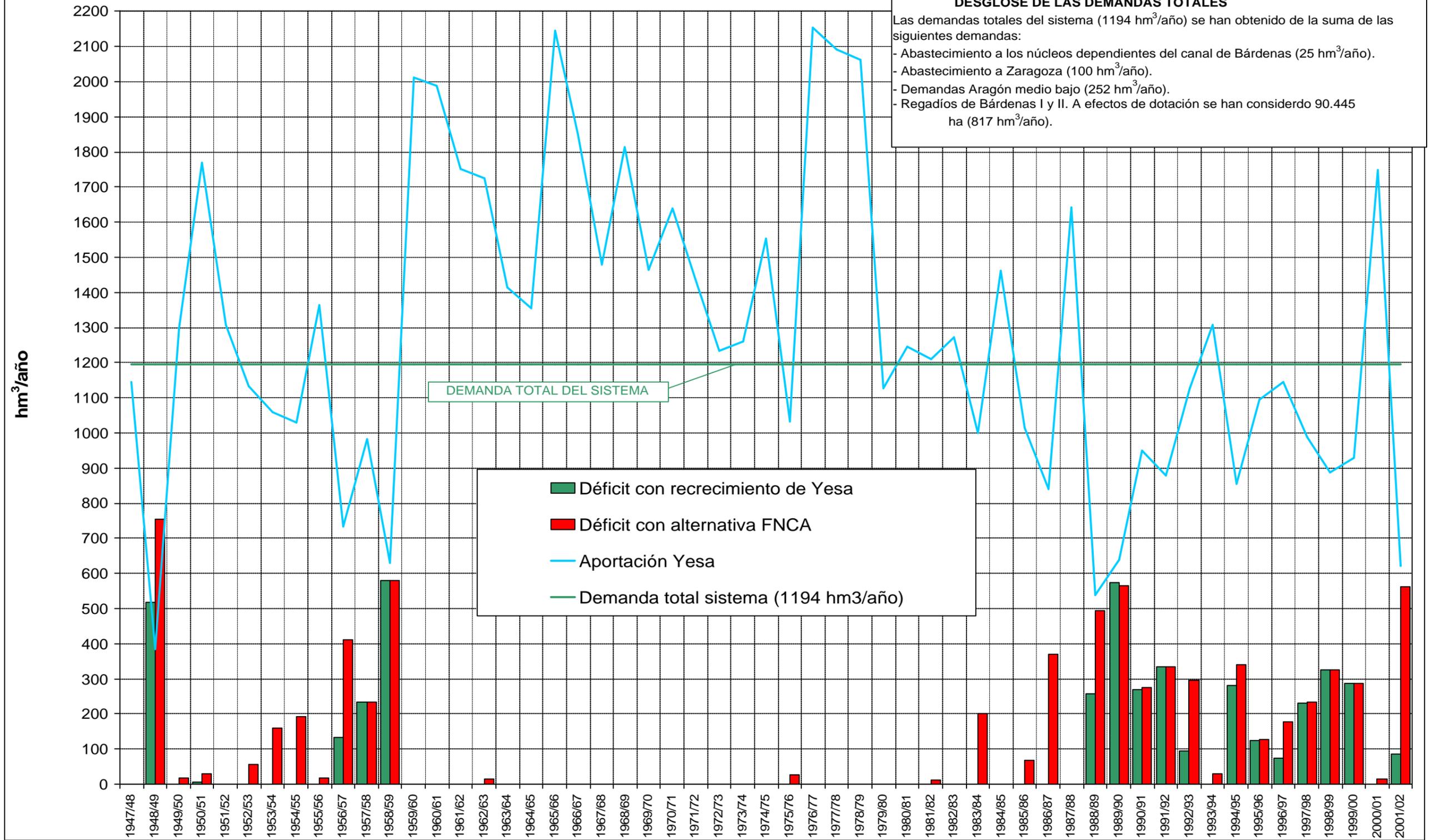
Características específicas de las simulaciones:	
<b>[1]</b> FNCA: Yesa a 449 hm <sup>3</sup> , Orés a 60 hm <sup>3</sup> y Marracos a 62 hm <sup>3</sup> .	
<b>[2]</b> Yesa recrecido: Yesa a 1101 hm <sup>3</sup> (cota 510 m) y embalse lateral con 60 hm <sup>3</sup> .	

Demandas consideradas	
	hm <sup>3</sup> /año
- Abto Bárdenas	25
- Abto Zaragoza	100
-Araqón medio-bajo	252
-Bárdenas (90.445 ha)	817
<b>TOTAL</b>	<b>1194</b>

Leyenda colores de diferencia entre alternativas	
	Diferencia mayor que 50 hm <sup>3</sup>
	Diferencia entre 0 v 50 hm <sup>3</sup>
	No hay diferencia

	Aportaciones Yesa hm <sup>3</sup>	Déficit anual		Diferencia entre alternativas
		[1] FNCA hm <sup>3</sup>	[2] Yesa recrecido hm <sup>3</sup>	[1]-[2] hm <sup>3</sup>
1947/48	1145	0	0	0
1948/49	386	756	517	239
1949/50	1298	18	0	18
1950/51	1770	29	7	21
1951/52	1308	0	0	0
1952/53	1132	55	0	55
1953/54	1058	161	0	161
1954/55	1030	191	0	191
1955/56	1365	19	0	19
1956/57	736	412	133	280
1957/58	981	234	233	1
1958/59	631	581	581	0
1959/60	2013	0	0	0
1960/61	1987	0	0	0
1961/62	1752	0	0	0
1962/63	1726	14	0	14
1963/64	1414	0	0	0
1964/65	1355	0	0	0
1965/66	2145	0	0	0
1966/67	1850	0	0	0
1967/68	1479	0	0	0
1968/69	1814	0	0	0
1969/70	1465	0	0	0
1970/71	1639	0	0	0
1971/72	1439	0	0	0
1972/73	1232	0	0	0
1973/74	1262	0	0	0
1974/75	1555	0	0	0
1975/76	1033	26	0	26
1976/77	2153	0	0	0
1977/78	2090	0	0	0
1978/79	2061	0	0	0
1979/80	1127	0	0	0
1980/81	1245	0	0	0
1981/82	1209	12	0	12
1982/83	1272	0	0	0
1983/84	1000	201	0	201
1984/85	1463	0	0	0
1985/86	1015	70	0	70
1986/87	839	371	0	371
1987/88	1642	0	0	0
1988/89	538	494	257	237
1989/90	638	564	564	0
1990/91	949	277	269	8
1991/92	879	335	335	0
1992/93	1127	298	96	201
1993/94	1307	29	0	29
1994/95	856	340	282	57
1995/96	1096	126	125	2
1996/97	1145	179	76	103
1997/98	987	233	231	2
1998/99	889	325	325	1
1999/00	928	286	287	0
2000/01	1748	15	0	15
2001/02	622	563	86	477
<b>Medio</b>	<b>1288</b>	<b>131</b>	<b>80</b>	<b>51</b>
<b>Máximo</b>	<b>2153</b>	<b>756</b>	<b>581</b>	<b>477</b>

**FIGURA AIII.1: COMPARACIÓN DE DÉFICITS, APORTACIONES Y DEMANDAS EN EL SISTEMA BÁRDENAS PARA DOS ESQUEMAS DE EMBALSES (FNCA [Yesa a 449 hm<sup>3</sup>, Orés a 60 hm<sup>3</sup> y Marracos a 62 hm<sup>3</sup>] y Yesa recrecido [Yesa a 1101 hm<sup>3</sup> y embalse lateral de 60 hm<sup>3</sup>])**



**FIGURA AIII.2: VERTIDOS EN EL SISTEMA BÁRDENAS PARA DOS ESQUEMAS DE EMBALSES (FNCA [Yesa a 449 hm<sup>3</sup>, Orés a 60 hm<sup>3</sup> y Marracos a 62 hm<sup>3</sup>] y Yesa recrecido [Yesa a 1101 hm<sup>3</sup> y embalse lateral con 60 hm<sup>3</sup>])**

