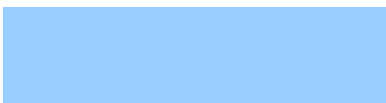


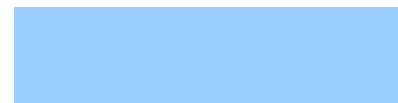
Alternativa Sostenible al Recrecimiento de Yesa



Septiembre 2004



**FUNDACIÓN NUEVA
CULTURA DEL AGUA**



ALTERNATIVA
SOSTENIBLE
AL
RECRECIMIENTO DE
YESA

Dirección Técnica: Prof. D. Pedro Arrojo Agudo

Zaragoza, 30 de septiembre de 2004

INDICE

1	INDICE.....	2
2	INTRODUCCIÓN.....	4
3	OBJETIVOS.....	5
4	PLANTEAMIENTO GLOBAL	7
	4.1 Estimación de las demandas.....	7
	4.1.1 Resumen de escenarios globales de demandas por diferentes autores.....	9
	4.2 Prospección y selección de nuevos embalses de regulación en tránsito	10
	4.3 Garantía Aportada por la Alternativa.....	11
	4.4 Costes de la Alternativa.....	11
5	ANÁLISIS DE DEMANDAS	12
	5.1 Demanda aguas debajo de Yesa	12
	5.2 Demanda de abastecimiento de Zaragoza y su entorno	13
	5.3 Demanda de abastecimientos de los municipios del sistema de Bardenas	14
	5.4 Demanda agraria en el sistema Bardenas-Aragón-Arbas.....	14
	5.4.1 Estructura de cultivos actuales y futuros en Bardenas	15
	5.4.2 Necesidades Netas.....	16
	5.4.3 Eficiencias del Sistema y Dotaciones.....	16
	5.4.4 Tipología del regadío en Bardenas y ahorro por modernización	18
	5.4.5 Superficies de cultivo actuales y futuras	19
	5.4.6 Los escenarios de demandas para Bardenas.....	19
6	INFRAESTRUCTURAS DE REGULACIÓN	21
	6.1 Infraestructuras de regulación existentes	21
	6.2 Propuesta de nuevas infraestructuras de regulación.....	21
7	COSTE DE LA ALTERNATIVA PROPUESTA.....	25
	7.1 El coste de los embalses	25
	7.1.1 Costes de explotación.....	25
	7.2 El coste de la modernización.....	26
	7.3 Comparativa con otras opciones	27
8	ANÁLISIS DE LAS POTENCIALIDADES HIDROLÓGICAS DEL SISTEMA YESA– BARDENAS	29
	8.1 Capacidad de conducción del canal de bardenas:	29
	8.2 Elementos considerados en los modelos de simulación.....	32
	8.2.1 Aportaciones.....	32
	8.2.2 Características técnicas de los embalses en los modelos de simulación	32

8.2.3	Infraestructura de transporte.....	32
8.2.4	Aprovechamientos Hidroeléctricos	33
8.2.5	Explicación de las Garantías	33
8.3	Escenarios de simulación	33
8.4	Resultados del proceso de simulación.....	35
8.4.1	Escenario “SITUACIÓN ACTUAL”:	35
8.4.1.1	Situación actual pero con los embalses de regulación interna previsto en la planificación oficial.....	36
8.4.1.2	situación actual con los embalses laterales previsto en la planificación oficial y el abastecimiento a zaragoza.....	38
8.4.2	Escenario “HORIZONTE AÑO 2008”:	39
8.4.3	Escenario “HORIZONTE AÑO 2015”	40
8.4.4	Escenario “HORIZONTE 2020”:	41
8.4.5	Escenario “HORIZONTE 2020 PLUS”:	43
8.4.6	Escenario “HORIZONTE BARDENAS III”	44
8.4.7	Otros Escenarios simulados:	45
9	EL IMPACTO SOCIAL Y AMBIENTAL DEL RECRECIMIENTO DE YESA.	46
10	PANORÁMICA DE LAS AFECCIONES DEL RECRECIMIENTO AL PATRIMONIO 47	
10.1	Camino de Santiago:	48
10.2	Los restos y conjuntos arqueológicos de diversas épocas:.....	49
10.3	Conjuntos arquitectónicos y sitios históricos: territorio y paisaje.....	50
10.4	Afecciones al núcleo urbano de Sigües.....	53
11	CONCLUSIONES.....	54

1 INTRODUCCIÓN

Esta memoria forma parte de un estudio más amplio y detallado que un equipo interdisciplinar de profesionales ha llevado a cabo para analizar la situación socioeconómica y medioambiental que, entorno al recrecimiento del embalse de Yesa, se ha creado. El equipo está integrado por ingenieros agrónomos, ingenieros de montes, economistas, sociólogos, hidrogeólogos, biólogos, geólogos, ecólogos, técnicos en Sistemas de Información Geográfica y en modelización matemática de cuencas complejas.

El objetivo de este informe es presentar una alternativa al recrecimiento de Yesa que ofrezca una garantía de suministro aceptable a los requerimientos agrarios de Bardenas, presentes y futuros, que sea más económicas, que tenga un menor impacto medioambiental y genere menor conflictividad social

La alternativa que se presenta está basada en la regulación en tránsito, mediante la construcción de pequeños embalses laterales en el propio sistema de riegos de las Bardenas. Además de los tres embalses laterales proyectados, Laverné, Malvecino y Carcastillo, se han estudiado las posibilidades que diversas cerradas del sistema podrían ofrecer de cara a conseguir aumentar la regulación en el sistema Yesa-Bardenas. De los 8 embalses que se han manejado en el estudio se han seleccionado aquellos que en función de su ubicación y condiciones técnicas sirven junto con los proyectados para conseguir una regulación, mas que suficiente, para atender los requerimientos agrarios con la garantía establecida para los mismos en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro (PHCE), que es la que se consigue con Yesa recrecido.

Una de las principales ventajas de esta alternativa es la característica de la **MODULARIDAD**: Como se muestra en este informe es la modularidad lo que dota a esta alternativa de una ventaja económica, al poder irse construyendo los embalses a medida que se vayan aumentando las hectáreas de regadío. Se evita de esta forma un fuerte desembolso inicial necesario para el recrecimiento de Yesa.

Las herramientas con las que se ha trabajado para el contraste de la validez de estas alternativa han sido, por un lado, los modelos matemáticos de simulación de cuencas complejas (se han ensayado con varios de los que existen en el mercado) y por otro la explotación de la información obtenida a partir de una importante base de datos de información geográfica que se ha generado para el estudio que se está abordando. La combinación de ambas herramientas junto con la experiencia y profesionalidad de los expertos que han llevado a cabo los trabajos garantiza que no se trata de simples especulaciones, si no que lo que aquí se presenta, supone una alternativa sólida y consistente desde un punto de vista técnico.

2 OBJETIVOS

Cuando la Fundación Nueva Cultura del Agua recibió el encargo de la asociación Río Aragón de elaborar un informe sobre las alternativas al recrecimiento de Yesa, se asumió que dichas alternativas debían cumplir los siguientes objetivos:

- Garantizar la viabilidad de las explotaciones agrícolas tanto en Bardenas como en la Canal de Berdún.
- Garantizar un aporte de agua de boca procedente del río Aragón para Zaragoza y su entorno
- 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 de Agua.
- Entender que en el caso hipotético de ser necesarias nuevas regulaciones, estas no deberían volver a inundar más territorio del que ya lo fue con la construcción del actual embalse de Yesa.

Las alternativas tenían que basarse en un nuevo paradigma hidráulico denominado genéricamente “Nueva cultura del Agua” y cuyos pilares fundamentales en el tema objeto de debate son:

- Realizar un análisis de las demandas actuales del sistema Yesa-Arbas Bardenas y de Zaragoza y su entorno
- Valorar la demanda del caudal ambiental necesario en el río Aragón, aguas abajo de Yesa.
- Valorar el nivel de eficiencia del uso del agua en el sistema .
- Actuar con medidas técnicas y políticas sobre la mejora de la eficiencia y la disminución de la demanda de agua, buscando significativos rescates de los volúmenes actualmente servidos.
- Realizar un análisis, lo más ajustado posible, de las demandas a servir en el futuro a los abastecimientos en Bardenas y en Zaragoza y su entorno. basándose en escenarios paulatinamente más eficientes.
- Análogamente, calcular una demanda ajustada para el regadío en Bardenas. Esto a su vez conlleva:
 - Considerar escenarios de incremento de superficies de regadío en Bardenas acordes con la filosofía que emana del Plan Nacional de Regadíos, en el que toma

fuerza la idea de consolidar y modernizar regadío sobre la de incrementar transformaciones.

- Partir de bases realistas a la hora de definir la estructura de cultivos del regadío en escenarios futuros.
- Exigir unos niveles de eficiencia paulatinamente mayores en el uso del agua en zonas regadas.
- Con los volúmenes progresivamente rescatados en los usos actuales, pasar a poner en servicio incrementos de demanda pendientes, bien como incrementos de superficies regadas, bien como mejora de las dotaciones servidas.
- 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.
- En el caso de que sean necesarias nuevas regulaciones de 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.

3 PLANTEAMIENTO GLOBAL

El método de trabajo seguido para realizar y validar las alternativas ha sido:

- * Estimación de las demandas futuras concretándolas en varios escenarios futuros
- * Realización de una selección de embalses internos
- * Comprobación de que esta elección ofrece un nivel de garantía aceptable para las demandas previstas. Para conocer la capacidad del río Aragón para cubrir con garantía las diferentes demandas consideradas, con diferentes infraestructuras de regulación (Yesa, embalses internos ya previstos en el Plan Hidrológico de Cuenca y otros embalses internos que proponemos) se ha empleado el modelo matemático de simulación de cuencas complejas SIMGES de la Universidad Politécnica de Valencia.
- * Cálculo de los costes de la alternativa propuesta

3.1 Estimación de las demandas

A partir del análisis de las demandas actuales y su evolución temporal, se han generado varios escenarios de demandas futuras para diferentes horizontes temporales que se denominan “Horizonte 2008”, “Horizonte 2015”, “Horizonte 2020”, “Horizonte 2020 plus” y “Horizonte Bardenas III”.

Para cada horizonte temporal se han calculado las demandas urbanas, agrarias y medioambientales partiendo de los siguientes supuestos:

- * El caudal ambiental se respeta en un mínimo de $8\text{m}^3/\text{s}$ que es el caudal básico mínimo y a partir de ahí se cubren $482,7\text{ hm}^3/\text{año}$ que se consideran ambientalmente correctos.
- * La demanda urbana de Zaragoza es decreciente conforme se va aplicando el Plan de Mejora de la red de abastecimiento hasta el año 2008 para luego ascender someramente conforme se va incrementando la población estimada hasta alcanzar los $80\text{ hm}^3/\text{año}$
- * La demanda de los abastecimientos de Bardenas se ajusta a valores razonables y crece conforme crece la población estimada (4 hm^3 al año).
- * La demanda agraria de Bardenas se mantiene en niveles parecidos a los actuales hasta el año 2020 (en el entorno de los 670 hm^3). Durante este periodo la modernización y aumento de eficiencia en el 50% de la superficie de Bardenas (no tradicionales) regada a gravedad produce un significativo rescate de caudales, pasando de niveles de eficiencia en el uso del agua del 53% actual hasta el 68% en el 2020. Con este proceso se consigue:

- Disminuir progresivamente la dotación media por hectárea hasta 7.465 m³/ha.
- Pasar a una estructura de cultivos moderadamente más demandante de agua que la actual pese a la disminución de dotación (de 4.722 a 5.041 m³/ha de necesidades netas)
- Incrementar la superficie regada para completar el Plan nacional de Regadíos (Horizonte-2008) y posteriormente cubrir la culminación de Bardenas II (89.941 has). En este momento (horizonte 2020) la suma de demandas tanto de abastecimiento como agrarias y ambientales suma 980 hm³, frente a los 914 actuales (66 más). El incremento de regulación ya prevista o ejecutada de La Loteta, Malvecino recrecido, Carcastillo y Laverne (todos “embalses internos” del sistema) suponen 156 hm³ de volumen útil con los que se cubre la demanda y se consigue más garantía que en la actualidad.

En el año 2020 entran en servicio dos embalses de los aquí propuestos, que almacenarían 122 hm³ procedentes del río Aragón (Orés con 60 hm³ y Marracos con 177 hm³, de los que solamente se emplean 62 hm³). Con las nuevas regulaciones se podría optar por seguir dos escenarios que demandan unos 710 hm³ para Bardenas: el “horizonte 2020 plus”, que supone no pasar a ampliar Bardenas III y aumentar las dotaciones hasta 8.211 m³/ha y año y permitir estructuras de cultivos más demandadoras de agua (necesidades netas de 5.542 m³/ha), o bien, mantener las mismas dotaciones que en el año 2020 y pasar a ampliar Bardenas III con 10.100 has alcanzándose un techo en el sistema de 100.041 has.

4.1.1. Resumen de escenarios globales de demandas por diferentes autores

En la siguiente tabla resumimos las diferentes demandas del río Aragón comenzando por la situación que nosotros consideramos actual y comparándola con los escenarios de demandas desde Yesa contemplados por Informe del Gobierno de Aragón sobre el recrecimiento de Yesa (abril 2004), el Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro. “Anejo Balances, sistema Alto Ebro y Aragón. 2º Horizonte” (1995) y varios escenarios propios

		Actual	Barbany 2004	PHCE 2º horizonte	Propio 2008	Propio 2020	Propio 2020 plus	Propio B-III
Aragón aguas abajo de Yesa	hm³	252	197	252	252	252	252	252
Zaragoza y su entorno	hm³	0	132	100	79	79	79	79
Bardenas I y antiguos regadíos	superficie	62.500	61.100	95.776	62.500	62.500	62.500	62.500
	hm ³	562	565	864	486	455	501	445
Bardenas II	superficie	13.739	29.000		17.524	27.441	27.441	27.441
	hm ³	100	268		122	194	214	193
Bardenas III	superficie	0	6.000	15.600	0	0	0	10.100
	hm ³	0	55	142	0	0	0	71
Total Bardenas	superficie	76.239	96.100	111.376	80.024	89.941	89.941	100.041
	hm ³	662	888	1.006	608	649	715	709
Total sistema	hm³	914	1.217	1.358	939	980	1.046	1.040
% de años (1940-1995) que el río Aragón ha superado la demanda total	%	91%	70%	52%	89%	89%	82%	82%
Aportación Aragón en Yesa menos demanda total	hm ³	498	194	53	472	431	365	371

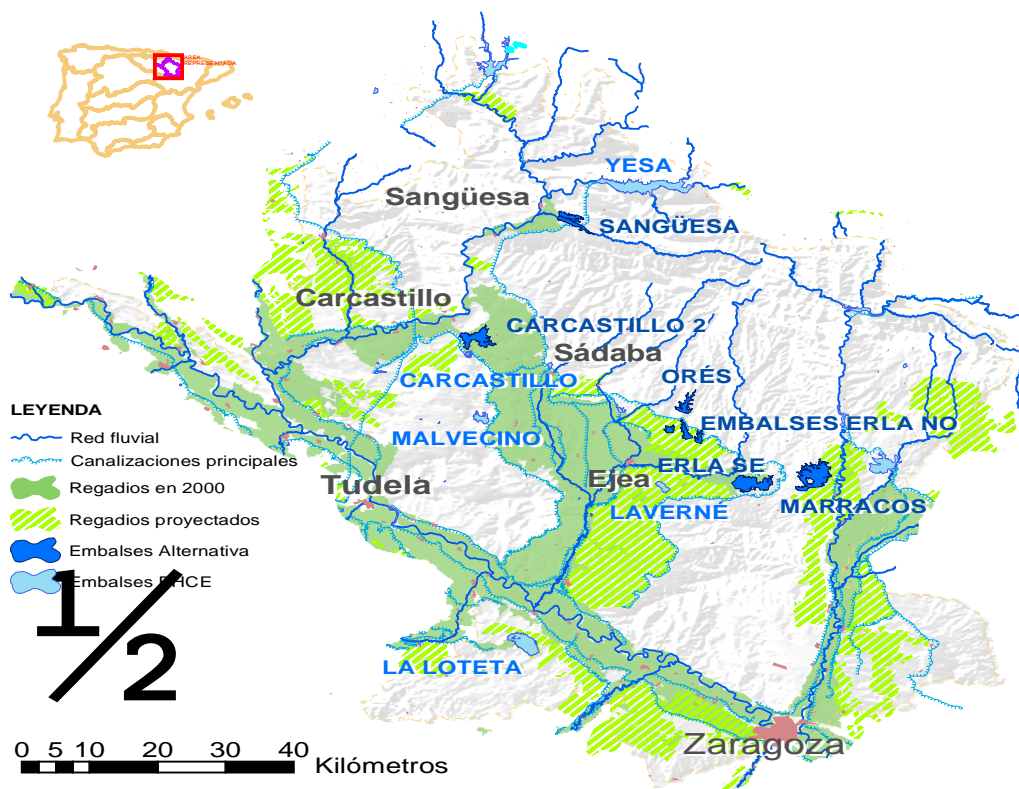
Las diferencias en los volúmenes demandados globales, aunque aparentemente pequeñas, son grandes cuando se compara con el volumen aportado por el río Aragón en Yesa. Efectivamente, si analizamos el porcentaje de años de la serie (1940-95) que el río Aragón ha superado la demanda global, observamos que en nuestros dos escenarios sólo un 10% de los años el río Aragón no ha podido cubrir la demanda, mientras que en los escenarios del Informe del Gobierno de Aragón y del PHCE el 30 y el 50% de los años el río Aragón no aportaba bastante agua para cubrir esas demandas. **Nuestros escenarios pueden soportar una falta de regulación hiperanual, los otros dos la exigen de manera obligatoria.**

Es también destacable el análisis del valor “Aportación promedio del Aragón (1.411 hm³/año) menos el Total de demandas”. Este valor es una primera aproximación al volumen promedio que podría circular anualmente aguas abajo de Yesa más allá del caudal mínimo medioambiental. En nuestros escenarios “horizonte 2008”, “horizonte 2015” y “horizonte 2020” el río Aragón aún dispondría, al igual que en la actualidad, de unos 430 a 470 hm³ de agua “extra” más allá del mínimo exigible de 252 hm³.

Los escenarios con alta demanda recortan drásticamente esos volúmenes: el río se convierte en un canal de 197 o 252 hm³/año sin que queden volúmenes apreciables que produzcan avenidas y sirvan para el mantenimiento adecuado de los ecosistemas fluviales y ribereños. Con los escenarios propuestos es mucho más fácil cumplir con los objetivos de la Directiva marco de Aguas de restaurar el “buen estado ecológico natural de los ríos” que con escenarios altamente demandadores de agua.

4.2 Prospección y selección de nuevos embalses de regulación en tránsito

Se ha trabajado con la posibilidad de conseguir mayor regulación dentro del propio sistema de riego con embalses de tamaño medio para lo cual se ha elaborado un Sistema de Información Geográfica. La mayor parte de la información contenida en el mismo procede del web de la Oficina de Planificación Hidrológica, CHE. Además, se ha incorporado cartografía digitalizada de curvas de nivel a escala 1:25.000 con equidistancias de 10 metros, que nos permitido obtener un modelo digital del terreno para la cubicación de la capacidad del embalse.



Los dos embalses propuestos, finalmente, que son los de Orés y Marracos han sido elegidos de un trabajo previo de prospección que llegó a barajar hasta 8 embalses internos nuevos, que son los que aparecen en la figura de arriba.

El anexo de “embalses alternativos” demuestra el escaso impacto ambiental de los embalses propuestos.

4.3 Garantía Aportada por la Alternativa

De los resultados de la simulación de los modelos matemáticos se desprende que la alternativa propuesta alcanza unos niveles de garantía de suministro para el abastecimiento de Zaragoza y su entorno y regadío de 90.000 hectáreas en Bardenas equivalentes al recrecimiento a cota media de Yesa.

4.4 Costes de la Alternativa

Los costes de ejecución por contrata de los dos embalses se estiman en 78 millones de €

Orés se llena del Canal de Bardenas por bombeo y se vacía turbinando al mismo punto con lo que se produce un significativo ahorro de costes de explotación. Al revés ocurre con Marracos, se llena turbinando, produciendo recursos económicos para luego volver a bombear caudales al principio de la acequia de Sora. Los costes energéticos anuales presentan un balance negativo de 79 millones de pesetas al año (474.000 €) equivalentes a 758 pts por hectárea (4,56 €) o 0,66 ptas/m³ (4 céntimos de €/m³).

El embalse de Marracos está sobredimensionado con respecto a las necesidades de Bardenas. Sobra una capacidad de unos 100 hm³ que podría llenarse con aguas del Gallego, servir en época de riego a las necesidades del Bajo Gallego y rescatar así caudales en Ardisa para Riegos del Alto Aragón. La propuesta así realizada no sólo es alternativa al recrecimiento de Yesa sino que aparece también como alternativa parcial al embalse de Biscarrués, otro de los proyectos con gran conflictividad social.

5 ANÁLISIS DE DEMANDAS

En el anexo “Análisis de demandas” se recoge un análisis de las demandas que se han de cubrir con las aguas del río Aragón embalsadas en Yesa y la de los Arbas que drenan el territorio de las Bardenas.

Las demandas se distribuyen en cuatro grandes grupos:

- Demandas aguas abajo de la presa de Yesa en el río Aragón.
- Demandas de los abastecimientos con toma en el final de la acequia de Sora (Zaragoza y su entorno).
- Demandas de abastecimientos e industriales servidas desde los canales y acequias de Bardenas, diferente a la anterior.
- Demanda agraria de Bardenas.

Para cada una de ellas se realiza un análisis de su volumen esperable y de su distribución mensual. Estos valores se introducen luego en los modelos de simulación para conocer los niveles de garantía con los que se sirven dichas demandas (ver anexo de “Análisis de las capacidades hidrológicas del sistema Yesa-Bardenas”)

5.1 Demanda de aguas debajo de Yesa

Las demandas que debe atender el río Aragón aguas abajo de Yesa son:

- Caudal mínimo medioambiental
- Central de Sangüesa
- Piscifactoría de Yesa
- Regadíos tradicionales del Aragón

No están fijados ni los caudales ni los regímenes ecológicos en el río Aragón aguas abajo de Yesa. En la actualidad la CHE, en el Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro fijó un caudal de 4,52 m³/s continuos, equivalentes a 142,55 hm³/año distribuidos uniformemente todos los meses.

Para la elaboración del presente trabajo se ha calculado un régimen de caudales medioambientales con la metodología del “caudal básico”. El volumen a dejar aguas debajo de Yesa es de 482,7 hm³/año, que tiene un caudal básico mínimo de 8 m³/seg.

La central de Sangüesa posee una concesión anterior y prioritaria sobre el sistema de Bardenas de 16 m³/s, de los que 8 m³/s proceden del río Aragón y 8 m³/s del Irati.

La piscifactoría de Yesa posee un caudal concedido de 5 m³/s posteriormente a los aprovechamientos de Bardenas.

Según el Plan Hidrológico de Cuenca los regadíos tradicionales en el Aragón Bajo son 14.553 ha distribuidas en 11.184 antes de la confluencia del Arga y 3.369 aguas abajo de éste. La dotación objetivo que el Plan Hidrológico de cuenca considera adecuada para el Aragón Bajo

cuando la eficiencia global sea del 60%, sin perjuicio de las concesiones y derechos preexistentes es de 7.252 m³/ha y año. Pese a todo, al ser un regadío tradicional con derechos preferentes sobre todos los posteriores, la realidad es que emplea de manera discrecional 16 m³/s desembalsados a partes iguales del Iratí y del Aragón.

Del análisis de las demandas anteriores consideramos que la demanda actual y futura aguas abajo de Yesa introducida en nuestros modelos es de 252 hm³.

5.2 Demanda de abastecimiento de Zaragoza y su entorno

El proyecto inicial de abastecimiento de agua a Zaragoza y su entorno, de 1999, ha sufrido modificaciones que le han llevado a rebajar los núcleos a abastecer de 71 municipios hasta 22 núcleos, en buena parte debido a una pérdida de financiación de la UE como consecuencia de que en su momento no se realizó un adecuado análisis de alternativas de muchos de los abastecimientos que se incluían en los ramales de los ríos Gállego, Huerva y Jalón.

Por otro lado, el Ayuntamiento de Zaragoza viene acometiendo un plan de mejora en su red de abastecimiento que está permitiendo obtener un significativo ahorro de agua.

Estos dos hechos conocidos siguen siendo sistemáticamente olvidados por la planificación hidráulica que al emplear una metodología de cálculo de la demanda futura maximalista, lleva a establecer demandas para Zaragoza y su entorno de 132 hm³ cuando según nuestros propios cálculos, que figuran en los anexos, se puede ajustar la demanda de esas poblaciones a no más de 80 hm³.

La población que a día de hoy se abastecería desde el final de Sora (Zaragoza y 22 núcleos más) asciende a 673.887 habitantes, que demandarían un total de 74,78 hm³, de los que 3,21 se situarían en los núcleos del entorno. En el año 2020 la población podría alcanzar los 765.233 habitantes, demandando un total de **78,94 hm³** de los que 4,77 hm³ corresponderían al entorno. La demanda baja ligeramente hasta el 2008 como consecuencia de la paulatina aplicación del Plan de Mejora (hasta los 71,96 hm³ del año 2008) para luego ascender de manera progresiva hasta el 2020 como consecuencia del incremento de población.

El que la demanda real sea de 78.9 hm³ en lugar de 132 hm³, es un factor muy importante en la garantía del servicio. Considerando todas las demás demandas actuales del río Aragón el principal factor limitante de la garantía del abastecimiento es la capacidad de conducción del tubo Sora-Loteta (11m³/s) y el periodo de aguas sobrantes de Yesa. Pasar de 132 hm³ a 79 hm³ supone 56 días menos de necesidad de derivación de agua (de 139 a 83 días) y por lo tanto mayor garantía.

5.3 Demanda de abastecimientos de los municipios del sistema de Bardenas

La metodología de cálculo ha sido la misma que se ha seguido para calcular la demanda del entorno de Zaragoza y se encuentra en los anexos; oscilará entre los 3,83 hm³ que deberían demandar en la actualidad y los 4,03 hm³/año en el 2020.

5.4 Demanda agraria en el sistema Bardenas-Aragón-Arbas

Se ha calculado la demanda agraria de regadío de Bardenas, actual y futura, para diferentes escenarios.

Se parte de la base de que la demanda agraria depende de una serie de factores sobre los que se puede actuar técnica y políticamente, realizando políticas de gestión de la demanda:

- Superficies puestas en riego, actuales y futuras.
- Estructura de cultivos actual y futura.
- Necesidades netas de los cultivos. Dependen fundamentalmente del clima y de la necesidad de lavado del suelo. En la actualidad para la zona de Bardenas están tipificadas estas necesidades para los cultivos principales.
- Eficiencia de aplicación en parcela. Depende del tipo de riego y de su manejo más o menos adecuado. Con las necesidades netas y la eficiencia de aplicación podremos calcular las necesidades brutas a la entrada de la parcela. Varía en escenarios actuales y futuros según va avanzando el proceso modernizador.
- Eficiencia en el transporte. Depende del tipo de conducción usado, de la existencia de balsas de regulación interna y del manejo que se realiza, tanto en la red principal como en la secundaria. Con la necesidad bruta y la eficiencia de transporte podemos calcular la demanda de embalse o dotación de embalse por hectárea, que es la que se debe manejar en estudios de planificación hidrológica. Varía en escenarios actuales y futuros según va avanzando el proceso modernizador y la estructura de cultivos.

En el presente trabajo se consideran incrementos realistas de superficies regables futuras para Bardenas, con estructuras de cultivos semejantes a las actuales o ligeramente más demandantes de agua, incrementos en la eficiencia debido a un progresivo proceso modernizador del regadío antiguo (todo Bardenas I y parte de Bardenas II se riega por gravedad) lo que conllevara dotaciones de embalse del entorno de los 7.500 m³/ha y año muy alejadas de las 9.129 m³/ha y año que se considera en toda la planificación oficial.

5.4.1 Estructura de cultivos actuales y futuros en Bardenas

Comenzar reseñando la disparidad de dotaciones que la planificación hidrológica ha ido asumiendo para el regadío de Bardenas y otros contiguos.

Se ha realizado un análisis de la variación histórica de la estructura de cultivos, un estudio de las tendencias que se observan y un pronóstico de cómo puede modificarse dicha estructura en el tiempo (hasta el año 2020).

- Existe una clara tendencia a la disminución del girasol tendiendo a ser un cultivo minoritario que en el 2003 no llegaba a ocupar el 4% de la superficie.
- La superficie cultivada de cebada está estabilizada en el entorno del 10% del total cultivado.
- El trigo presenta, con alguna fuerte variación anual, una tendencia al alza de un 16% hacia un 25%.
- El maíz tiende, con fuertes variaciones interanuales, a ir disminuyendo su predominio en Bardenas pasando de un 30 a un 20% de la superficie cultivada para ir siendo progresivamente sustituido por alfalfa y arroz.
- El arroz presenta un crecimiento bastante continuo en el tiempo del 3% al 8-9% de la superficie.
- La alfalfa se presenta como uno de los cultivos con más fuerte incremento en los últimos años, doblando superficie hasta las 18.000 ha en los últimos 9 años pasando de un 16% a casi un 30% de la superficie cultivada.

Para calcular la estructura futura de cultivos, hemos ampliado las tendencias que se observan desde 1994 hasta el 2003, entendiendo que en la realidad de los hechos que realmente suceden están recogidos la multiplicidad de factores que influyen en que se opte por sembrar, cada año, uno u otro cultivo.

Además de los escenarios de cultivos así calculados continuando la tendencia observada, hemos diseñado también un escenario probable que hemos denominado “2020 plus” en el que consideramos, al margen de las tendencias, la probabilidad de existencia futura de estructuras más demandantes de agua.

Un resumen de los escenarios aparece en la próxima tabla:

	1994	2003	2008	2020	2020 plus
ALFALFA	18,1%	27,7%	32,2%	38,0%	38,3%
TRIGO	16,6%	25,4%	26,1%	26,0%	14,0%
MAIZ	24,1%	19,2%	14,6%	6,3%	23,5
ARROZ (CASCARA)	2,2%	7,7%	10,7%	15,1%	13,5%
CEBADA	8,2%	9,2%	8,3%	6,5%	6,5%
GIRASOL	18,6%	3,5%	0,6%	0,0%	0,0%
Otros cultivos	12,2%	7,4%	7,4%	8,1%	6,1%
TOTAL	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100%

5.4.2 Necesidades Netas

Las necesidades netas de los cultivos que asumimos son las calculadas en el trabajo de Martínez-Cob A.; Faci J.M. y Bercero A., 1997. “Evapotranspiración y necesidades de riego de los principales cultivos en las comarcas de Aragón”. Publicación 1882. Institución Fernando el Católico, Zaragoza.224pp. para la Comarca de Cinco Villas Sur.

Del cruce de valores de necesidades netas de cultivos y de la estructura de cultivos para diferentes años hemos calculado para cada año las necesidades netas de una hectárea tipo (hectárea que tendría diversos cultivos en un porcentaje establecido por la estructura de cultivos de cada año).

Podemos concluir que debido a que la tendencia en la estructura de cultivos se dirige hacia cultivos más demandantes de agua, las necesidades netas de los cultivos van creciendo pasando de 4.450 m³/ha y año para la hectárea tipo actual hasta los 5.041 que podrían alcanzarse en el 2020.

Los valores clave se resumen en esta tabla:

	1994	2003	2008	2020	2020 plus
Necesidades netas (m ³ /ha y año)	4.450	4.722	4.834	5.041	5.542

5.4.3 Eficiencias del Sistema y Dotaciones

La selección de los valores de eficiencia es una decisión de gran importancia en la planificación y cálculo de las dotaciones de embalse. En el presente trabajo se asumen las diferentes eficiencias que el Plan de Infraestructuras de Aragón de 2004 considera aceptables y realistas para la comunidad autónoma y que son Escógidas tras un laborioso y extenso análisis bibliográfico y de datos de diferentes comunidades de riegos.

Los valores de eficiencia deseables en el transporte son los siguientes:

	Eficiencia de conducción principal Et	Eficiencia en la distribución secundaria Ed	Eficiencia total de transporte Et=Ec*Ed
Sistema de riego con canal principal y redes de riego (acequias) revestidas	0.95	0.90	0.855
Antiguos regadíos	0.9	0.85	0.765
Sistemas de riego con canal principal y redes de riego por tuberías a presión	0.95	0.95	0.902
Sistemas de riego con toma directa de cauce y redes de riego por tuberías a presión	1	0.95	0.95

El Departamento de Agricultura del Gobierno de Aragón en su hoja informativa de riegos establece como eficiencia en parcela deseable, para los sistemas de riego con un manejo adecuado, los siguientes:

- Riego por inundación: 0.75
- Riego por aspersión: 0.80
- Riego por goteo: 0.90

Del cruce de los dos valores de eficiencia podríamos considerar adecuados para Bardenas los siguientes valores:

- Regadíos tradicionales del Arba: $0,765 \times 0,75=0.573$
- Regadíos sin modernizar con riego a pie de Bardenas I y parte de Bardenas II: $0,855 \times 0,75=0,641$
- Regadíos modernizados de Bardenas I y II y transformado a presión de Bardenas II: $0,902 \times 0.8=0.721$

Con estos valores de eficiencia las dotaciones estimadas para diferentes estructuras de cultivo futuras son las que aparecen en la siguiente tabla:

	1994	2003	2008	2020	2020 plus
Necesidades netas (m ³ /ha y año)	4.450	4.722	4.834	5.041	5.542
Dotación a pie (m ³ /ha y año)	6.942	7.366	7.541	7.865	8.646
Dotación a presión (m ³ /ha y año)	6.172	6.549	6.704	6.992	7.687

Observamos dotaciones de embalse que oscilan entre 7.000 y 7.900 m³/ha y año, muy alejadas de las 9.129 m³/ha y año de la planificación oficial para Bardenas, y más acordes con lo establecido por el PHCE para zonas contiguas (6.400 m³/ha para el Canal de Navarra y de 6.227 m³/ha para la Hoya de Huesca) o las de el “Proyecto de abastecimiento de agua a Zaragoza y su entorno” presentado por BS ingeniería en 1999 en el que la dotación para el nuevo regadío de Bardenas II se estimaba en 7.759 m³/ha

Sólo en el escenario “horizonte 2020 plus”, cuando el 75% de los cultivos son fuertemente demandantes de agua, se alcanzan valores de 8.646 m³/ha y año regando a gravedad

Las eficiencias anteriormente consideradas son las que el Plan de Infraestructuras hidráulicas de Aragón considera aceptables o deseables según la tipología de transporte y de aplicación. Sin embargo, dicho Plan no aporta valores reales de eficiencia para Bardenas. Nosotros hemos realizado un cálculo propio estimativo cruzando diversas fuentes de información que sitúa la eficiencia promedio del periodo 1994-2001 (exceptuando 2002 por sus especiales circunstancias) en el 0,509. Hemos de entender este valor de 0,509 como un valor superior y aun con todo muy alejado de la eficiencia mínima de 0,641 que sería deseable con la actual tipología de transporte y aplicación.

5.4.4 Tipología del regadío en Bardenas y ahorro por modernización

La tipología del regadío en Bardenas aparece en la siguiente tabla:

Zona	Sup. por gravedad	Sup. a presión	Total
Bardenas I	98,6%	1,4%	100%
Bardenas II	55,2%	44,8%	100%
Total	88,6%	11,4%	100%

A la vista de los datos aportados se puede deducir que Bardenas I riega en la actualidad por gravedad con bajos niveles de eficiencia y que la mitad de la superficie actual de Bardenas II riega a presión. Los primeros sectores transformados lo fueron por gravedad y los últimos sectores se están transformando a presión.

Existe un 87% de superficie, equivalente a 65.999 has que aún son susceptibles de modernizarse y producir un ahorro significativo de volumen de agua al mejorar la eficiencia de aplicación. El mero ajuste de la eficiencia a valores más adecuados de 0,642, considerados como deseables con la actual tipología de transporte y aplicación, provocaría ya un ahorro de 135 hm³ y el cambio a un sistema presurizado rescataría otros 57 hm³.

El conseguir mejorar la eficiencia del sistema debería ser una de las preocupaciones básicas de la administración agraria e hidráulica.

5.4.5 Superficies de cultivo actuales y futuras

Hemos elaborado la siguiente tabla con la distribución de las superficies en has. para las distintas comunidades de base y para diferentes horizontes temporales:

COMUNIDAD	Actual	H2008	B.II completo	Bardenas III
Comunidad nº I	2.047	2.047	2.047	2.047
Comunidad nº II	6.835	6.835	6.835	6.835
Comunidad nº III	5.114	5.114	5.114	5.114
Comunidad nº IV	7.212	7.212	7.212	7.212
Comunidad nº V	15.230	15.230	15.230	15.230
Comunidad nº VI	6.090	6.090	6.090	6.090
Comunidad nº VII	6.045	6.045	6.045	6.045
Comunidad nº VIII	1.452	1.452	1.452	1.452
C.R. Nav (Morante, Ferial, Cáteda, etc.)	3.589	3.589	3.589	3.589
BARDENAS I	53.614	53.614	53.614	53.614
R. Tradicionales prov Zaragoza. (Huertas)	8.886	8.886	8.886	8.886
BARDENAS I + Regadíos Tradicionales de las huertas	62.500	62.500	62.500	62.500
Comunidad nº IX	3.499	3.499	6.870	6.870
Comunidad nº X	5.135	6.817	8.340	8.340
Comunidad nº XI	5.105	7.208	12.231	12.231
BARDENAS II	13.739	17.524	27.441	27.441
BARDENAS III	0	0	0	10.100
TOTAL SISTEMA BARDENAS	76.239	80.024	89.941	100.041

La evolución futura de la extensión del regadío está limitada en la actualidad por el Plan Nacional de Regadíos H-2008 actualmente en vigor. Dicho Plan supone dejar las superficies como están en Bardenas I, transformar parte de la totalidad de Bardenas II y no acometer, de momento, la culminación de Bardenas II ni Bardenas III.

No existe ningún Plan con desarrollo presupuestario para el resto de Bardenas II ni para Bardenas III; es por esto que hemos considerado como escenarios probables aquellos que comprendan la culminación de Bardenas II, para alcanzar la totalidad del sistema una superficie puesta en riego de 89.941 has. En un escenario, para nosotros poco realista, se han incluido 10.100 has en Bardenas III hasta alcanzar las 100.041 has en todo el sistema.

5.4.6 Los escenarios de demandas para Bardenas

A partir de todos los datos anteriormente trabajados hemos considerado diferentes escenarios demandas teniendo en cuenta la evolución de:

- La superficie declarada en riego.
- La superficie retirada.

- Las necesidades netas de los cultivos que dependen a su vez de la estructura de cultivos. (Estas ya han sido calculadas en capítulos anteriores para diferentes estructuras de cultivo probables en el futuro).
- La eficiencia global del sistema, que depende de la eficiencia en el transporte, en la distribución y en la aplicación. Esta última depende también del tipo de riego (gravedad o presión) y del manejo del mismo.
- El grado de modernización del sistema que convierte regadío a gravedad en regadío a presión.

Los escenarios vienen descritos en los anexos profusamente. Las características básicas de cada uno de ellos aparece en la siguiente tabla. La primera fila contiene el nombre de los escenarios:

	2004	2008	2015	2020	2020 plus	Horizonte B-III
Porcentaje de modernización	0%	0%	50%	50%	50%	50%
Porcentaje de retirada	0%	0%	0%	0%	0%	2,7%
Eficiencia a gravedad	0,51	0,60	0,64	0,64	0,64	0,64
Eficiencia a presión	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
Necesidades netas	4.722	4.834	5.041	5.041	5.542	5.041
Porcentaje de tradicionales cubierta	80%	80%	80%	80%	80%	80%
Dotación objetivo de yesa (m ³ /ha/año)	8.679	7.602	7.240	7.228	7.950	7.197
Dotación objetivo Yesa+Arbas (m ³ /ha/año)	8.895	7.862	7.506	7.465	8.211	7.408
Eficiencia global	53%	61%	67%	68%	67%	68%
Superficie puesta en riego (has)	76.239	80.024	80.024	89.941	89.941	100.041
Superficie regada (has)	76.239	80.024	80.024	89.941	89.941	98.479
Superficie a gravedad (has)	65.999	65.999	39.237	40.923	40.923	39.361
Superficie a presión (has)	10.240	14.025	40.787	49.019	49.019	59.119
% de superficie a gravedad	87%	82%	49%	45%	45%	40%
% de superficie a presión	13%	18%	51%	55%	55%	60%
Volumen a servir desde el Aragón (hm ³)	662	608	579	650	715	709
Volumen a servir desde los Arbas (hm ³)	16	21	21	21	23	21
Demanda total (hm ³)	678	629	601	671	738	730
Alfalfa	28%	32%	38%	38%	38,3%	38%
Trigo	25%	26%	26%	26%	14,0%	26%
Maíz	19%	15%	6%	6%	23,5%	6%
Arroz	8%	11%	15%	15%	13,5%	15%
Cebada	9%	8%	7%	7%	4,6%	7%
Girasol	4%	1%	0%	0%	0,0%	0%
Otros cultivos	7%	7%	8%	8%	6,1%	8%

6 INFRAESTRUCTURAS DE REGULACIÓN

6.1 Infraestructuras de regulación existentes

Las infraestructuras de regulación previstas en los modelos de simulación son, por un lado, las ya existentes o en diferentes proceso de ejecución por la Administración y la Comunidad General de Bardenas, y por otro uno o dos de los nuevos embalses que este trabajo presenta.

Los embalses ya existentes o en ejecución son los de **Yesa**, tal y como se encuentra en la actualidad, y los embalses laterales alimentados con la red de transporte del sistema de Malvecino, Carcastillo y Laverné.

La presa de Malvecino ya ejecutada, tiene una capacidad aproximada de $7,23 \text{ hm}^3$ y regula los caudales circulantes por la Acequia de Cinco Villas ó A-2. En algunos escenarios se plantea la posibilidad de recrecer este embalse hasta una capacidad de 16 hm^3 , posibilidad esta ya apuntada por la Comunidad General de los Regantes del Canal de las Bardenas.

La presa de La Verné, ya en ejecución, tendrá una capacidad de $37,78 \text{ hm}^3$ y servirá para regular la Acequia de Sora ó A-5. Una parte del embalse previsto podrá atender la zona regable del sistema del Canal de Bardenas, mediante el bombeo de vuelta a la Acequia de Sora con una estación de bombeo de $10 \text{ m}^3/\text{s}$, y otra parte podrá ser atendida por gravedad.

El embalse de Carcastillo tiene prevista una capacidad de $5,3 \text{ Hm}^3$ y regulará los caudales existentes en la Acequia de Navarra ó A-1, situándose en el barranco de la Portillada .

6.2 Propuesta de nuevas infraestructuras de regulación

En el presente trabajo se ha realizado una labor de prospección de posibles nuevas cerradas y embalses en el interior de la zona regable o en sus proximidades, de tal forma que puedan almacenar agua procedente del sistema de Bardenas para luego servir a una zona regable dominada o bien reintegrarse a los canales y servir las superficies aguas abajo.

Se ha trabajado en esta línea asumiendo dos hechos:

- La capacidad de transporte actual del sistema de Bardenas está derivando en la época de riegos un volumen de más de 600 hm^3 de los 1.411 hm^3 que aporta como media el río. Expresado gráficamente, el río Aragón al salir de Yesa se desdobra en dos ramales. Dentro del sistema se puede aprovechar los periodos ociosos del canal, fuera de los meses de riego para llenar embalses internos.
- Es fundamental dejar libre los ejes de los ríos para no romper su dinámica como ecosistema. Esto nos lleva a desechar una ampliación de Yesa pero tambien otros

embalses que se podrían, en principio, llenar con aguas de Yesa como los de Biota y Luna en los Arbas. Así como el de Sangüesa que también ha sido estudiado.

La regulación en embalses laterales supone una serie de ventajas añadidas

* Sociales en la comarca afectada:

- .- La solución al conflicto histórico,
- .- La asunción de un menor riesgo por rotura de presa,
- .- El equilibrio territorial. Las infraestructuras de impacto social son soportadas por los propios beneficiarios.
- .- Económicas. La flexibilidad y economía de pequeñas soluciones que se distribuyen en el tiempo ante escenarios de demandas inciertos.

* Para la zona beneficiada

- .- El agua almacenada en los polígonos esta garantizada de forma “estructural” para Bardenas. La almacenada en Yesa puede tener otros demandantes según la coyuntura política vigente en cada momento (reactivación del trasvase).
- .- Más flexibilidad ante cortes por accidentes en los canales principales
- .- Más flexibilidad para cubrir altas demandas puntuales y problemas de transporte en el canal

* Ambientales y patrimoniales

- .- En el entorno del actual Yesa al no destruirse patrimonio natural ni histórico como se ha descrito anteriormente
- .- La gestión de los materiales sólidos transportados fundamental para conseguir el buen estado ecológico de los ríos tal como marca la Directiva Marco del Agua es mucho más fácil de conseguir técnicamente desde el Yesa actual que desde uno recrecido a cualquier

Se han situado ocho embalses con capacidades que oscilan de los 20 a los 173 hm³. Según los casos se llenan por gravedad y se vacían por gravedad (en ocasiones uno de los procesos permite aprovechamiento hidroeléctrico), en otros se llenan bombeando y se vacían turbinando, y en otros se llenan por gravedad y se vacían bombeando.

Una descripción somera de los ocho embalses aparece en la siguiente tabla. Información más detallada de cada uno de ellos se puede consultar en el anexo IV.

Características técnicas de los embalses estudiados:

Nombre	Sangüesa	Carcastillo 2	Erla O	Erla 1	Erla 2	Erla SE	Marracos	Orés (510)	Orés (495)
Situación	Sangüesa (Navarra)	Carcastillo (Navarra)	Ejea de los Caballeros (Zaragoza)	Ejea de los Caballeros (Zaragoza)	Ejea de los Caballeros (Zaragoza)	Luna y Sierra de Luna (Zaragoza)	Gurrea y Marracos (Zaragoza)	Orés (Zaragoza)	Orés (Zaragoza)
Capacidad (hm3)	64	32	22	36	20	73	173	122	60
Cota MEN (m.s.n.m.)	440	370	430	430	420	410	400	510	495
Superficie inundada (has.)	585	947	136	254	170	1160	1651	480	316
Origen de caudales	Río Onsella	Acequia de Navarra	Canal de Brdenas	Canal de Bardenas	Canal de Bardenas	Canal de Bardenas	Canal de Bardenas (final)	Canal de Bardenas	Canal de Bardenas
Método de llenado	gravedad	gravedad con turbinado	gravedad	gravedad	gravedad	gravedad con turbinado	gravedad con turbinado	bombeo	bombeo
altura de bombeo o turbinado (m)	0	20				15	30	57	37
Lugar de vaciado	Río Aragón	Acequia de Navarra	Comunidad IX	Comunidad IX	Comunidad IX	Acequia de Sora	Acequia de Sora	Canal de Bardenas	Canal de Bardenas
Método de vaciado	gravedad con turbinado	bombeo	gravedad con turbinado	gravedad con turbinado	gravedad con turbinado	bombeo	bombeo	gravedad con turbinado	gravedad con turbinado
altura de bombeo o turbinado (m)	21	22	33	25	23	19	36	57	37

Costes estimados de las presas estudiadas

Nombre	Sangüesa	Carcastillo 2	Erla O	Erla 1	Erla 2	Erla SE	Marracos	Orés (510)	Orés (495)
Método estandar planificación	17.883.499 €	11.514.850 €	20.775.204 €	21.698.133 €	16.713.920 €	21.878.087 €	24.650.037 €	57.880.796 €	34.596.464 €
Total CEDEX	15.090.813 €	5.370.106 €	21.844.747 €	22.460.224 €	16.236.585 €	15.915.849 €	15.555.905 €	90.220.958 €	43.904.243 €
Estimación DGA	11.321.004 €	3.841.644 €	17.836.556 €	17.822.666 €	12.468.271 €	11.610.676 €	11.554.543 €	77.975.635 €	37.081.217 €
Coste de ejecución material (promedio)	14.765.105 €	6.908.866 €	20.152.169 €	20.660.341 €	15.139.592 €	16.468.204 €	17.253.495 €	75.359.130 €	38.527.308 €
Presupuesto de ejecución por contrata (promedio)	20.523.496 €	9.603.324 €	28.011.515 €	28.717.874 €	21.044.033 €	22.890.804 €	23.982.358 €	104.749.191 €	53.552.958 €
Coste por metro cúbico almacenado (E/m3)	0,321 €	0,300 €	1,273 €	0,798 €	1,052 €	0,314 €	0,139 €	0,859 €	0,893 €
Ejecución por contrata en pesetas	3.414.453.035	1.597.685.867	4.660.219.800	4.777.735.267	3.501.053.672	3.808.297.227	3.989.896.944	17.426.913.326	8.909.498.528

La elección de los embalses a realizar depende de varios factores:

- Escenarios de demandas considerados.
- Capacidad de los mismos.
- Existencia de demanda aguas abajo del embalse (un embalse grande en un lugar donde ya no puede servir demanda no sirve para mucho).
- Existencia de capacidad de transporte para llenarse en los periodos ociosos de los canales.
- Impactos patrimoniales y ambientales.
- Coste de los mismos, tanto de ejecución como de explotación.

El análisis de estos factores nos ha hecho decantarnos por priorizar, en caso de que el escenario de demandas así lo exija, la construcción de la presa de Orés a una cota 495 msn, inferior a la cota máxima (510 msn) y el embalse de Marracos.

En la decisión de la elección de Marracos también pesa el hecho de que este mismo embalse puede servir como alternativa válida al embalse de Biscarrués para Riegos del Alto Aragón (ver anexos) con un menor coste social y ambiental.

Como más adelante se discutirá los modelos de simulación el sistema ha respondido adecuadamente a las demandas previstas introduciendo un embalse de Orés de 122 hm³ de capacidad. Este embalse es proporcionalmente más costoso que otros debido a la mayor altura de presa. Por otro lado, el embalse de Marracos tiene proporcionalmente menor coste. Cuando existiera definición a nivel de anteproyecto, podrían valorarse diversos escenarios de almacenar volúmenes de 120 a 200 hm³ entre Orés y Marracos que permitiera minimizar los costes de construcción y explotación asegurando la demanda.

7 COSTE DE LA ALTERNATIVA PROPUESTA

7.1 El coste de los embalses

En los estudios de planificación, las presas necesarias en el sistema pueden valorarse conforme diversos procedimientos. Nosotros hemos utilizado tres métodos diferentes:

- Un método estándar avalado por el CEDEX
- La estimación de un coste promedio de embalse de 12,72 €/m³ de volumen de presa, tal y como se propuso en documento anónimo presentado a la Comisión de obras conflictivas del Pacto del Agua bajo el título “Informe sobre el avance del estudio de alternativas al recrecimiento de Yesa” planteado por la Fundación Nueva Cultura del Aguas y la Asociación Río Aragón – Coagret”.

En la tabla de “Costes estimados de los embalses propuestos” se ofrecen los datos básicos con los que se calculan los costes de ejecución material de cada uno de los embalses y el coste de calculado por cada uno de los métodos. Los valores son siempre estimativos del orden de magnitud, y para afinarlos deberían definirse los embalses al menos a nivel de anteproyecto.

El coste asumido de ejecución material ha sido el promedio de los tres métodos sobre el que se ha aplicado un 39% de incremento para calcular el presupuesto de ejecución por contrata.

La construcción de Orés a cota 510 (122 hm³) se valora en 105 millones de € pero la construcción de Orés a cota 495 (volumen estimado de 60 hm³) y de Marracos a cota 400 (volumen de 173 hm³) con un volumen total de 233 hm³ alcanzaría un valor de 78 millones de €

7.1.1 Costes de explotación

En este apartado vamos a considerar exclusivamente los costes energéticos de los bombeos aminorados por el efecto de que se turbinan también caudales. Se considera que el precio de bombeo es de 9 ptas/kw.h de coste y el de turbinado de 8 ptas kw.h de beneficio. Los costes totales de llenar y vaciar una vez al año los dos embalses son:

	Bombeo	Turbinado	
Energía en Kw.h teórica	6.043.333,33	6.043.333,33	Kw.h
Eficiencia tecnológica	0,7	1,7	
Energía real empleada o generada (Kw.h)	17.033.333,33	9.301.833,33	Kw.h
Precio del Kw.h	-9	-8	ptas
Coste del bombeo o turbinado	153.300.000,00	74.414.666,67	ptas
Coste económico del proceso		-78.885.333,33	ptas
Coste económico por ha.		-758,51	ptas

El coste es de 79 millones de pesetas al año (474.000 €) equivalentes a 758 ptas por hectárea (4,56 €) o 0,66 ptas/m³ (4 céntimos de €/m³).

7.2 El coste de la modernización

Para el cálculo del coste de modernización de las 28.448 has propuestas (50% del regadío a manta existente en Bardenas, excluyendo a los tradicionales de los Arbas) se han considerado unos valores medios contrastados en diversas actuaciones.

La creación de balsas y extensión de tubería a presión hasta la parcela se estima en 5.500 €/ha, lo que hace un total de 156 millones de €

El amueblamiento en parcela se fija en 2.700 €/ha ascendiendo el total a 77 millones de €

La modernización es un proceso inevitable en el tiempo y que se puede considerar obligatorio en los escenarios a largo plazo con los que estamos trabajando. Independientemente de la opción política que se tome con el recrecimiento de Yesa, parece existir consenso en la necesidad de modernizar; y esto lo es por varias razones que mínimamente se describen:

- La forma de aminorar los graves problemas de capacidad de transporte del canal de Bardenas es poder regar con la mínima dotación de embalse. Dotaciones altas producen elevados caudales punta que no consiguen ser laminados por la existencia de los embalses laterales.
- El incremento de las producciones en los cultivos es notable.
- La comodidad para el regante y su calidad de vida se incrementan. Esto a su vez favorece el relevo generacional.
- Bardenas I puede verse progresivamente “abandonado” ante la competencia que en el propio sistema supone la existencia de un regadío a presión en Bardenas II.

La exigencia de esta modernización y la necesidad de un apoyo político más intenso es una demanda no sólo de los regantes, sino que genera posturas de consenso. En este sentido es necesario recordar que la Comisión del agua de Aragón en su plenario de 27 de septiembre de 2004 aprobó un dictamen sobre el recrecimiento de la cota de Yesa en el que en el capítulo “Elementos comunes asumidos” se afirma: “El sistema debe continuar realizando un importante esfuerzo para conseguir una gestión eficaz y sostenible de un recurso escaso como el agua. Esta promoción de uso eficiente, que debe ser contemplado como un proceso de acción dinámica en el tiempo, **hace que todas las soluciones posibles pasen por una modernización de los regadíos**, mejorando la canalización, transporte y distribución, así como la modernización en parcela.”

7.3 Comparativa con otras opciones

La propuesta de alternativas que se ofrece en el presente trabajo va a ser comparada con la que el 27 de septiembre de 2004 fue aprobada por la Comisión del Agua de Aragón que se basaba en un estudio técnico elaborado por Barbany (2004) titulado “Informe sobre el recrecimiento de Yesa” y encargado por el Instituto Aragonés del Agua.

En dicho trabajo, cubrir la demanda de 100.100 has de Bardenas y abastecer a Zaragoza precisa de:

- El recrecimiento de Yesa a cota 506,1 MEN sin modificar la cota de coronación del embalse a cota máxima que sigue siendo de 529 m.s.n.m.
- La construcción, aparte de los embalses laterales ya previstos por los regantes, de un nuevo embalse interno en el sistema, que el documento de Barbany denomina “embalse de cola” de 40 hm³ de capacidad
- La ampliación del canal de Bardenas. Barbany (2004) asume en todo momento que el canal de Bardenas posee una capacidad de 60 m³/s y estima la necesidad de recrecerlo “fácilmente” para llevar 64 m³/s (conclusión 6, página 54 del trabajo). Sin embargo, la realidad está alejada de una capacidad de transporte de 60 m³/s y la realidad de la explotación señala que no salen por el mismo más de 53 o 54 m³/s. Este importante hecho se discutirá ampliamente más adelante.

El presupuesto adjudicado al recrecimiento de Yesa a la UTE que forman ACS, Ferrovial Agroman y FCC, asciende a 114.430.532 €. Este valor de adjudicación es menor a los 138 millones de € que la Resolución de BOE del 8 de junio de 1999 anunciaba como presupuesto estimativo para el concurso de obra de recrecimiento, adenda de medidas correctoras de impacto ambiental y plan de restitución territorial.

El informe del Gobierno de Aragón no indica en su trabajo cuál va a ser ese embalse de 40 hm³, ni lo sitúa ni lo valora. Si consideramos que el de “Erla 1” propuesto por nosotros es adecuado, su coste estimado podría rondar los 29 millones de €

Del coste del recrecimiento del Canal de Bardenas no podemos hacer estimación.

Nuestro escenario contempla la posible ampliación del mismo número de hectáreas regadas con la construcción de Orés y Marracos.

Los problemas de transporte del Canal han sido asumidos y no se le pide más caudal que los 52-54 m³/s que puede dar. El poder regar con menos agua evita llegar a dotaciones por hectárea tan elevadas que superen la capacidad de transporte de los canales y el efecto laminador de los embalses internos.

Orés y Marracos pueden valorarse, como se ha discutido anteriormente, en unos 78 millones de €

El coste de modernizar 28.448 has en Bardenas es exigible en ambos escenarios.

Un resumen de los costes aparece en el siguiente cuadro:

Costes en millones de €	Escenario Cota Media	Escenario propio
Recrecimiento de Yesa	114	
Embalse de cola de 40 hm ³	29	
Recrecimiento del canal de Bardenas	¿?	
Embalses alternativa (Orés + Marracos)		78
Total	143	78

La diferencia de coste se estima en 65 millones de €(10.814 millones de pesetas).

Como ventaja añadida a nuestra propuesta, en el escenario de Marracos de 173 hm³, se podrían servir (llenándose de manera mixta Aragón-Gállego), unos 100 hm³ al Bajo Gállego, rescatando caudales para Riegos del Alto Aragón y sirviendo de alternativa al embalse de Biscarrués.

8 ANÁLISIS DE LAS POTENCIALIDADES HIDROLÓGICAS DEL SISTEMA YESA-BARDENAS

En este apartado se contrasta para los escenarios de cultivos y necesidades hídricas planteados en el “Anexo II Análisis de los requerimientos (Demandas)” las disponibilidades de los recursos hídricos existentes para el sistema Yesa-Bardenas, principalmente los embalses de Yesa y los embalses laterales de Malvecino, La Verné, Carcastillo y los que a lo largo de este trabajo se vayan incluyendo. Es decir, a partir de los caudales que se almacenan en el embalse de Yesa se intenta comprobar si estos son suficientes para atender los requerimientos de los usuarios existentes. Los usuarios están comprendidos por: usos urbanos, usos agrícolas, usos industriales y aprovechamientos hidroeléctricos.

Los escenarios son un conjunto de hipótesis susceptibles de convertirse en realidad con el tiempo según evolucionen parámetros tales como caudales disponibles en el río Aragón por encima de Yesa, cultivos que se siembren en la zona de Bardenas, construcción o no de determinadas infraestructuras, además del conjunto de infraestructuras ya existentes, tales como embalses, canales y centrales hidroeléctricas.

Este proceso se lleva a cabo mediante modelos matemáticos de simulación que intentan reflejar los diferentes escenarios planteados. Para la realización de las simulaciones se ha empleado un paquete informático de modelización matemática para cuencas complejas. De los muchos existentes en el mercado se ha optado por el software desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia: el modelo matemático SMGES.

De esta forma se puede analizar la disponibilidad de caudales para atender los diferentes usos que existen en Bardenas.

8.1 Capacidad de conducción del canal de Bardenas:

El Canal de las Bardenas es la arteria principal del sistema Yesa-Bardenas. Se trata de la conducción que sirve los caudales almacenados en Yesa a regadíos, abastecimientos urbanos e industria. Por lo tanto, se trata de una pieza fundamental en el sistema que se está analizando.

En el “Informe sobre el recrecimiento de Yesa” de abril de 2004 presentado por el Gobierno de Aragón también se emplea un modelo de simulación para analizar las posibilidades del embalse de Yesa una vez haya sido recrecido. En su planteamiento asigna una capacidad de $64 \text{ m}^3/\text{seg}$ al Canal de las Bardenas.

Sin embargo en la planificación oficial, Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro, Plan Hidrológico Nacional, la capacidad empleada fue de $60 \text{ m}^3/\text{seg}$, que en principio es la que debería tener.

Para la elaboración del presente estudio se ha consultado a diversos expertos en el sistema Yesa-Bardenas, y la opinión generalizada de los mismos ha sido que dicho canal puede transportar, con total garantía 52 m³/seg, y que las únicas veces que ha llevado 60 m³/seg ha sido cuando se han hecho pruebas en el sistema. No obstante, también podría soportar un caudal de 54 m³/seg, pero no de manera continua durante los meses de julio y agosto.

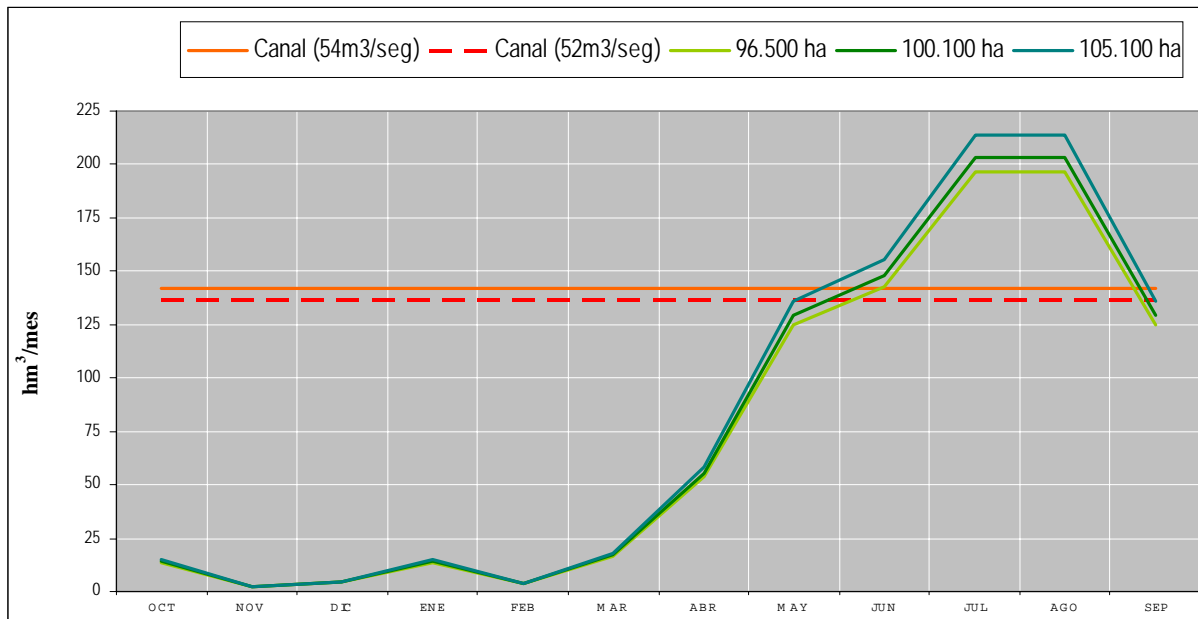
Se trata por tanto de un dato de especial trascendencia. Para la elaboración del presente trabajo se ha solicitado a los organismos oficiales competentes que nos indicaran cual es la capacidad de transporte máxima del Canal de las Bardenas, pero hasta la fecha de redacción de este documento no se ha recibido contestación oficial.

Se considera la opinión de los expertos consultados con suficiente peso como para ser tenidas en cuenta, máxime si se trata de personas relacionadas con la explotación de dicho canal.

Por tanto, parece lógico utilizar como capacidad máxima la de 52 m³/seg, o a lo sumo 54 m³/seg.

En el siguiente gráfico se contrasta la capacidad del canal frente a las demandas mensuales, según las dotaciones planteadas en el Informe del Gobierno de Aragón.

La línea recta discontinua representa la capacidad del canal de 52 m³/seg; la línea recta continua por encima de la anterior representa una capacidad de conducción de 54 m³/seg. La primer curva representa la modulación mensual de demandas para un escenario de 95.600 hectáreas. La siguiente curva lo hace para 100.100 hectáreas. La curva más alta refleja la modulación mensual de la demanda de 105.100 hectáreas, que son los tres escenarios de hectáreas manejados en el mencionado informe.



Como puede observarse las demandas a atender durante los meses de junio, julio y agosto son superiores a la capacidad que tiene el canal para atenderlas.

La solución propuesta en el propio informe ha sido bien aumentar la capacidad del canal o bien hacer embalses laterales en el sistema de riego, inclinándose por ésta última alternativa.

Para ver la incidencia que la capacidad del canal puede tener en los escenarios presentados, en el mencionado informe, se han repetido las simulaciones que en el mismo se incluyen, pero introduciendo una capacidad de conducción del canal de Bardenas más acorde a su explotación diaria de $52 \text{ m}^3/\text{seg}$. Y los resultados obtenidos son bastante reveladores.

Para los escenarios de 95.600 hectáreas la garantía de suministro es del 5,6%, sirviéndose como máximo el 87% del volumen requerido. Esta garantía es inaceptable y no se pueden atender las necesidades fundamentalmente en los meses de julio y agosto.

En el caso de que se tratara de 100.100 hectáreas la garantía de suministro es del 1,8%, y tan solo se sirve un 84% del volumen demandado.

Cuando nos situamos en el umbral de las 105.000 hectáreas la garantía de suministro es nula. Lo que representa una quiebra total del sistema.

Cuando en estos escenarios se introduce un embalse lateral en el sistema de riego que pueda superar las deficiencias del canal se obtienen los siguientes resultados.

Para los escenarios de 95.600 hectáreas se hace necesario introducir un embalse lateral de aproximadamente 60 hm^3 de capacidad para obtener una garantía de suministro del 80%. Garantía ésta mínimamente aceptable.

Cuando no situamos en el entorno de de las 100.100 hectáreas en embalse lateral ha de tener una capacidad de aproximadamente 100 hm^3 para alcanzar una garantía del 84%.

Se concluye por tanto que el canal debido a su capacidad de conducción se muestra como un auténtico cuello de botella, impidiendo atender los requerimientos en los meses de máxima demanda. Siempre dentro de los escenarios del informe referido y con una capacidad máxima del canal entre 52 y $54 \text{ m}^3/\text{seg}$. Aunque esta capacidad de $54 \text{ m}^3/\text{seg}$ es poco probable que se mantenga continuamente durante un periodo muy largo de dos meses seguidos.

Otra cuestión relevante es la ubicación del mencionado embalse, pues la garantía varía dependiendo cual sea su ubicación. Además, no se ha tenido en cuenta el coste de este nuevo embalse.

A la vista de estos resultados parece aconsejable que el Gobierno de Aragón revise el informe presentado para que tenga en cuenta los condicionantes debidos a la falta de capacidad de transporte. Por que lo que está meridianamente claro es que el Canal de las Bardenas no tiene una capacidad de $64 \text{ m}^3/\text{seg}$, a no ser que se recrezca, cuestión ésta que el propio informe desaconseja, por el elevado coste y los impactos medioambientales que conlleva dicho recrecimiento.

8.2 Elementos considerados en los modelos de simulación.

8.2.1 Aportaciones

Las aportaciones consideradas en los modelos de simulación son, sin lugar a dudas, el elemento más importante, pues en ellas se recogen los caudales de que dispone el sistema susceptibles de ser empleados en diferentes usos.

Hemos optado por emplear la serie empleada por el Gobierno de Aragón en su informe, por una razón muy sencilla: los resultados de las simulaciones que se obtengan serán fácilmente comparables con los obtenidos con el Informe sobre el recrecimiento.

A la hora de la comparabilidad habrá que tener en cuenta dos cuestiones: la capacidad de transporte del Canal de las Bardenas y el dato que dice que las series de aportaciones tales como la empleada favorecen la construcción de grandes embalses para laminar avenidas.

8.2.2 Características técnicas de los embalses en los modelos de simulación

Para la introducción de estos embalses en los modelos de simulación se han tenido en cuenta sus características técnicas de capacidad y sus reglas de gestión. En cuanto a los volúmenes de partida tan solo se ha supuesto que Yesa tiene un volumen inicial de 80 hm³. Para el resto de embalses introducidos se ha partido de un volumen inicial de Cero.

Para el resto de embalses simulados se han respetado sus capacidades máximas teniendo en cuenta el resguardo para avenidas.

8.2.3 Infraestructura de transporte

La principal infraestructura de transporte es el canal de Bardenas, además de las acequias interiores del sistema. Aunque a la salida de Yesa el canal tiene una capacidad de 90 m³/seg se reduce inmediatamente a 60 m³/seg. Sin embargo debido principalmente a su trazado y los numerosos túneles y acueductos por los que discurre en la práctica se le supone una capacidad máxima de 52 m³/seg, aunque en ocasiones puede llegar hasta 54 m³/seg.

En las simulaciones efectuadas se ha supuesto que la capacidad máxima es de 52 m³/seg, para quedar del lado de la seguridad.

8.2.4 Aprovechamientos Hidroeléctricos

Para el análisis llevado a cabo nos centramos en conocer el potencial de generación hidroeléctrica del embalse de Yesa actual suponiendo que existen las centrales que técnicamente están previstas. Su potencial se ha calculado ubicando una central hidroeléctrica que turbinas los caudales que salen con destino al río y otra que hace lo propio con los caudales que discurren por el canal de Bardenas.

En cuanto a las eficiencias de las turbinas y el generador se ha supuesto del 90%.

8.2.5 Explicación de las Garantías

Garantía mensual: indica el porcentaje de meses en los que la demanda mensual es atendida al 100%.

Garantía volumétrica: indica el tanto por ciento del volumen que se sirve del total demandado.

Garantía de suministro: indica la garantía anual para una demanda de agua en base a dos criterios:

- .- que ningún mes de ese año tenga un déficit superior al 30%.
- .- que el volumen servido durante un año sea superior al 90%.

8.3 Escenarios de simulación

Los escenarios planteados tienen en cuenta los elementos comentados anteriormente y se basan en las siguientes hipótesis:

Situación Actual: Partiendo de la situación actual se analiza los efectos que para el sistema Yesa-Bardenas tiene la puesta en servicio del embalse de Malvecino 7 hm³ (también se ensayará su recrecimiento a 16 hm³), de Laverné 37 hm³ y Carcastillo de 5,3 hm³. En este escenario la estructura de cultivos y sus necesidades hídricas son las comentadas en el apartado 5.7.1. del anexo III Análisis de los requerimientos (Demandas).

Posteriormente se introduce el abastecimiento de aguas a Zaragoza y se analiza el impacto que el mismo tendrá en los regadíos de Bardenas si entrara en vigor en un muy corto periodo de tiempo.

Horizonte 2008: Pasaremos a situarnos en el horizonte 2008. donde la estructura de cultivos y necesidades hídricas es la comentada en el apartado 5.7.2. del anexo III Análisis de los requerimientos (Demandas).

Horizonte 2015: Para el horizonte del año 2015 se introducen los supuestos del apartado 5.7.3. del anexo III Análisis de los requerimientos (Demandas). Se trata de un escenario de estructura de cultivos mas demandadores de agua, pero a la vez se ha producido un proceso de modernización en Bardenas I de 28.000 hectáreas.

Horizonte 2020: El horizonte 2020 es el que se recoge en el apartado 5.7.4. del anexo III Análisis de los requerimientos (Demandas). Nos situamos en la hipótesis de 90.000 hectáreas de regadío. Cultivos mas demandantes de agua, pero se tiene en cuenta la modernización del supuesto anterior. Es en este escenario donde se ha introducido el embalse de Orés como alternativa al recrecimiento de Yesa.

La elección de la cota de Orés puede variar en función de ver la necesidad de introducir el embalse de Marracos. Entre ambos han de suponer una capacidad aproximada de 122 hm³. En resumen, estamos hablando de un embalse en Orés de 60 hm³ y otro en Marracos de 177 hm³, del que solo se emplea 62 hm³, sirviendo el resto para una alternativa al embalse de Biscarrues. Pero el volumen manejado entre los dos ha de sumar 122 Hm³

Horizonte 2020 Plus: Para comprobar la capacidad del sistema y dentro del planteamiento anterior se introduce la hipótesis de unos cultivos más demandantes de agua. Los embalses alternativos a introducir han de suponer una capacidad de almacenamiento de 122 hm³. Que bien puede ser un Orés de 60 hm³ y aprovechar otros 62 hm³ en Marracos. Sus planteamiento en cuanto a cultivos aparecen explicados en el apartado 5.7.5. del anexo III Analisis de los requerimientos (Demandas).

Horizonte Bardenas III: En la última hipótesis planteada se introduce la posibilidad de atender a 100.100 hectáreas en el sistema Yesa-Bardenas. Los embalses introducidos vuelven a ser Orés y Malvecino para que entre ambos se llegue a una capacidad de 122 hm³. Planteamiento del apartado 5.7.6. del anexo III Análisis de los requerimientos (Demandas).

8.4 Resultados del proceso de simulación

8.4.1 Escenario "SITUACIÓN ACTUAL":

Yesa SIN RECRECER: capacidad de 447 hm³, embalse muerto 35 hm³;
Hectáreas en riego: 76.239;
Eficiencia en el riego por gravedad: 51%;
Eficiencia en el riego a presión: 72%;
Modernización: NO se incluye en el escenario actual;
Estructura de cultivos: Dotación Neta 4.722 m³/ha/año;
Dotación Objetiva: 8.680 m³/ha/año;
Capacidad del Canal: 52 m³/seg (136'6 hm³/mes);

Este escenario intenta reflejar cual es la situación actual del sistema de riego en Bardenas. Entorno a 76.000 hectáreas que se riegan en la actualidad con una estructura de cultivos que se corresponde con la de los últimos dos años.

De las salidas del embalse de Yesa el 54% se va al río para el mantenimiento de caudales, siendo el 46% restante el que sale por el canal de las Bardenas.

Los resultados obtenidos nos indican que el volumen de agua servido supone un 95% del requerido (como media 628'6 hm³ de los 661'8 hm³ demandados), obteniéndose una garantía mensual del 92%, en los periodos muy secos el sistema se resiente haciendo que los agricultores tengan que disminuir la dotación por hectárea, modificar la estructura de los cultivos e incluso teniendo que retirar algunas tierras, esto se confirma al obtenerse una garantía de suministro del 75%.

A pesar de todo el sistema la garantía mensual de 92% nos indica que en la inmensa mayoría de los meses el agua requerida por los agricultores es atendida satisfactoriamente por el sistema. Sólo en periodos de dos o más años de sequía el sistema se resiente.

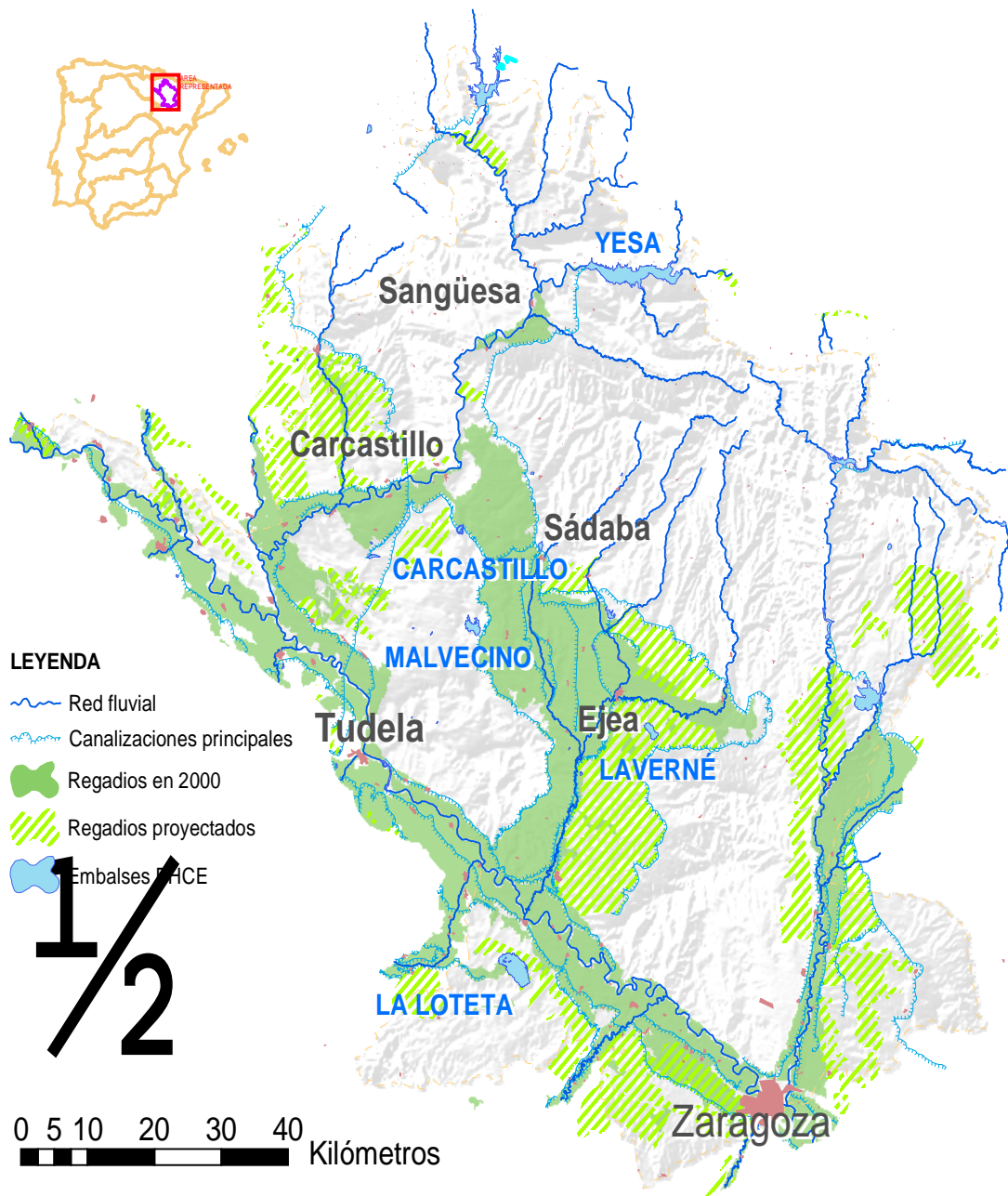
Los caudales que circularán por el río aguas debajo de Yesa son en media alrededor 751 hm³, que permiten mantener estado ecológico natural del río.

Resumen de resultados:

	hm ³ /año	Volumen Requerido (hm ³ /año)	Dotación objetivo (m ³ /ha/a)	Garantía Volumétrica (%)	Garantía Mensual (%)	Garantía Suministro (%)
SALIDAS de YESA	1.391,2					
Salida al Canal de Bardenas	640,2					
Regadío Bardenas	628,6	661,8	8.680	95%	92%	75%
Abastecimiento Bardenas	4,0	4,0		99%	99%	98%
Uso Industria	7,7	8,3		92%	92%	60%
Abastecimiento Zaragoza	0,0					
RESERVA	0,0					
Salida al Río	751,0					
Regadío Tradic. Aragón Bajo	252,3	252,3		100%	100%	100%
Energía Producida:	156,1	GWh/año				

8.4.1.1 Situación actual pero con los embalses de regulación interna previsto en la planificación oficial

Yesa SIN RECRECER: capacidad de 447 hm³, embalse muerto 35 hm³;
Malvecino recrecido (16 hm³), **La Verné** (37 hm³), **Carcastillo** (5'3 hm³);
Hectáreas en riego: 76.239;
Eficiencia en el riego por gravedad: 51%;
Eficiencia en el riego a presión: 72%;
Modernización: NO se incluye en el escenario actual;
Estructura de cultivos: escenario de Dotación Neta 4.722 m³/ha/año;
Dotación Objetivo: 8.680 m³/ha/año;
Capacidad del Canal: 52 m³/seg (136'6 hm³/mes);
Caudal Ambiental: al menos los 8 m³/seg como caudal básico mínimo,



Los nuevos embalses laterales se llenan con agua de invierno que no ha sido necesario regular en Yesa.

La introducción de los embalses laterales mejora sustancialmente las posibilidades del sistema de Bardenas: las demandas son atendidas al 97%, es decir, de los 661'8 hm³ requeridos se sirven de media 641,5 hm³.

El dato más revelador es la garantía del suministro que se eleva del 75% al 89%. Ahora ante periodos de sequía el sistema responde mejor almacenando más agua para hacerle frente.

La introducción de embalses laterales de regulación mejoran considerablemente la garantía de riego. Es decir, estos embalses no suponen un aumento de regulación real en el sistema, pero suponen un aumento importantísimo de la garantía de suministro.

Resumen de resultados:

	hm ³ /año	Volumen Requerido (hm ³ /año)	Dotación objetivo (m ³ /ha/a)	Garantía Volumétrica (%)	Garantía Mensual (%)	Garantía Suministro (%)
SALIDAS de YESA	1.391,8					
Salida al Canal de Bardenas	653,5					
Regadío Bardenas	641,5	661,8	8.680	97%	95%	89%
Abastecimiento Bardenas	4,0	4,0		99%	99%	98%
Uso Industria	7,9	8,3		95%	95%	71%
Abastecimiento Zaragoza	0,0					
RESERVA	0,2					
Salida al Río	738,3					
Regadío Tradic. Aragón Bajo	252,3	252,3		100%	100%	100%
Energía Producida:	156,0	GWh/año				

En cuanto a los caudales que salen de Yesa con destino al río son los que aparecen en la siguiente gráfica, en la que se indica con una línea los caudales ambientales calculados por el método del Caudal Básico. Se puede observar que se atienden perfectamente un caudal medioambiental con sus caudales de mantenimiento y generadores que ayuden a mantener el estado ecológico natural del río Aragón.

8.4.1.2 situación actual con los embalses laterales previsto en la planificación oficial y el abastecimiento a zaragoza

Yesa SIN RECRECER: capacidad de 447 hm³, embalse muerto 35 hm³;
 Malvecino recrecido (16 hm³), La Verné (37 hm³), Carcastillo (5'3 hm³);
 Hectáreas en riego: 76.239;
 Eficiencia en el riego por gravedad: 51%;
 Eficiencia en el riego a presión: 72%;
 Modernización: NO se incluye en el escenario actual;
 Estructura de cultivos: escenario de Dotación Neta 4.722 m³/ha/año;
 Dotación Objetivo: 8.680 m³/ha/año;
 Capacidad del Canal: 52 m³/seg (136'6 hm³/mes);
 Caudal Ambiental: al menos los 8 m³/seg como caudal básico mínimo;
 Abastecimiento a Zaragoza desde La Loteta con aguas del río Aragón;

En el caso anterior hemos visto que el sistema había ganado en garantía al introducirse los embalse laterales, pretendemos ahora comprobar que efecto tiene sobre el sistema actual la traída de agua a Zaragoza desde el embalse de La Loteta, que se llena con aguas de invierno que circulan primero por el Canal de Bardenas y posteriormente por la acequia de Sora.

La garantía de suministro es del 84%, es decir, en el 84% de los años se atiende plenamente la demanda para regadío.

El volumen suministrado ahora es el 96% del requerido y por el canal de Bardenas circulan de media 636'7 hm³ para usos agrarios.

Como vemos la introducción del abastecimiento a Zaragoza, siempre que su regulación se efectúe en el embalse de La Loteta, no tiene una incidencia desiva en el sistema de riego Yesa-Bardenas.

Resumen de Resultados:

	hm ³ /año	Volumen Requerido (hm ³ /año)	Dotación objetivo (m ³ /ha/a)	Garantía Volumétrica (%)	Garantía Mensual (%)	Garantía Suministro (%)
SALIDAS de YESA	1.390,2					
Salida al Canal de Bardenas	729,0					
Regadío Bardenas	636,7	661,8	8.680	96%	94%	84%
Abastecimiento Bardenas	4,0	4,0		99%	99%	98%
Uso Industria	7,8	8,3		94%	94%	70%
Abastecimiento Zaragoza	78,9	78,9		100%	100%	100%
RESERVA	1,5					
Salida al Río	661,2					
Regadío Tradic. Aragón Bajo	252,3	252,3		100%	100%	100%
Energía Producida:	158,8	GWh/año				

El régimen de caudales que circulan por el río es suficiente para mantener su estado ecológico natural, siendo un total de 661 hm³ al año como media.

8.4.2 Escenario "HORIZONTE AÑO 2008":

Yesa SIN RECRECER: capacidad de 447 hm³, embalse muerto 35 hm³;
 Malvecino recrecido (16 hm³), La Verné (37 hm³), Carcastillo (5'3 hm³);
 Hectáreas en riego: 80.024;
 Eficiencia en el riego por gravedad: 60%;
 Eficiencia en el riego a presión: 72%;
 Modernización: NO se incluye en el escenario Horizonte 2008;
 Estructura de cultivos: escenario de Dotación Neta 4.834 m³/ha/año;
 Dotación objetivo: 7.680 m³/ha/año;
 Capacidad del Canal: 52 m³/seg (136'6 hm³/mes);
 Caudal Ambiental: al menos los 8 m³/seg como caudal básico mínimo;
 Abastecimiento a Zaragoza desde La Loteta con aguas del río Aragón;

En el horizonte del año 2008 se considera que estarán puestas en riego unas 80.024 hectáreas en el conjunto del sistema Yesa-Bardenas, conforme a la previsiones del Plan Nacional de Regadíos. También es previsible que la estructura de cultivos se modifique conforme a lo que hemos denominado "Horizonte 2008".

Por tanto la principal novedad de este escenario es la modificación de la estructura de cultivo, lo cual supone un cambio en las necesidades netas de los cultivos situándose ahora en 4.834 m³/ha/año. Además, se considera que se ha producido una mejora en la eficiencia de riego, por un adecuado manejo del riego situándose ahora en el riego por gravedad en el 60%. Todavía no se ha introducido la hipótesis de modernización del regadío.

Por otra parte hay que destacar que aun cuando hay más hectáreas en riego una adecuado manejo del mismo permite alcanzar mayores niveles de eficiencia para situarnos en un nivel del 60% de eficiencia acorde con la planificación oficial para el regadío en este horizonte del 2008. Pues bien con este aumento en la eficiencia se puede atender a un mayor número de hectáreas. Ahora la demanda se sitúa en los 614'6 hm³/año.

Los resultados de la simulación nos indican que se sirven, en media, del orden del 98% de los 614'6 hm³/año requeridos, con una garantía de suministro de 89% por cierto.

Resumen resultados:

	hm ³ /año	Volumen Requerido (hm ³ /año)	Dotación objetivo (m ³ /ha/a)	Garantía Volumétrica (%)	Garantía Mensual (%)	Garantía Suministro (%)
SALIDAS de YESA	1.388,8					
Salida al Canal de Bardenas	693,0					
Regadío Bardenas	601,1	614,6	7.680	98%	97%	89%
Abastecimiento Bardenas	4,0	4,0		100%	99%	98%
Uso Industria	8,1	8,3		97%	97%	84%
Abastecimiento Zaragoza	78,9	78,9		100%	100%	100%
RESERVA	0,9					
Salida al Río	695,7					
Regadío Tradic. Aragón Bajo	252,3	252,3		100%	100%	100%
Energía Producida:	162,0	GWh/año				

8.4.3 Escenario "HORIZONTE AÑO 2015"

Yesa SIN RECRECER: capacidad de 447 hm³, embalse muerto 35 hm³;
Malvecino recrecido (16 hm³), La Verné (37 hm³), Carcastillo (5'3 hm³);
Hectáreas en riego: 80.024;
Eficiencia en el riego por gravedad: 64%;
Eficiencia en el riego a presión: 72%;
Modernización: 50% de hectáreas que se riegan por gravedad, excepto en huerta trad.;
Estructura de cultivos: escenario de Dotación Neta 5.041;
Dotación Objetivo: 7.304 m³/ha/año;
Capacidad del Canal: 52 m³/seg (136'6 hm³/mes);
Caudal Ambiental: al menos los 8 m³/seg como caudal básico mínimo;
Abastecimiento a Zaragoza desde La Loteta con aguas del río Aragón;

Este escenario tiene como novedad el cambio en la estructura de cultivos, la cual supone una mayor dotación neta al situarse en 5.041 (dotación objetivo de salida de embalse de 7.304m³/ha/año), se trata por tanto de una estructura de cultivos más exigente. La modernización también supone una modificación respecto al escenario del 2008, esta modernización afecta al 50% de los cultivos que se riegan por gravedad exceptuándose los regadíos de las huertas tradicionales, es decir, la modernización afecta a 28.000 ha.

Los resultados de la simulación nos indican que se destinan un promedio anual al sistema de riego Yesa-Bardenas de 575 hm³/año, es decir, un 98% de lo demandado. La garantía del suministro es del 93%.

También se ha ensayado la introducción de regulación en tránsito adicional, cualquiera de los embalses alternativos, y se ha visto que se conseguía aumentar la garantía de suministro al 98%. En un análisis de coste-eficiencia realizado, en principio, y para este horizonte hace desaconsejable la introducción de infraestructuras de regulación adicional. Estas se introducirán en los escenarios de 90.000 hectáreas

Resultados obtenidos:

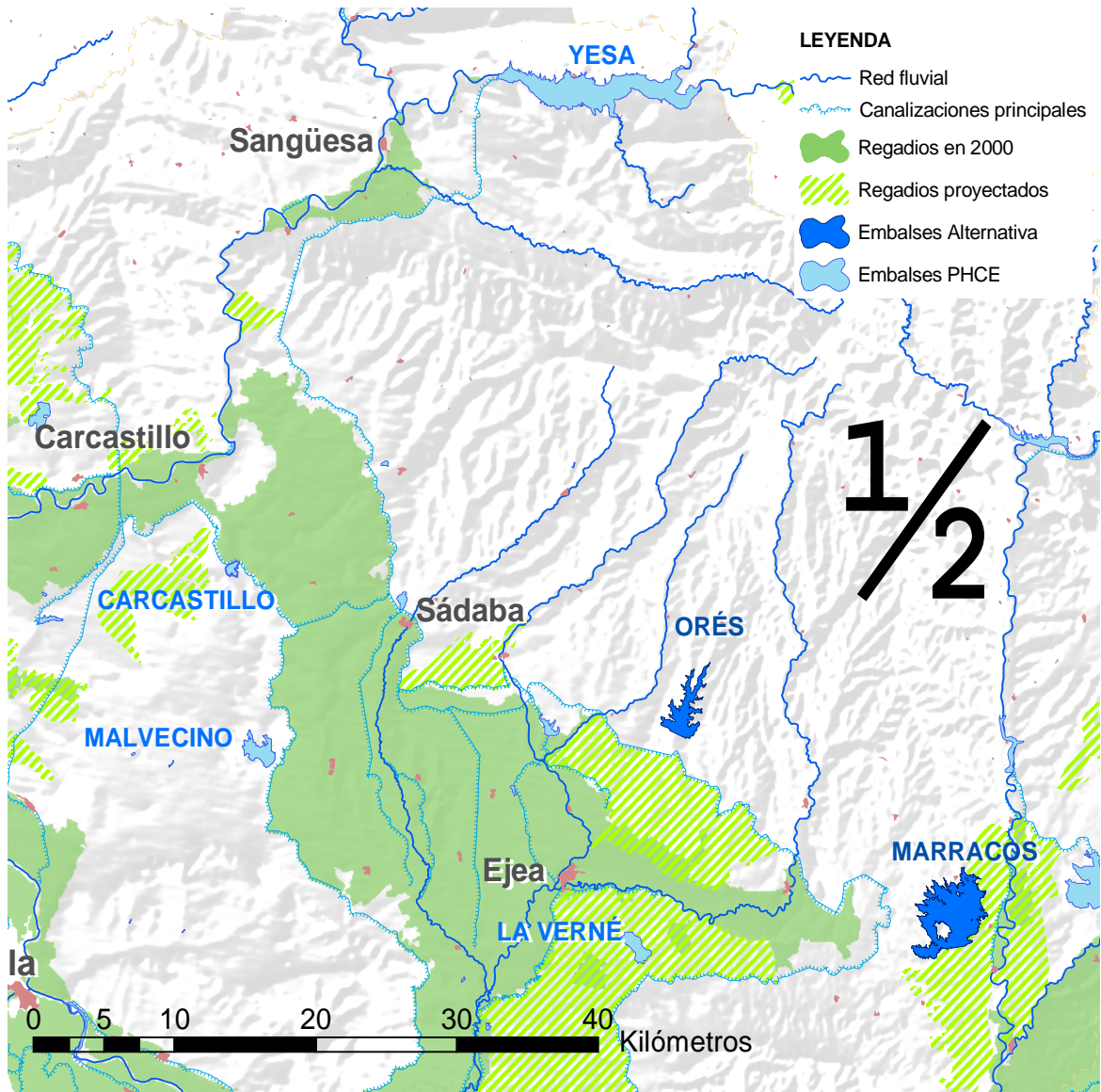
	hm ³ /año	Volumen Requerido (hm ³ /año)	Dotación objetivo (m ³ /ha/a)	Garantía Volumétrica (%)	Garantía Mensual (%)	Garantía Suministro (%)
SALIDAS de YESA	1.387,8					
Salida al Canal de Bardenas	668,0					
Regadío Bardenas	575,5	584,5	7.304	98%	98%	93%
Abastecimiento Bardenas	4,0	4,0		100%	100%	98%
Uso Industria	8,2	8,3		98%	98%	91%
Abastecimiento Zaragoza	78,9	78,9		100%	100%	100%
RESERVA	1,3					
Salida al Río	719,9					
Regadío Tradic. Aragón Bajo	252,3	252,3		100%	100%	100%
Energía Producida:	170	GWh/año				

Los 719 hm³ al año que de promedio salen al río permiten cumplir el objetivo medioambiental de mantenimiento del estado ecológico natural del río Aragón.

8.4.4 Escenario "HORIZONTE 2020":

Yesa SIN RECRECER: capacidad de 447 hm³, embalse muerto 35 hm³;
Malvecino recrecido (16 hm³), **La Verné** (37 hm³), **Carcastillo** (5'3 hm³);
NUEVOS EMBALSES: Orés (60 hm³) y Marraacos (62 hm³);
Hectáreas en riego: 89.941;
Eficiencia en el riego por gravedad: 64%;
Eficiencia en el riego a presión: 72%;
Modernización: 50% de modernización en el riego por gravedad, excepto en huerta trad.;
Estructura de cultivos: escenario de Dotación Neta 5.041;
Dotación Objetivo: 7.950 m³/ha/año;
Capacidad del Canal: 52 m³/seg (136'6 hm³/mes);
Caudal Ambiental: al menos los 8 m³/seg como caudal básico mínimo;
Abastecimiento a Zaragoza desde La Loteta con aguas del río Aragón;

La situación geográfica de los nuevos embalses puede observarse en el mapa siguiente:



En el horizonte del año 2020 nos situamos en el entorno de las 90.000 hectáreas y una estructura de cultivos bastante exigente. Las necesidades netas son ahora de 5.041 m³/ha/año. La demanda para este escenario es de 656'940 hm³/año.

Los resultados de la simulación indican que se sirven 646'5 hm³/año de media con una garantía de suministro del 94%. En definitiva se está sirviendo el 98% del volumen demandado con una garantía mensual del 98%, es decir, en el 98% de los meses los caudales requeridos son atendidos en su totalidad.

Resumen Resultados:

	hm ³ /año	Volumen Requerido (hm ³ /año)	Dotación objetivo (m ³ /ha/a)	Garantía Volumétrica (%)	Garantía Mensual (%)	Garantía Suministro (%)
SALIDAS de YESA	1.387,0					
Salida al Canal de Bardenas	739,6					
Regadío Bardenas	646,5	656,9	7.304	98%	98%	94%
Abastecimiento Bardenas	4,0	4,0		100%	100%	98%
Uso Industria	8,3	8,3		100%	100%	98%
Abastecimiento Zaragoza	78,9	78,9		100%	100%	100%
RESERVA	1,8					
Salida al Río	647,4					
Regadío Tradic. Aragón Bajo	252,3	252,3		100%	100%	100%
Energía Producida:	172	GWh/año				

En cuanto a los caudales que salen con destino al río Aragón aguas debajo de Yesa se pueden observar en la gráfica siguiente. Donde se ve claramente que cumplen el régimen de caudales medioambientales establecido con el criterio del Caudal Básico. Se producen en el río la crecidas habituales, por lo que se puede considerar que el objetivo del estados ecológico natural del río se logra.

8.4.5 Escenario "HORIZONTE 2020 PLUS":

Yesa SIN RECRECER: capacidad de 447 hm³, embalse muerto 35 hm³;
Malvecino recrecido (16 hm³), **La Verné** (37 hm³), **Carcastillo** (5'3 hm³);
NUEVOS EMBALSES: **Orés** (60 hm³) y **Marracos** (62 hm³);
Hectáreas en riego: 89.941;
Eficiencia en el riego por gravedad: 64%;
Eficiencia en el riego a presión: 72%;
Modernización: 50% de modernización en el riego por gravedad, excepto en huerta trad.;
Estructura de cultivos: escenario de Dotación Neta 5.542;
Dotación Objetivo: 7.950 m³/ha/año;
Capacidad del Canal: 52 m³/seg (136'6 hm³/mes);
Caudal Ambiental: al menos los 8 m³/seg como caudal básico mínimo;
Abastecimiento a Zaragoza desde La Loteta con aguas del río Aragón;

Suponemos en este caso que tenemos una estructura de cultivos aun mas exigente que en el caso anterior, pues ahora la dotación neta de la estructuras de cultivos es de 5.542 m³/ha/año. Intentamos contrastar la potencialidad del sistema Yesa-Bardenas junto con los nuevos embalse de Orés (a capacidad de 60 hm³) y Marracos (con capacidad de 62 hm³). Los embalses introducidos podrían llenarse aún más, sin embargo con estas capacidades en principio son suficiente.

De los 715'1 hm³ que en media se demandan se atiende un 97%, es decir, 692,6 hm³ al año de media. Además, se atienden los requerimientos con una garantía de suministro del 88%.

Resumen resultados:

	hm ³ /año	Volumen Requerido (hm ³ /año)	Dotación objetivo (m ³ /ha/a)	Garantía Volumétrica (%)	Garantía Mensual (%)	Garantía Suministro (%)
SALIDAS de YESA	1.388,4					
Salida al Canal de Bardenas	785,2	0,6				
Regadío Bardenas	692,6	715,1	7.950	97%	96%	88%
Abastecimiento Bardenas	4,0	4,0		100%	100%	98%
Uso Industria	7,9	8,3		95%	100%	98%
Abastecimiento Zaragoza	78,9	78,9		100%	100%	100%
RESERVA	1,8					
Salida al Río	603,1	0,4				
Regadío Tradic. Aragón Bajo	252,3	252,3		100%	100%	100%
Energía Producida:	180	GWh/año				

Las salidas al río Aragón (603 hm³ de media) mantienen el caudal ambiental:

8.4.6 Escenario "HORIZONTE BARDENAS III"

Yesa SIN RECRECER: capacidad de 447 hm³, embalse muerto 35 hm³;
Malvecino recrecido (16 hm³), La Verné (37 hm³), Carcastillo (5'3 hm³);
NUEVOS EMBALSES: Orés (60 hm³) y Marracos (62 hm³);
Hectáreas en riego: 100.041;
Eficiencia en el riego por gravedad: 64%;
Eficiencia en el riego a presión: 72%;
Eficiencia Global del Sistema: 71%
Modernización: 50% de hectáreas que se riegan por gravedad, excepto en huerta trad.;
Estructura de cultivos: escenario de Dotación Neta 5.041;
Dotación Objetivo: 7.076 m³/ha/año;
Capacidad del Canal: 52 m³/seg (136'6 hm³/mes);
Caudal Ambiental: al menos los 8 m³/seg como caudal básico mínimo;
Abastecimiento a Zaragoza desde La Loteta con aguas del río Aragón;

Nos situamos en el horizonte de las 100.000 hectáreas para el sistema Yesa-Bardenas, lo cual supone poner en regadío Bardenas III. Suponemos que para esta situación el sistema ha mejorado notablemente su eficiencia: ahora en conjunto ronda el 70%; La estructura de cultivo suponemos aquella que requiere una dotación neta por hectárea y año de 5.041 m³. La dotación objetivo está en 7.076 m³/ha/año.

En esta situación la demanda total es de 707'9 hm³. Los resultados que arroja el modelo de simulación empleado nos indica que esta demanda es servida, en media, en un 97%, por lo que como medio se sirven de Yesa 688,5 hm³ al año con destino al Sistema Yesa-Bardenas. La garantía del suministro es del 87%, bastante aceptable

Resumen de resultados:

	hm ³ /año	Volumen Requerido (hm ³ /año)	Dotación objetivo (m ³ /ha/a)	Garantía Volumétrica (%)	Garantía Mensual (%)	Garantía Suministro (%)
SALIDAS de YESA	1.387,8					
Salida al Canal de Bardenas	780,9					
Regadío Bardenas	688,5	707,9	7.076	97%	96%	87%
Abastecimiento Bardenas	4,0	4,0		100%	100%	98%
Uso Industria	7,9	7,9		95%	100%	98%
Abastecimiento Zaragoza	78,9	78,9		100%	100%	100%
RESERVA	1,6					
Salida al Río	606,8					
Regadío Tradic. Aragón Bajo	252,3	252,3		100%	100%	100%
Energía Producida:	189,4	GWh/año				

8.4.7 Otros Escenarios simulados:

A efectos de comparación con los supuestos del recrecimiento de Yesa hemos generados unos escenarios ficticios en los que hemos tratado de contrastar la capacidad que el sistema basado en la regulación en tránsito es capaz de ofrecer.

Para una estructura de cultivos altamente exigente, muy superior a lo introducido en el resto de simulaciones, basada en maíz y alfalfa se llevan a suministrar para usos agrarios de promedio como máximo un total de 740 hm^3 , con una garantía de suministro del 80%.

Que si compara con el recrecimiento de Yesa planteado por el Gobierno de Aragón y una capacidad en el canal de las Bardenas de $52 \text{ m}^3/\text{seg}$ es prácticamente equivalente al alcanzarse en este supuesto un promedio para regadío de 748 hm^3 , aunque en este supuesto la garantía de suministro sea algo inferior, concretamente del 70%

En esta hipótesis maximalista ambos planteamientos, recrecimiento y la alternativa de regulación en tránsito son completamente EQUIVALENTES.

Por tanto, estamos frente a dos planteamientos opuestos de concebir la gestión del agua pero que en los resultados efectivos, según las hipótesis planteadas y supuestos establecidos, son semejantes en cuanto a capacidad para atender los usos agrarios.

9 EL IMPACTO SOCIAL Y AMBIENTAL DEL RECRECIMIENTO DE YESA.

En el anexo de efectos del recrecimiento del embalse de Yesa en el medio natural se hace un repaso de las afecciones del actual embalse y del futuro a cota media y máxima sobre los espacios protegidos, la fauna, la flora y vegetación y el paisaje. Las conclusiones son:

El ámbito del entorno del embalse de Yesa sufrió una seria transformación paisajística con la creación de la actual presa. Ello supuso una pérdida de patrimonio, modos de vida, diversidad de usos del suelo y calidad ecológica de grandes proporciones. En resumen, una gran pérdida ambiental. Sin embargo, el territorio que se sitúa al este de la cola del embalse aún conserva un paisaje con una gran potencialidad para desarrollarse con actividades agroganaderas y turísticas complementarias, conservando altos valores ecológicos.

Los lugares propuestos por el Gobierno de Aragón para ser incluidos en la Red Natura 2000 de este ámbito tienen límites arbitrarios, que no responden a la ubicación en el espacio de los hábitats o comunidades que los justifican. Quedan fuera de LICs y ZEPAs comunidades de Directiva Hábitats poco representadas en la Red, hábitats propicios para la nidificación de aves catalogadas en la Directiva de Aves y sobre todo, quedan fraccionados espacios que en la lógica de la conservación deberían estar interconectados. Este proceder va en contra del espíritu de la Directiva Hábitats.

El recrecimiento del embalse de Yesa supone un fuerte impacto negativo en la calidad ambiental de este área: Se pierde hábitat de varias especies de mamíferos y de aves; hay erosión de biodiversidad con la eliminación de poblaciones de flora destacadas o protegidas; se eliminan comunidades de alto valor ecológico; se corta la conexión del hábitat ripario entre el valle del Esca y la Canal de Berdún, de gran valor para la fauna; y quedan relegados a una representación testimonial unidades paisajísticas del territorio claves, que se desarrollan en el fondo del valle y que solamente allí se pueden desarrollar.

Debido a la ubicación de las especies de flora, los hábitats para la fauna, la conexión de corredores ecológicos y los terrenos aptos para usos claves para el desarrollo sostenible, los impactos que se han comentado tienen una incidencia y una relevancia similar tanto en el caso de un recrecimiento a cota 510 como a cota 520.

10 PANORÁMICA DE LAS AFECCIONES DEL RECRECIMIENTO AL PATRIMONIO

El entorno del embalse de Yesa, por su ubicación en el fondo del único valle transversal de la zona pirenaica aragonesa, está densamente poblado de restos arqueológicos, arquitectónicos, materiales y paisajísticos procedentes del resultado de la sucesión de culturas que se han asentado en los mismos territorios desde hace más de tres milenios hasta nuestros días.

Al margen de los restos ya inundados o destruidos durante el proceso de construcción del actual embalse, existe una larga serie de restos y conjuntos de incalculable valor en el entorno de la cota máxima de embalse con la presa actual.

En cuanto a los restos materiales, se trata de seis tipos de bienes:

El trazado del Camino de Santiago, declarado Patrimonio de la Humanidad, Primer Itinerario Cultural Europeo y Bien de Interés Cultural cuyo valor cultural, arqueológico e histórico alcanza niveles máximos, que superan en mucho las fronteras de Aragón y de España.

Los bienes asociados al Camino de Santiago, tales como la **hospedería de Santiago en Ruesta (s. XI)**, la **iglesia monástica de San Juan (S. XII)**, también en Ruesta, el **Hospital de peregrinos de Sigüés (s. XIII-XV)**, los restos de camino protegidos por **muros a piedra seca**, algunos **puentes**, y otros muchos tipos de bienes vinculados estrechamente a la ruta de peregrinación de una forma indisoluble como la propia protección legal del camino indica.

Los conjuntos arquitectónicos de las poblaciones del entorno cuyas tramas urbanas y conjunto arquitectónico son en sí mismas un bien con alta capacidad de transmisión cultural, y que responden generalmente a un hábitat fortificado producto de un periodo histórico muy importante en la historia de Aragón. **Tiermas es una población declarada Bien de Interés Cultural.**

Los restos arqueológicos de otras culturas que no se vinculan directamente al Camino pero cuya entidad individual y de conjunto es fundamental para la comprensión de la historia del territorio aragonés. Se trata de restos arqueológicos que arrancan en época prehistórica y alcanzan a la cultura céltica, se desarrollan durante la época de la romanización, y acaban básicamente en las villas romanas bajoimperiales de enorme desarrollo y altísimo valor artístico y de contenido cultural. **Yacimiento de la Virgen de las Viñas en Escó, Forau de la Tuta, Rienda, Viñas del Sastre y Campo del Royo** en Artieda, o **La Salada I, II y III** en Ruesta.

Los restos de poblaciones medievales de origen romano cuya existencia se conoce por fuentes documentales pese a que nunca se han realizado prospecciones ni excavaciones sistemáticas. En la zona de Artieda, por ejemplo, se encontraban **Biassuaso, Rienda y Vidiella**, en la zona de Ruesta, **Caprunas, Eso y Catamesas**, o en la zona de Tiermas, **Aquis, Centemfontes o San Vicente.**

Los sitios históricos, o conjuntos de valor cultural, paisajístico y arqueológico que agrupan diversos bienes de diferente índole para construir un nuevo bien que es el un producto refinado y diferenciado de la suma de todos ellos. Se trata de agrupaciones de restos arqueológicos con construcciones tradicionales conservadas en la actualidad y asociados a rasgos del paisaje y la ordenación histórica del territorio cuyo valor cultural es enunciado en la Ley de Patrimonio Aragonés bajo la definición de Sitio Histórico: **Entorno arqueológico romano y ermita de San Pedro de Artieda, entorno arqueológico y ermita de la Virgen de las Viñas de Escó, necrópolis ritual y entorno natural de La Salada cerca de Ruesta, ermita, fuente y entorno del monasterio de San Juan en Ruesta etc...**

Al entrar en detalle, se aprecia que en la zona inmediatamente superior a la actual cota de embalse, la que está sometida a la eventualidad del recrecimiento, es decir entre la cota 490 m.s.n.m. y la 528 m.s.n.m., límite del mayor recrecimiento posible, se encuentra la gran mayoría de los bienes a que nos referíamos más arriba, pero los que no se encuentran en ese umbral están ubicados a muy poca distancia de él. Es decir, en términos de afección directa, conviene no sólo incluir los bienes directamente inundados, es decir aquellos que se encuentran por debajo de la cota de embalse, sino también aquellos que quedarían muy cerca, en distancia vertical u horizontal, de la cota máxima de embalse de cualquier recrecimiento planteado.

10.1 Camino de Santiago:

El Camino de Santiago es el bien que más afectado estaría en caso de recrecimiento a cualquier cota posible. La afección en kilómetros de trazado oscilaría entre los 15 – 16 de la cota 510'5 y los 22 de la cota 521. La configuración del actual trazado hace que en el lado Sur, cualquier pequeña ampliación de la cota inundable tenga por resultado la afección directa al camino. Tanto es así que en la actualidad ya hay algunos pequeños tramos del camino que quedan bajo el agua con el embalse actual cuando este se llena al máximo, lo cual da idea de la proximidad de cota del Camino al agua en la situación actual y de las afecciones en cualquier escenario de recrecimiento. Por otro lado, no hay que olvidar que el Camino tiene una franja de protección de 30 metros a cada lado, y que en la práctica, para esta zona los alrededores del Camino son en muchos puntos auténticos yacimientos arqueológicos con entidad propia.

Con el recrecimiento a cota máxima, la afección al Camino sería de 22 Km. en términos cuantitativos, afectando directamente a inmuebles de elevadísimo valor histórico como las ermitas de San Juan y Santiago en Ruesta, Iglesia de San Esteban en Sigües y hospital de peregrinos de los Pomar en Sigües, además de varios puentes medievales, algunas fuentes al borde del camino y tramos de Camino que cumplen a la perfección la configuración ideal del Camino según la costumbre medieval, rodeados de muros de piedra seca y protegidos. Pero por encima de ello, plantea la inundación de un núcleo habitado estrechamente ligado al Camino, como Sigües, algo que, sumado a la destrucción total de 22 Km. de un bien Patrimonio de la Humanidad, es un escenario inasumible por su elevado e irreparable coste para el Patrimonio y la identidad aragonesa. Este escenario ha sido repetidas veces denunciado y difundido por asociaciones como APUDEPA, y expertos y organismos como ICOMOS.

En el caso del recrecimiento a cotas 506 y 510'5, la situación apenas varía respecto al Camino. En el ramal Norte los kilómetros afectados directamente están en torno a 17. En este tramo afecta directamente a toda la parte más baja que la UNESCO

declaró como Patrimonio de la Humanidad en 1993, que es la que discurre junto a la carretera de Jaca a Pamplona debajo de Escó y Tiermas. Aunque este tramo esta un tanto desnaturalizado en algunos sectores, esta revestido de idéntico sentido paisajístico y territorial que los tramos delimitados por muros de piedra seca, por el hecho de estar reconocido por UNESCO en la delimitación del bien de 1993, y por la vinculación a los núcleos de población asociados al camino como Sigüés, Escó o Tiermas. Entre Sigüés y Escó la cota 510'5 llega al pie del pequeño promontorio en el que se encuentra la ermita de la virgen de las Viñas, que tiene en su interior un resto de columna romana y bajo ella restos de enterramientos. La ermita quedaría por encima de la cota inundable aunque en una situación de riesgo por la erosión del oleaje en el promontorio que la acoge. Pero además, en la llanada que hay entre ella y el río el Camino recupera la configuración que existe entre Artieda y Ruesta, con los tramos de muros bajos a piedra seca, y en el mismo entorno se encuentran restos y la tradición oral de una necrópolis de posible origen prerromano y duración romana, al estilo de la que se halla bajo la ermita de San Pedro en Artieda.

Por otro lado, la cota 510'5 todavía inunda las primeras calles de Sigüés, al contrario de lo que se suele afirmar, y el propio embalse entraría por el tramo final del río Esca, inundando el parque que hay bajo el pueblo de Sigüés, y con él el tramo del Camino que, pasando por delante del Hospital de Peregrinos de los Pomar, un edificio con origen en el siglo XIV o XV, sale del pueblo atravesando un puente de pilastras medievales, y se dirige hacia Escó. De manera que la cota intermedia no sólo no salva Sigüés ni tampoco salva ese tramo del Camino como se ha dicho, sino que lo inunda o queda justo a su lado, lo que en la práctica es una afección directa.

En el lado Sur la afección es menor, aunque la inundación estaría todavía por encima de 5 Km. de trazado. Esta cota sigue acercándose, aunque a mas distancia vertical, a la ermita de San Pedro en Artieda y su importantísimo entorno arqueológico. Poco más adelante inundaría varios cientos de metros de golpe, porque aún hoy algún sector pequeño se inunda con el actual embalse, y, tras separarse algunos metros, vuelve a acercarse hasta quedar el límite justo junto a la ermita de San Juan en Ruesta, la cual se encuentra justo al pie del Camino, junto a una fuente manantial, y en el entorno que probablemente fue el monasterio más importante de Aragón hasta mediados del siglo XI, el de San Juan de Maltray. La ermita de Santiago, en la vaguada de la desembocadura del río Rigal, es el último bien vinculado al camino afectado en su entorno inmediato por la cota 510'5. La ermita de Santiago es un edificio fundamental en la historia del Arte y la peregrinación en Aragón, dado que albergó una hospedería y fue un edificio beneficiado por la realeza.

De este modo, la cota 510'5 mantiene unas afecciones sobre el Camino, directas e indirectas, que destruirían y desarticularían el bien Patrimonio de la Humanidad, además de afectar gravemente a la identidad, historia y fortaleza cultural del Alto Aragón.

10.2 Los restos y conjuntos arqueológicos de diversas épocas:

El elevado interés de los conjuntos arqueológicos de ambas orillas no puede quedar en segundo plano, pese a la superior jerarquía de protección del Camino como Patrimonio de la Humanidad. Por otro lado, los registros arqueológicos de época romana en el Alto Aragón son escasísimos y desde luego hay muy pocos casos de construcciones y hábitats de tanta entidad como los de esta zona.

En el lado norte los yacimientos afectados por la cota 521 serían igualmente alcanzados por la cota 510'5, es decir, la necrópolis al pie de la ermita de la Virgen de las Viñas de Escó, el entorno arqueológico de los barrios bajos de Tiermas, y los despoblados de Centemfontes y San Vicente, entre Tiermas y la actual presa.

En el lado sur, la cota intermedia no afectaría directamente a yacimientos como Forao de la Tuta, pero afectaría igualmente a Campo del Royo, San Juan de Ruesta y los yacimientos, necrópolis y túmulos prerromanos del amplio entorno de La salada I, II y III. Sin embargo, los yacimientos de Rienda y Forao de la Tuta, particularmente este último, quedarían en su entorno gravemente expuestos a la erosión por oleaje. Rienda es un yacimiento de excepcional interés, en el que se encuentra una villa de época bajoimperial romana, que arrojó varios mosaicos en las breves campañas de excavación llevadas a cabo por Enrique Osset en torno a 1960, uno de los cuales tiene más de 80 m². Forao de la Tuta es un yacimiento con un hábitat fortificado y urbanizado que incluye unas cloacas y una fuerte muralla y empalizada, y que probablemente incluye los restos de un gran templo o construcción monumental de una altura muy notable. La importancia de Forao de la Tuta es que, pese a haber indicios de mosaicos pavimentales, templos y restos de habitaciones, jamás se ha excavado en profundidad, y sin embargo responde a un hábitat relacionado con la vía romana Iacca – Pompaelo y el control del paso fronterizo del valle de Roncal en su confluencia con el Aragón.

Los restos de las poblaciones medievales, ni siquiera están censados y localizados con precisión, pese a que tenemos noticias de varios pueblos desaparecidos hasta más allá del siglo XIII, y algunos de los cuales debieron de ser de un desarrollo apreciable. Se tratan de los pueblos de Biassuso, Rienda y Vidiella, cerca de Artieda, Caprunas, Eso y Catamesas, en la zona de Ruesta, o Aquis, Centemfontes o San Vicente, poco más allá de Tiermas. Estos pueblos se encuentran a menudo en un hábitat inferior al de los pueblos actuales, enriscados producto de las guerras fronterizas del siglo XIV, es decir, en las terrazas inferiores del valle. Las escasas prospecciones existentes identifican algunas posibles ubicaciones entre la segunda y la primera terraza del Aragón, justo el límite del recrecimiento a cota 510'5 en el lado Sur, y en el borde de la terraza actualmente al límite del pantano en el lado Norte.

De todo lo anterior queda claro que las afecciones arqueológicas serían mayores de las admitidas hasta ahora, para cualquiera de las cotas posibles de recrecimiento. La construcción del embalse destruiría definitivamente aquellos yacimientos que quedasen bajo las aguas, y acabarían dañando gravemente aquellos, la mayoría, que quedasen junto al límite de las aguas. Esto, añadido a que muchos de estos yacimientos jamás han tenido excavaciones a la altura de su importancia, o no han tenido excavaciones de ninguna clase, indica claramente que si no se ponen medios, la pérdida para el registro arqueológico de la romanización en el Alto Aragón sería irreparable.

10.3 Conjuntos arquitectónicos y sitios históricos: territorio y paisaje

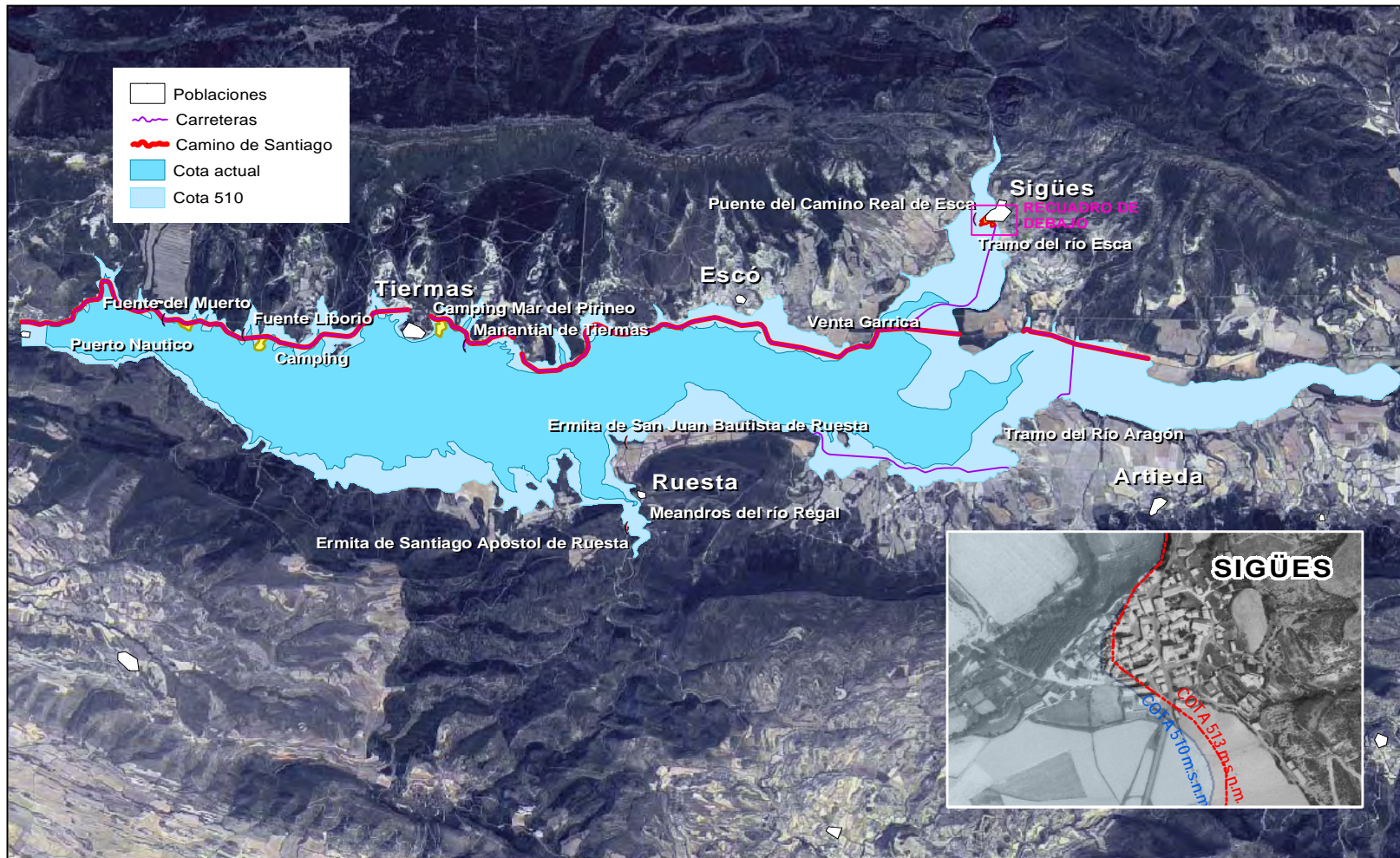
Los pueblos en el entorno de la zona afectada por los proyectos de recrecimiento son el producto final, la evolución exitosa, de todas las anteriores poblaciones que existieron en la zona desde época prehistórica. Por ello, la presencia y localización de las mismas están estrechamente ligadas al proceso de construcción histórica, cultural y paisajística de la comarca (que es, para un amplio periodo, una amplia parte del pequeño

reino de Aragón). Y las construcciones, espacios, caminos y territorios intervenidos o interactuados en cualquier momento histórico por los habitantes de esas poblaciones forman parte de la identidad cultural, territorial y colectiva de la zona, y, por adición, de todo Aragón. El valor de estos espacios, reconocidos en la Ley de Patrimonio Cultural Aragonés y en recomendaciones y cartas de UNESCO, como la de Helsinki, esta hoy en día siendo tenido en cuenta al mismo nivel que el de los tradicionales bienes conocidos como “Monumentos”.

Existen varios espacios en la zona afectada por la cota 510'5 que representan con perfección este concepto. La superposición de poblaciones claramente declarada en los entornos de las ermitas de San Pedro en Artieda y la virgen de las viñas en Escó, unido al paisaje que las rodea y a su integración en el territorio, hacen de estos espacios auténticas joyas de la historia que deben ser preservadas con el máximo celo. Tanto la necrópolis de la Virgen de las Viñas como el yacimiento de Campo del Royo al pie del altozano de la ermita de San Pedro, quedarían bajo las aguas en cualquiera de las cotas barajadas de recrecimiento, así como el entorno de la ermita de San Juan en Ruesta que , como demostrarían unos trabajos arqueológicos en profundidad que aún no se han llevado a cabo, probablemente fue un lugar sagrado desde época romana.

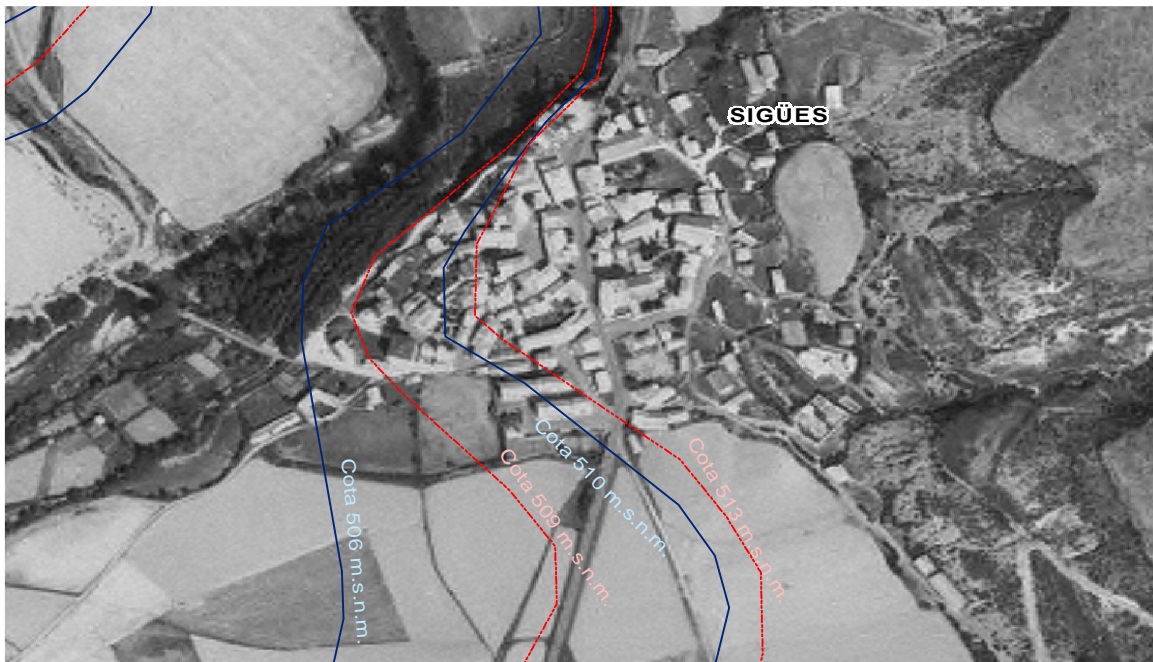
Asimismo, la población de Sigüés sigue quedando afectada por el proyecto de cota 510'5, dado que en esa cota se encuentran las primeras casas de la zona sur del pueblo, incluso la calle en la que aún se halla el hospital de peregrinos de los Pomar, edificio del siglo XV radicado en el siglo XII para asistencia a los peregrinos. El impacto de las aguas sobre el pueblo, desde el punto de vista físico y paisajístico, es irreparable, teniendo en cuenta sobre todo que las más altas cotas del proyecto recrecido estarían mas tiempo fuera de las aguas que debajo.

Mapa ilustrativo de las afecciones del rrecrecimiento de Yesa:



10.4 Afecciones al núcleo urbano de Sigües

El recrecimiento a cota 514 de máximo nivel de avenidas afecta al núcleo urbano de Sigües tal como se muestra en la imagen.



En el informe del Gobierno de Aragón se hace referencia a “la construcción de unos pequeños diques” para mantener a salvo el núcleo de Sigües. Sin embargo, tal como puede observarse en esta imagen, los pequeños diques tendrán una altura de alrededor 10 metros.

A día de hoy no existe proyecto alguno que permita avalar con solvencia dicha tesis y además, no se han tenido en cuenta los costes de la construcción de estos enormes diques.

11 CONCLUSIONES

1.- La Fundación Nueva Cultura del Agua, a solicitud de la Asociación Río Aragón, ha elaborado el presente informe con los siguientes objetivos:

- Garantizar la viabilidad de las explotaciones agrícolas tanto en Bardenas como en la Canal de Berdún.
- Garantizar un aporte de agua de boca procedente del río Aragón para Zaragoza y su entorno
- Diseñar alternativas que garanticen 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.
- Garantizar que en el caso hipotético de ser necesarias nuevas regulaciones, estas no deberían volver a inundar más territorio del que ya lo fue con la construcción del actual embalse de Yesa.

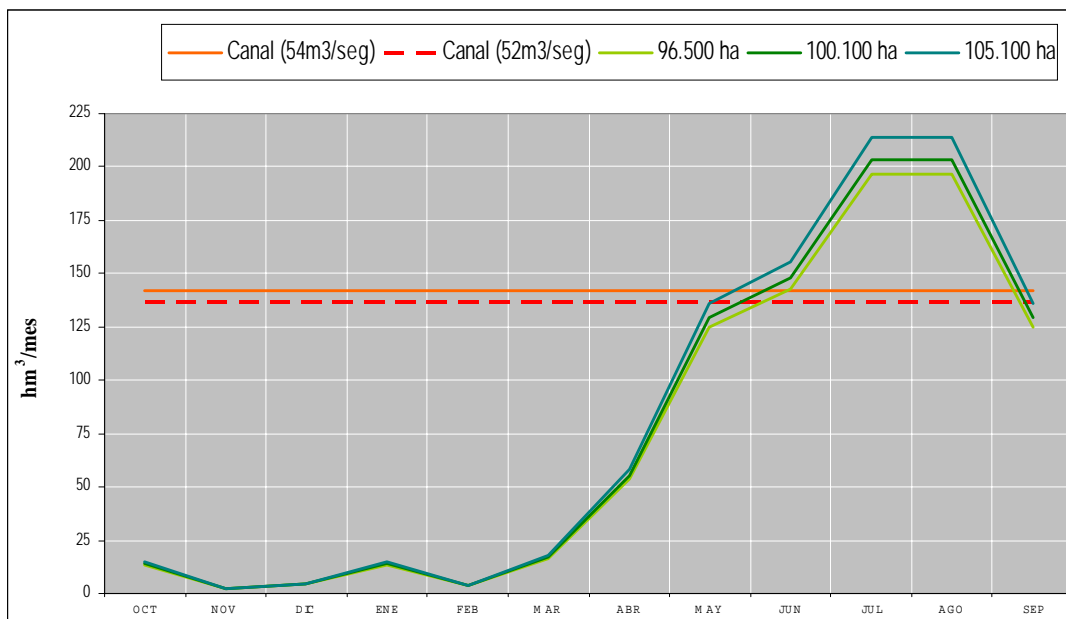
2.- Los actuales proyectos de recrecimiento del embalse de Yesa a cota máxima o intermedia, presentan graves inconvenientes:

- a) **Ambientales:** El recrecimiento del embalse de Yesa supone un fuerte impacto negativo en la calidad ambiental de este área: Se pierde hábitat de varias especies de mamíferos y de aves; hay erosión de biodiversidad con la eliminación de poblaciones de flora destacadas o protegidas; se eliminan comunidades de alto valor ecológico; se corta la conexión del hábitat ripario entre el valle del Esca y la Canal de Berdún, de gran valor para la fauna; y quedan relegados a una representación testimonial unidades paisajísticas del territorio claves, que se desarrollan en el fondo del valle y que solamente allí se pueden desarrollar.
- b) **Sobre el Patrimonio:** El Camino de Santiago es el bien que más afectado estaría en caso de recrecimiento a cualquier cota posible. La afección en kilómetros de trazado oscilaría entre los 15 – 16 de la cota 510’5 y los 22 de la cota 521. De este modo, la cota 510’5 mantiene unas afecciones sobre el Camino, directas e indirectas, que destruirían y desarticularían el bien Patrimonio de la Humanidad, además de afectar gravemente a la identidad, historia y fortaleza cultural del Alto Aragón.
- c) **Sobre el territorio:** Sin entrar a valorar las enormes afecciones sociales que ha tenido la existencia del actual embalse de Yesa, y lo que supondría su recrecimiento, queremos señalar que la población de Sigüés sigue quedando afectada por el proyecto de cota 510’5, dado que en esa cota se encuentran las

primeras casas de la zona sur del pueblo, incluso la calle en la que aún se halla el hospital de peregrinos de los Pomar, edificio del siglo XV radicado en el siglo XII para asistencia a los peregrinos. El impacto de las aguas sobre el pueblo, desde el punto de vista físico y paisajístico, es irreparable, teniendo en cuenta sobre todo que las más altas cotas del proyecto recrecido estarían mas tiempo fuera de las aguas que debajo.

- d) **Problemas graves relacionados con la capacidad del Canal:** En el siguiente gráfico se contrasta la capacidad del canal frente a las demandas mensuales, según las dotaciones planteadas en el Informe del Gobierno de Aragón.

La línea recta discontinua representa la capacidad del canal de 52 m³/seg; la línea recta continua por encima de la anterior representa una capacidad de conducción de 54 m³/seg. La primer curva representa la modulación mensual de demandas para un escenario de 95.600 hectáreas, según la dotación prevista en el Informe sobre el recrecimiento del Gobierno de Aragón. La siguiente curva lo hace para 100.100 hectáreas. La curva más alta refleja la modulación mensual de la demanda de 105.100 hectáreas, que son los tres escenarios de hectáreas manejados en el mencionado informe.



Como puede observarse las demandas a atender durante los meses de junio, julio y agosto son superiores a la capacidad que tiene el canal para atenderlas.

Se concluye por tanto que el canal debido a su capacidad de conducción se muestra como un auténtico cuello de botella, impidiendo atender los requerimientos en los meses de máxima demanda. Siempre dentro de los escenarios del informe referido y con una capacidad máxima del canal entre 52 y 54 m³/seg. Aunque esta capacidad de 54 m³/seg es poco probable que se mantenga continuamente durante un periodo muy largo de dos meses seguidos.

En el mencionado informe se habla de la necesidad de construir un embalse lateral nuevo dentro del polígono de riego. Este embalse, dada la capacidad de conducción del canal de las Bardenas, ha de tener una capacidad aproximada de 60 hm^3 para 96.000 hectáreas y de 100 hm^3 cuando la hectáreas de regadío son superiores a 100.000 ha, Para alcanzar una garantía de suministro del 80%. Otra cuestión relevante es la ubicación del mencionado embalse, pues la garantía varía dependiendo cual sea su ubicación. Además, no se ha tenido en cuenta el coste de este nuevo embalse.

A la vista de estos resultados parece aconsejable que el Gobierno de Aragón revise el informe presentado para que tenga en cuenta los condicionantes debidos a la falta de capacidad de transporte. Por que lo que está meridianamente claro es que el Canal de las Bardenas no tiene una capacidad de $64 \text{ m}^3/\text{seg}$, a no ser que se recrezca, cuestión ésta que el propio informe desaconseja, por el elevado coste y los impactos medioambientales que conlleva dicho recrecimiento.

3.- Demandas reales

- **Abastecimiento a Zaragoza:** Las modificaciones introducidas en el plan de abastecimiento de Agua a Zaragoza y su entorno, así como la tendencia al ahorro de agua debida, entre otras cuestiones, al Plan de mejora de la red de abastecimiento del Ayuntamiento de Zaragoza, provocan cambios en la demanda de agua para Zaragoza. Nuestros cálculos nos dicen que en el año 2020 la población a abastecer podría alcanzar los 765.233 habitantes, demandando un total de 78.94 hm^3 , en lugar de los 132 hm^3 planteados inicialmente.
- **Abastecimiento a los municipios del sistema de Bardenas:** Los cálculos, detallados en los anexos, nos dicen que oscilará entre 3.83 hm^3 en la actualidad y los $4.03 \text{ hm}^3/\text{año}$ en el año 202.
- **Usos agrarios:** Los diferentes escenarios estudiados y detallados nos confirman la extraordinaria importancia y la imperante necesidad de poner en marcha programas de modernización de regadío, en consonancia, asimismo, con las directrices emanadas de la Unión Europea.

4.- Alternativa planteada: dos embalses laterales y modernización.

La alternativa aquí elaborada planteada, tras el análisis pormenorizado, consiste en la priorización, en el caso de que el escenario de demandas así lo exija, de la construcción de la presa de Orés a una cota de 495 msn, y el embalse de Marracos.

No obstante, si hacemos caso a las directrices que llegan de la UE, así como al análisis detallado de necesidades y al estudio económico riguroso, la satisfacción de las demandas, existentes y futuras, pasa, de manera predominante, por poner en marcha mecanismos de modernización.

De los resultados de la simulación de los modelos matemáticos se desprende que la alternativa propuesta alcanza unos niveles de garantía de suministro para el abastecimiento de Zaragoza y su entorno y regadío de 90.000 hectáreas en Bardenas equivalentes al recrecimiento a cota media de Yesa.

4.- La alternativa que plantea la regulación en embalses laterales supone, además, otra serie de ventajas:

* Sociales en la comarca afectada:

- .- La solución al conflicto histórico,
- .- La asunción de un menor riesgo por rotura de presa,
- .- El equilibrio territorial. Las infraestructuras de impacto social son soportadas por los propios beneficiarios.
- .- Económicas. La flexibilidad y economía de pequeñas soluciones que se distribuyen en el tiempo ante escenarios de demandas inciertos.

* Para la zona beneficiada

- .- El agua almacenada en los polígonos esta garantizada de forma “estructural” para Bardenas. La almacenada en Yesa puede tener otros demandantes según la coyuntura política vigente en cada momento (reactivación del trasvase).
- .- Más flexibilidad ante cortes por accidentes en los canales principales
- .- Más flexibilidad para cubrir altas demandas puntuales y problemas de transporte en el canal

* Ambientales y patrimoniales

- .- En el entorno del actual Yesa al no destruirse patrimonio natural ni histórico como se ha descrito anteriormente
- .- La gestión de los materiales sólidos transportados fundamental para conseguir el buen estado ecológico de los ríos tal como marca la Directiva Marco del Agua es mucho más fácil de conseguir técnicamente desde el Yesa actual que desde uno recrecido a cualquier

** Económicos: los costes son menores*

Un resumen de los costes aparece en el siguiente cuadro:

Costes en millones de €	Escenario Cota Media	Escenario FNCA
Recrecimiento de Yesa	114	
Embalse de cola de 40 hm ³	29	
Recrecimiento del canal de Bardenas	¿?	
Embalses alternativa (Orés + Marracos)		78
Total	143	78

La diferencia de coste a favor de la alternativa sostenible se estima en 65 millones de € (10.814 millones de pesetas).

Como ventaja añadida a nuestra propuesta, en el escenario de Marracos de 173 hm³, se podrían servir (llenándose de manera mixta Aragón-Gállego), unos 100 hm³ al Bajo Gállego, rescatando caudales para Riegos del Alto Aragón y sirviendo de alternativa al embalse de Biscarrués.

** Las ventajas de la modularidad*

Una de las principales ventajas de esta alternativa es la característica de la MODULARIDAD: Como se muestra en este informe es la modularidad lo que dota a esta alternativa de una ventaja económica, al poder irse construyendo los embalses a medida que se vayan aumentando las hectáreas de regadío. Se evita de esta forma un fuerte desembolso inicial necesario para el recrecimiento de Yesa y se obtiene una herramienta de gestión directa por parte de los regantes.