
**ANEJO 13. DESARROLLO Y APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS
Y HERRAMIENTAS EN LA CUENCA PILOTO DEL RÍO JÚCAR
PARA LOS ANÁLISIS ECONÓMICOS REQUERIDOS EN LA
DIRECTIVA MARCO EUROPEA DEL AGUA**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO entre
Universidad Politécnica de Valencia y EPTISA,
Servicios de Ingeniería S.A.



**Desarrollo y aplicación de metodologías y
herramientas en la cuenca piloto del río Júcar para los
análisis económicos requeridos en la Directiva Marco
Europea del Agua**

INFORME FINAL

Marzo de 2006

Grupo de Ingeniería de Recursos Hídricos
Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS	4
2.1 INTERPRETACIÓN DEL COSTE DEL RECURSO REQUERIDO POR LA DMA	4
2.2 METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN	6
2.3 HERRAMIENTAS. AQUATOOL (SIMWIN) Y MÓDULO ECOWIN.	7
2.4 COSTE DE OPORTUNIDAD DEL MANTENIMIENTO DE CAUDALES ECOLÓGICOS.....	8
2.5 FUNCIONES ECONÓMICAS DE DEMANDA	10
2.5.1 <i>Funciones económicas de demanda en el regadío.....</i>	<i>10</i>
2.5.2 <i>Funciones económicas de demanda en el uso urbano</i>	<i>16</i>
3. SISTEMA DEL RÍO JÚCAR	21
3.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DEL JÚCAR.....	21
3.2 MODELO DE SIMULACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RÍO JÚCAR.....	23
3.2.1 <i>Descripción del modelo conceptual.....</i>	<i>23</i>
3.2.1.1 Río Júcar hasta el embalse de Molinar	27
3.2.1.2 Río Cabriel hasta su confluencia con el Júcar	28
3.2.1.3 Río Júcar aguas abajo del embalse de Tous	30
3.2.2 <i>Demandas.....</i>	<i>33</i>
3.2.2.1 Demandas urbanas	33
3.2.2.2 Demandas industriales	34
3.2.2.3 Demandas Agrícolas.....	35
3.2.3 <i>Reglas de operación.....</i>	<i>42</i>
3.3 INFORMACIÓN ECONÓMICA	44
3.3.1 <i>Curvas de demanda urbana</i>	<i>44</i>
3.3.2 <i>Curvas de demanda agrícola.....</i>	<i>45</i>
3.3.3 <i>La Mancha Oriental.....</i>	<i>45</i>
3.3.3.1 Demandas agrícolas aguas abajo de Tous	46
3.3.4 <i>Costes de operación.....</i>	<i>49</i>
3.4 ANÁLISIS DEL COSTE DEL RECURSO	52
3.4.1 <i>Coste de escasez Vs. Suministro a las demandas</i>	<i>52</i>
3.4.2 <i>Coste del recurso en los embalses del sistema.....</i>	<i>55</i>
3.4.3 <i>Análisis de sensibilidad del coste del recurso</i>	<i>60</i>
3.4.4 <i>Coste de oportunidad del mantenimiento de caudales ecológicos</i>	<i>62</i>
4. SISTEMA DEL RÍO MIJARES	66
4.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA MIJARES	66

4.2	MODELO DE SIMULACIÓN DE LA GESTIÓN DEL MIJARES	69
4.2.1	<i>Antecedentes</i>	69
4.2.2	<i>Esquema de SIMGES</i>	70
4.2.3	<i>Infraestructura</i>	74
4.2.4	<i>Demandas de agua</i>	75
4.2.4.1	Reglas de operación	80
4.3	INFORMACIÓN ECONÓMICA	81
4.3.1	<i>Análisis económicos del Plan Hidrológico Nacional</i>	81
4.3.2	<i>Curvas de demanda económica utilizadas en el análisis</i>	83
4.3.3	<i>Costes de bombeo</i>	89
4.4	ANÁLISIS DEL COSTE DEL RECURSO.....	90
4.4.1	<i>Coste de escasez vs. Suministro a las demandas</i>	90
4.4.2	<i>Coste del recurso en los embalses del sistema</i>	94
4.4.3	<i>Coste Marginal en caudal mínimo</i>	97
4.4.4	<i>Análisis de sensibilidad del coste del recurso</i>	98
5.	SISTEMA DEL TURIA	100
5.1	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DEL TURIA.....	100
5.2	MODELO DE SIMULACIÓN DE LA GESTIÓN DEL TURIA.....	101
5.2.1	<i>Antecedentes</i>	101
5.2.2	<i>Esquema de SIMGES</i>	101
5.2.3	<i>Infraestructura</i>	103
5.2.4	<i>Demandas</i>	105
5.2.4.1	Demanda Urbana:.....	106
5.2.4.2	Demanda agrícola:	106
5.2.4.3	Reglas de operación	107
5.3	INFORMACIÓN ECONÓMICA	108
5.3.1	<i>Curvas de demanda urbana</i>	108
5.3.2	<i>Curvas de demanda agrícola</i>	109
5.4	ANÁLISIS DEL COSTE DEL RECURSO.....	111
5.4.1	<i>Coste de escasez vs. suministro a las demandas</i>	111
5.4.2	<i>Coste del recurso en los embalses del sistema</i>	113
5.4.3	<i>Análisis de sensibilidad del coste del recurso</i>	115
5.4.4	<i>Variación de resultados ante cambios en el esquema</i>	118
5.4.4.1	Unidades Hidrogeológicas añadidas.....	120
5.4.5	<i>Coste de escasez vs. suministro a las demandas, caso con acuíferos</i>	122
5.4.6	<i>Coste del recurso (con acuíferos)</i>	124

6. CONCLUSIONES.....	125
7. REFERENCIAS.....	129

Índice de Tablas

TABLA 1: RED FLUVIAL	22
TABLA 2: DEMANDAS URBANAS ANUALES [HM ³]	34
TABLA 3: DEMANDA DE LA CENTRAL NUCLEAR DE COFRENTES.....	34
TABLA 4: DEMANDAS MENSUALES Y ANUALES DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.....	35
TABLA 5: CICLOS DE CULTIVO EN CASTILLA LA MANCHA.	35
TABLA 6: SUPERFICIES CULTIVADAS (HA), IVI 2004.	38
TABLA 7: SUPERFICIES CULTIVADAS (HA), CA 2004.	38
TABLA 8: SUPERFICIES CULTIVADAS (HA), CHJ 2004.	38
TABLA 9: EFICIENCIA DE LAS UDAs, CHJ 2002.....	39
TABLA 10: SUPERFICIES Y DOTACIONES PARA LOS USOS AGRÍCOLAS AGUAS ABAJO DE TOUS.	40
TABLA 11: DEMANDA MENSUAL [HM ³] PARA CADA TIPO DE CULTIVO Y UDA.....	42
TABLA 12: NIVELES DE TARIFAS ADOPTADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS CURVAS DE DEMANDA.....	47
TABLA 13 BALANCE DE LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE LA CUENCA DEL MIJARES.....	69
TABLA 14 DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA RECARGA EN LAS UHG DEL MIJARES	69
TABLA 15 ELEMENTOS DEL ESQUEMA SIMGES	72
TABLA 16 CANALES EN EL RÍO MIJARES	75
TABLA 17 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS EMBALSES	75
TABLA 18 DEMANDA BRUTA POR UNIDAD DE DEMANDA AGRÍCOLA	76
TABLA 19 DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LAS DEMANDAS AGRÍCOLAS.....	77
TABLA 20 DEMANDA ANUAL POR UHG.....	78
TABLA 21 UNIDADES DE DEMANDA URBANA Y UHG DE LAS QUE BOMBEOAN PRINCIPALMENTE	78
TABLA 22. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA DEMANDA URBANA	80
TABLA 23 COSTES DE EXTRACCIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	90
TABLA 24: CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DEL SISTEMA TURIA	104
TABLA 25: CANALES DEL SISTEMA TURIA.....	104
TABLA 26: VALORES ANUALES DE LA DEMANDA SUPERFICIAL	106
TABLA 27: CARACTERÍSTICAS DEMANDAS AGRÍCOLAS	107
TABLA 28: EVOLUCIÓN MENSUAL DE LAS DEMANDAS AGRÍCOLAS (HM ³ /MES).....	107
TABLA 29: COMPOSICIÓN DE U.H.G. CAMPO DEL TURIA.....	120
TABLA 30: COMPOSICIÓN DE U.H.G. PUEBLOS CASTILLOS.	121
TABLA 31: FUNCIÓN ECONÓMICA DE LOS BOMBEOAS.....	122

Índice de Figuras

FIGURA 1 VENTANA PRINCIPAL DE ECOWIN CON VISTA PARCIAL DEL ESQUEMA DEL SISTEMA DEL RÍO TURIA...	8
FIGURA 2 FUNCIONES ECONÓMICAS DE DEMANDA, DÉFICIT Y COSTE DE ESCASEZ.....	10
FIGURA 3: SISTEMA DE EXPLOTACIÓN DEL RÍO JÚCAR.....	23
FIGURA 4: ESQUEMA DEL MODELO DEL RÍO JÚCAR.....	26
FIGURA 5: ESQUEMA AGUAS ARRIBA DEL EMBALSE DE TOUS	28
FIGURA 6: ESQUEMA DE LAS NUEVAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.	30
FIGURA 7: ESQUEMA DEL MODELO AGUAS ABAJO DE TOUS.	31
FIGURA 8: SUMINISTRO DEMANDAS DE VALENCIA, ALBACETE, SAGUNTO.	33
FIGURA 9: SUMINISTRO DEMANDA URBANA DE LA MARINA BAJA.	34
FIGURA 10: EVOLUCIÓN DEL DESCENSO PIEZOMÉTRICO EN LA ZONA DE ALBACETE.....	36
FIGURA 11: EVOLUCIÓN DEL DESCENSO PIEZOMÉTRICO EN LA ZONA DE ALBACETE.....	37
FIGURA 12: UNIDADES DE DEMANDA AGRARIA (FUENTE CHJ).	38
FIGURA 13: INDICADOR DE ALARMA ACTRAD (ORDENADA: SUMA DE VOLÚMENES ALARCÓN+CONTRERAS+TOUS)	43
FIGURA 14: INDICADOR DE ALARMA ACTRESTO (ORDENADA: SUMA DE VOLÚMENES ALARCÓN+CONTRERAS+TOUS)	43
FIGURA 15: INDICADOR DE ALARMA ACTBAJA (ORDENADA: SUMA DE VOLÚMENES ALARCÓN+CONTRERAS+TOUS)	44
FIGURA 16: INDICADOR DE ALARMA ACTALARCON (ORDENADA: VOLUMEN EN ALARCÓN)	44
FIGURA 17: CURVAS DE DEMANDA URBANAS EN HM ³	45
FIGURA 18: CURVA DE DEMANDA DE LOS REGADÍOS DE LA MANCHA ORIENTAL.	45
FIGURA 19: CURVAS DE DEMANDAS ANUALES DE LOS CULTIVOS DE CÍTRICOS Y HORTALIZAS (SUMINISTRO). ..	48
FIGURA 20: CURVAS DE DEMANDA ANUALES DE LOS CULTIVOS DE CÍTRICOS Y HORTALIZAS (DOTACIÓN).	48
FIGURA 21: CURVAS DE DEMANDA ANUALES DE LOS CULTIVOS DE ARROZ (SUMINISTRO).	49
FIGURA 22: CURVAS DE DEMANDA ANUALES DE LOS CULTIVOS DE ARROZ (DOTACIÓN).....	49
FIGURA 23: RELACIÓN VOLUMEN [HM ³]-PROFUNDIDAD [M] MODELADO EN EL ACUÍFERO DE LA MANCHA ORIENTAL.....	51
FIGURA 24: CURVA DEL COSTE DE BOMBEO EN LA MANCHA ORIENTAL.	52
FIGURA 25: COSTE DE ESCASEZ VS DÉFICIT ANUAL.....	54
FIGURA 26: COSTE DE ESCASEZ ANUAL EN LAS DEMANDAS DEL SISTEMA	54
FIGURA 27: COSTE TOTAL DE BOMBEO EN LA MANCHA ORIENTAL.	55
FIGURA 28: COSTE DEL RECURSO EN LOS EMBALSES PRINCIPALES.	56
FIGURA 29: COSTE DEL RECURSO EN LOS EMBALSES PRINCIPALES (PERIODO 1978-2001).	56
FIGURA 30: COSTE DEL RECURSO VS VOLUMEN ALMACENADO EN ALARCÓN.	57

FIGURA 31: COSTE DEL RECURSO VS VOLUMEN ALMACENADO EN CONTRERAS.....	57
FIGURA 32: COSTE DEL RECURSO VS VOLUMEN ALMACENADO EN TOUS.....	57
FIGURA 33: COSTE DEL RECURSO DESAGREGADO POR DEMANDAS ($\square = 10 \text{ hm}^3$).....	58
FIGURA 34: VALORES PROMEDIO DEL CMOR MENSUAL PARA DISTINTOS RANGOS DE VOLUMEN EN EL EMBALSE DE ALARCÓN	59
FIGURA 35: VALORES PROMEDIO Y MÁXIMO DEL CMOR MÁXIMO ANUAL PARA DISTINTOS RANGOS DE VOLUMEN EN EL EMBALSE DE ALARCÓN.....	60
FIGURA 36: ESCENARIO 1, CURVAS DE DEMANDA RÍGIDAS.	61
FIGURA 37: ESCENARIO 2, CURVAS DE DEMANDA ELÁSTICAS.	61
FIGURA 38: DIFERENCIA DE COSTE DEL RECURSO ENTRE ESCENARIOS DE DEMANDAS RÍGIDAS Y ELÁSTICAS. ..	62
FIGURA 39: CAUDAL MÍNIMO ANALIZADO EN LA DESEMBOCADURA DEL RÍO JÚCAR.....	63
FIGURA 40: COMPARACIÓN ENTRE LOS PATRONES PORCENTUALES MENSUALES.....	64
FIGURA 41: COMPARACIÓN ENTRE LOS VOLÚMENES MENSUALES.	64
FIGURA 42: COSTE DE OPORTUNIDAD AGREGADO DE CAUDALES MÍNIMOS EN CULLERA.	65
FIGURA 43: COSTE DE OPORTUNIDAD PARA USOS AGRÍCOLAS DE MANTENER CAUDALES MÍNIMOS EN CULLERA...	66
FIGURA 44: COMPARACIÓN DEL CMOR EN EL EMBALSE DE ALARCÓN CON Y SIN CAUDALES MÍNIMOS EN CULLERA	66
FIGURA 45: SISTEMA DE EXPLOTACIÓN MIJARES-PLANA DE CASTELLÓN.....	67
FIGURA 46 UNIDADES HIDROGEOLOGICAS EN MIJARES-PLANA DE CASTELLÓN.....	68
FIGURA 47: ESQUEMA SIMGES DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN MIJARES-PLANA DE CASTELLÓN.....	71
FIGURA 48: UBICACIÓN DE LAS APORTACIONES AL SISTEMA MIJARES-PLANA DE CASTELLÓN	73
FIGURA 49 APORTACIONES AL SISTEMA MIJARES-PLANA DE CASTELLÓN.....	74
FIGURA 50 UNIDADES DE DEMANDA AGRÍCOLA DEL MIJARES.....	76
FIGURA 51: CURVA DE RESERVA DEL CONVENIO 1970.....	81
FIGURA 52. CURVA DE DEMANDA AJUSTADA PARA LA ZONA DE CASTELLÓN.....	81
FIGURA 53. EFECTOS SOBRE LA RENTA AGRARIA.....	82
FIGURA 54. PÉRDIDA PORCENTUAL DE LA RENTA AGRARIA.....	82
FIGURA 55 CURVAS DE DEMANDA ECONÓMICA USO AGRÍCOLA	84
FIGURA 56: CONSIDERACIONES EN LAS CURVAS DE DEMANDA	85
FIGURA 57 CURVAS DE DEMANDA. CULTIVO DE CÍTRICOS.....	86
FIGURA 58: CURVAS DE DEMANDA. CULTIVOS LEÑOSOS Y HERBÁCEOS.....	87
FIGURA 59 CURVAS DE DEMANDA CULTIVOS HERBÁCEOS	87
FIGURA 60: CURVAS DE DEMANDA ECONÓMICA. USO URBANO.....	89
FIGURA 61: COSTE DE ESCASEZ DEL RECURSO	91
FIGURA 62: COSTE DE ESCASEZ VS. VOLUMEN EN LOS EMBALSES (ARENÓS + SICHAR)	92
FIGURA 63: COSTE DE ESCASEZ EN CULTIVOS DE CÍTRICOS	92

FIGURA 64	COSTE DE ESCASEZ EN CULTIVOS MIXTOS HERBÁCEOS Y LEÑOSOS	93
FIGURA 65	COSTE DE ESCASEZ EN CULTIVOS HERBÁCEOS	93
FIGURA 66.	VALOR DEL RECURSO PARA TODO EL PERÍODO DE ANÁLISIS	94
FIGURA 67.	VALOR DEL RECURSO PARA EL PERIODO 1972-1990	95
FIGURA 68:	COSTE DEL RECURSO EN EMBALSES	95
FIGURA 69:	DESCOMPOSICIÓN DEL COSTE DEL RECURSO EN ARENÓS	96
FIGURA 70:	VALORES PROMEDIO DEL CMOR MENSUAL PARA DISTINTOS RANGOS DE VOLUMEN EN EL EMBALSE DE ARENÓS	96
FIGURA 71:	VALORES PROMEDIO MÁXIMOS DEL CMOR MÁXIMO ANUAL PARA DISTINTOS RANGOS DE VOLUMEN EN EL EMBALSE DE ARENÓS	97
FIGURA 72:	COSTE MARGINAL DEL RECURSO PARA CAUDAL MÍNIMO EN LA CONDUCCIÓN AGUAS ABAJO DEL EMBALSE FICHAR	97
FIGURA 73:	VALORES PROMEDIO DEL CMOR MENSUAL PARA DISTINTOS RANGOS DE VOLUMEN EN EL EMBALSE DE ARENÓS CON Y SIN RESTRICCIÓN DE CAUDAL MÍNIMO	98
FIGURA 74:	VARIACIÓN DEL CMOR PARA DIFERENTES CURVES DE DEMANDA	99
FIGURA 75:	SENSIBILIDAD A LA PENDIENTE EN CURVA DE DEMANDA	99
FIGURA 76:	ÁMBITO DE LA CUENCA DEL RÍO TURIA	100
FIGURA 77:	ESQUEMA DEL TURIA EN SIMGES	102
FIGURA 78:	SUMINISTRO A UDU DE TERUEL Y VALENCIA	106
FIGURA 79:	FUNCIÓN ECONÓMICA PARA LA CIUDAD DE VALENCIA	108
FIGURA 80:	FUNCIÓN ECONÓMICA PARA LA CIUDAD DE TERUEL	109
FIGURA 81:	FUNCIÓN ECONÓMICA PARA ACEQUIA DE MONCADA	109
FIGURA 82:	FUNCIÓN ECONÓMICA PARA CAMPO DEL TURIA	110
FIGURA 83:	FUNCIÓN ECONÓMICA PARA PUEBLOS CASTILLOS	110
FIGURA 84:	FUNCIÓN ECONÓMICA PARA RIEGOS TRADICIONALES (ARROZ)	110
FIGURA 85:	FUNCIÓN ECONÓMICA PARA RIEGOS TRADICIONALES (CÍTRICOS Y HORTALIZAS)	111
FIGURA 86:	COSTE DE ESCASEZ/SUMINISTRO EN ACEQUIA DE MONCADA	111
FIGURA 87:	COSTE DE ESCASEZ/SUMINISTRO EN CAMPO DEL TURIA	112
FIGURA 88:	COSTE DE ESCASEZ/SUMINISTRO EN PUEBLOS CASTILLOS	112
FIGURA 89:	COSTE DE ESCASEZ/SUMINISTRO EN VEGA DE VALENCIA (ARROZ)	112
FIGURA 90:	COSTE DE ESCASEZ/SUMINISTRO EN VEGA DE VALENCIA (CÍTRICOS Y HORTÍCOLAS)	113
FIGURA 91:	VARIACIÓN DEL CMOR (PROXY DEL COSTE DEL RECURSO) E N EL PERÍODO CON MAYOR DÉFICIT	113
FIGURA 92:	CMOR DESAGREGADO EN CADA UNA DE LAS DEMANDAS	115
FIGURA 93:	NUEVA FUNCIÓN ECONÓMICA PARA ACEQUIA DE MONCADA	116
FIGURA 94:	NUEVA FUNCIÓN ECONÓMICA PARA CAMPO DEL TURIA	116

FIGURA 95: NUEVA FUNCIÓN ECONÓMICA PARA PUEBLOS CASTILLOS	116
FIGURA 96: NUEVA FUNCIÓN ECONÓMICA PARA VEGA DE VALENCIA (CÍTRICOS Y HORT.)	117
FIGURA 97: ANÁLISIS DE DEMANDA PARA EL SISTEMA DEL TURIA.....	117
FIGURA 98: ANÁLISIS DE DEMANDA DE FORMA DESAGREGADA	118
FIGURA 99: ESQUEMA DEL TURIA CON ACUÍFEROS.....	119
FIGURA 100: DETALLE UHG CAMPO DEL TURIA	120
FIGURA 101: DETALLE UHG PUEBLOS CASTILLOS.....	120
FIGURA 102 COMPARACIÓN DEL COSTE DE ESCASEZ AL AÑADIR ACUÍFEROS EN ACEQUIA DE MONCADA	123
FIGURA 103: COMPARACIÓN DEL COSTE DE ESCASEZ AL AÑADIR ACUÍFEROS EN EL CAMPO DEL TURIA	123
FIGURA 104: COMPARACIÓN DEL COSTE DE ESCASEZ EN PUEBLOS-CASTILLOS.	123
FIGURA 105 COMPARACIÓN DEL COSTE DE ESCASEZ EN VEGA DE VALENCIA (ARROZ).....	124
FIGURA 106 COMPARACIÓN DEL COSTE DE ESCASEZ EN VEGA DE VALENCIA (CITR. Y HORT.).....	124
FIGURA 107: CMOR CON ACUÍFEROS/SIN ACUÍFEROS EN BENAGÉBER.....	125

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento comprende la Memoria y Anexos del Informe final del estudio "Desarrollo y Aplicación de Metodologías y Herramientas en la Cuenca Piloto del río Júcar para los Análisis Económicos requeridos en la Directiva Marco europea del Agua", llevado a cabo por el Grupo de Ingeniería de Recursos Hídricos (GIRH) del Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) con motivo del contrato de Investigación y Desarrollo suscrito entre la UPV y la empresa EPTISA Servicios de Ingeniería S.A. El objeto de este contrato es la realización por parte del GIRH del proyecto de I+D con el título referido para la empresa EPTISA y a solicitud de la misma, en el marco del contrato que esta tiene a su vez suscrito con la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas (actual Dirección General del Agua, del Ministerio de Medio Ambiente), "Consultoría y asistencia para los trabajos de comprobación y evaluación en la cuenca piloto del río Júcar de las guías desarrolladas en el marco de la estrategia común de implementación de la Directiva Marco del Agua", dirigido por la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ). La Dirección Técnica del proyecto correspondió inicialmente e a D. Teodoro Estrela, en su momento jefe de la Oficina de Planificación Hidrológica de la CHJ, y en la etapa final, a D. Javier Ferrer Polo, actual jefe de dicha Oficina de Planificación Hidrológica.

El Informe comienza con una descripción de la metodología y herramientas desarrolladas por el GIRH del IIAMA para el cálculo del coste del recurso (art. 9 de la Directiva Marco del Agua, en adelante DMA) en una cuenca o sistema de recursos hídricos. Se presenta un procedimiento sistemático de estimación del valor marginal del recurso en cualquier punto de la cuenca, el cuál variará a lo largo del tiempo, al variar los recursos disponibles y la disposición marginal de pago de las demandas. El cálculo del indicador Coste Marginal de Oportunidad del Recurso (CMOR) en los embalses del sistema nos permite tener una estimación del valor marginal del recurso en función de la disponibilidad de agua en el sistema. Este indicador debe servir para obtener estimadores prácticos del coste del recurso, tal y como se exige en el art. 9 de la DMA y se describe en la Guía WATECO de Análisis Económico en la DMA.

La metodología se aplica a sistemas de recursos hídricos mediante modelos de simulación integrados hidrológico-económicos. El desarrollo de estos modelos se ve facilitado por el empleo de un Sistema de Apoyo a la Decisión (SAD) para Planificación y Gestión de Recursos Hídricos, AQUATOOL (Andreu et al., 1996). AQUATOOL integra herramientas para el desarrollo de modelos de simulación y optimización de la gestión de sistemas de recursos hídricos en un entorno amigable al usuario mediante interfases y postprocesadores gráficos interactivos. Esta

herramienta ha sido ampliamente utilizada en España por empresas consultoras y organismos públicos (Confederaciones Hidrográficas, IGME, Ministerio de Medio Ambiente, etc.) nacionales e internacionales para el desarrollo de modelo de gestión de cuencas. Recientemente, y fundamentalmente para dar respuesta a los requerimientos de la DMA, se han desarrollado herramientas de simulación de indicadores de calidad e indicadores económicos. Estos módulos se encuentran en fase de prototipo, y están siendo actualmente testados y validados.

El módulo de simulación de AQUATOOL, SIMWIN, permite la construcción de modelos de simulación de la gestión para cualquier sistema de recursos hídricos, sea cual sea su grado de complejidad, incluyendo tanto las aguas superficiales como las subterráneas y la interacción entre ambas. La incorporación de información económica al modelo de simulación se hace a través del módulo ECOWIN. Este módulo permite evaluar económicamente los resultados de la gestión del sistema obtenido por SIMWIN para distintos escenarios. Además, ECOWIN incorpora una rutina que permite llevar a cabo múltiples simulaciones de la gestión, con escenarios obtenidos con una perturbación del recurso disponible en un punto del sistema para cada mes de la simulación. La evaluación económica de los múltiples escenarios y su comparación con los resultados del Caso Base permite obtener la serie temporal del indicador CMOR en un punto del sistema, a escala mensual y para todo el período simulado.

El enfoque de simulación que se propone para la evaluación del coste del recurso consta de 4 fases:

1. *Preparación de modelos hidrológicos de simulación.* Esta fase está actualmente realizada en el caso del sistema del río Júcar, ya que se dispone de un modelo detallado implementado en el módulo SIMGES de AQUATOOL que ha sido aplicado con éxito. En dicho modelo están representados todas las componentes relevantes del sistema (recursos superficiales y subterráneos, infraestructura, demandas, etc.), permitiendo una representación razonable de distintas políticas de gestión. Se dispone también de un modelo de simulación completo para el río Turia. Estos modelos son frutos de diversos convenios y la estrecha colaboración mantenida con las Oficinas de Planificación y Explotación de la CHJ. En el marco de otro Convenio se está llevando a cabo el desarrollo de modelos de simulación para otros sistemas de explotación (ej. Palancia, Marina Baja, etc.), y en otros, la puesta al día y actualización de modelos ya existentes. Los modelos deben ser modificados en algunos casos para atender a los requerimientos del análisis económico que se pretende llevar a cabo. En el caso del

sistema del río Mijares, el modelo de simulación original (Sopeña et al., 2002) se ha completado con la incorporación de la componente subterránea y el uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas, lo cual resulta fundamental para que los resultados del análisis económico sean representativos.

2. *Puesta a punto de un evaluador económico de la asignación del recurso realizada por SIMGES.* Se ha desarrollado el módulo ECOWIN, integrado en el Sistema de Apoyo a la Decisión AQUATOOL, para llevar a cabo estos cálculos. El programa realiza llamadas sucesivas al módulo de simulación SIMGES de AQUATOOL, y posteriormente actúa como postprocesador, evaluando económicamente los flujos obtenidos con SIMGES de acuerdo con las curvas de demanda y costes de bombeo definidos por el usuario.
3. *Incorporación de funciones de valor económico del agua en los distintos usos, así como de los costes de operación en el sistema.* Las demandas se representan mediante funciones económicas mensuales que expresan la relación entre el agua suministrada y su valor marginal para la demanda en cada mes del año, ceteris paribus. La precisión en la definición de estas curvas de demanda, asumidas como información exógena para los modelos, es fundamental en la fiabilidad de los resultados del modelo. La información disponible para el desarrollo de las curvas económicas de demanda para el riego en el Júcar es actualmente limitada. En muchos casos las curvas han tenido que ser inferidas de estudios para otras zonas con características análogas, con las correcciones y adaptaciones oportunas. Para las demandas urbanas se han considerado curvas de elasticidad constante, partiendo un estudio previo (véase García Valiñas, 2006) en el que se estima la elasticidad-precio en el uso urbano en el Comunidad Valenciana.
4. *Comparación de los resultados del caso base con la simulación de una perturbación que depende de la variable a estimar (caso modificado).* Para obtener la aproximación del coste del recurso para un punto del sistema y en un intervalo de tiempo (un mes determinado) la perturbación consiste en agregar (o extraer) en el punto a analizar un volumen diferencial de agua (Δ Volumen), y se evalúa el beneficio económico total. El cociente Δ Beneficio/ Δ Volumen es una aproximación al coste marginal del recurso. Éste refleja el coste económico de la escasez relativa del recurso, con los criterios de asignación declarados. De forma similar se puede evaluar el impacto económico de una perturbación diferencial de las restricciones ambientales, como caudales mínimos en cauces, volúmenes mínimos en embalses, etc. Gracias al uso de la modelación integrada del sistema, no sólo se conocerá el resultado económico global, sino también como repercutirán esos cambios en cada elemento del sistema.

En el Informe se discute primero la metodología y herramientas desarrolladas para la estimación del coste del recurso. A continuación se describe la aplicación de la misma sistemas del río Júcar, Turia y Mijares (capítulos 3, 4 y 5), mostrando la información económica utilizada y los resultados económicos obtenidos, y discutiendo la aplicabilidad de dichos resultados a la DMA. En el último apartado se establece el diagnóstico y las conclusiones del trabajo desarrollado y los trabajos pendientes.

El siguiente personal del GIRH de IIAMA ha participado en este proyecto:

- Dr. Joaquín Andreu Álvarez. Catedrático de Universidad
- Dr. Manuel Pulido Velázquez, Profesor Ayudante Doctor
- D. Miguel Ángel Pérez Martín, Profesor Ayudante de Escuela Universitaria
- Dr. Abel Solera Solera, Profesor Titular de Escuela Universitaria
- Dr. Guillermo Collazos, Ingeniero en Recursos Hídricos y ex-becario FPI en el GIRH
- D. Davide Deidda, Ingeniero Civil, becario FPI y doctorando del DIHMA, UPV
- D. Eduardo Álvarez Mendiola. Ingeniero Civil y doctorando del DIHMA, UPV
- D. Antonio Benítez , becario de colaboración

2. METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS

2.1 INTERPRETACIÓN DEL COSTE DEL RECURSO REQUERIDO POR LA DMA

La Directiva Marco europea del Agua (DMA en adelante) establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, requiriendo identificación, valoración y análisis coste-eficacia de las medidas para lograr el buen estado ecológico de las aguas de la manera más eficiente. Una de las principales novedades que introduce la DMA reside en que para lograr los objetivos de calidad se propone la aplicación de principios (ej. quien contamina, paga), metodologías y herramientas (ej. análisis coste-eficiencia) e instrumentos económicos (ej. poner precio al agua). La Directiva exige a los países miembros un Análisis Económico del Uso del Agua para cada Demarcación Hidrográfica (art. 5 y Anexo III, DMA), con información a partir de la cual se pueda aplicar "el principio de recuperación de los costes de los servicios relacionados con el agua, incluidos los costes medioambientales y los relativos a los recursos" (art. 9, DMA). La definición de *servicios relacionados con el agua* engloba tanto la extracción, embalse, depósito, tratamiento y distribución de aguas superficiales y subterráneas, como la recogida y depuración de aguas residuales, que vierten posteriormente a las aguas superficiales (art. 2,

DMA). Frente a la falta de unanimidad en la literatura sobre los conceptos y procedimiento de cálculo, en este trabajo se propone una metodología y unas herramientas para estimar de forma sistemática en un sistema de recursos hídricos el coste de oportunidad del recurso en un sistema de recursos hídricos.

El *coste del recurso* generalmente se asocia con el *coste de oportunidad* o beneficio neto al que se renuncia cuando un recurso escaso es asignado a un uso en lugar de a otros posibles. El coste del recurso en el agua surge de una asignación económicamente ineficiente del recurso (en cantidad y/o calidad) en el tiempo y entre diferentes usuarios: se produce cuando usos del agua alternativos generan un valor económico mayor que el uso presente o previsto para el futuro. Puede haber una gran variedad de razones por las que esto se produce, incluyendo motivos institucionales, como los derechos históricos en el uso del agua (Brouwer, 2004).

El coste de oportunidad está relacionado con el valor del agua de forma no transitiva (Briscoe, 1996). El uso urbano de agua es generalmente un uso de poco volumen y alto valor. Los *costes de uso* son relativamente altos, mientras que los *costes de oportunidad* (impuestos sobre otros como consecuencia del uso del agua) son relativamente bajos. Al contrario, el suministro de agua para riego supone un gran volumen y, en general, un bajo valor añadido. El *coste de uso* es con frecuencia modesto, pero cuando compite con el uso urbano el *coste de oportunidad* es alto. Sin embargo, el coste de oportunidad del agua de riego es con frecuencia sobreestimado, ya que aunque los requerimientos de agua son grandes, las fluctuaciones temporales son importantes y la garantía de suministro requerida es mucho más baja que para el suministro urbano.

Desde el punto de vista de la gestión del agua como un recurso económico el reto clave es conseguir que se tenga en cuenta el coste de oportunidad real del agua en la utilización del recurso. La eficiencia económica en la gestión del recurso exige que se conozcan e incorporen los costes de oportunidad del recurso en las decisiones. Además, las tarifas que incluyen el coste de oportunidad transmiten al usuario una señal de escasez del recurso, incentivando un uso eficiente del mismo. A pesar de la aparente simplicidad del concepto, su aplicación es muy compleja. Si, como ocurre en España y en otros muchos países, la asignación del agua no se realiza generalmente a través del mercado, la determinación del coste de oportunidad del uso del recurso en cada momento y en cada lugar es una tarea muy complicada, y requiere de una metodología de análisis de sistemas apoyada en un adecuado sistema de valoración económica del valor del agua en cada uso.

Se propone una metodología y unas herramientas para estimar de forma sistemática en un sistema de recursos hídricos el coste de oportunidad del recurso. Para ello definimos el *coste marginal de oportunidad del recurso* (CMOR) en un punto del sistema y en un instante como el coste que supone para el sistema el disponer de una unidad menos de recurso en ese punto y en ese instante (Andreu et al., 2004). Este valor es un indicador de la escasez de agua en el sistema y de la disposición de pago del sistema productivo y de los usuarios finales del agua para mitigar esa escasez. Lógicamente este valor varía de forma dinámica en el espacio y el tiempo.

2.2 METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN

La variabilidad espacio-temporal del coste del recurso sólo puede ser capturada mediante un modelo hidrológico-económico del sistema capaz de reproducir la variabilidad espacio-temporal del recurso, a la vez que incorpora la variabilidad de las demandas económicas del sistema y la operatividad de la infraestructura que regula y distribuye el recurso. El modelo debe realizar un análisis económico integrado a nivel de cuenca, modelando conjuntamente tanto los recursos superficiales y subterráneos. Los input económicos incluyen las funciones de demanda del agua y los costes variables de operación del sistema. Las demandas para los distintos usos se representan mediante funciones económicas que expresan la relación entre el agua suministrada y su valor marginal. El beneficio para un volumen de agua disponible es igual al área bajo la curva de demanda (disposición total a pagar por ese agua). Integrando desde un nivel genérico de agua disponible hasta el nivel de suministro máximo se obtiene la expresión del *coste económico de escasez* versus nivel de suministro. Para reproducir la variabilidad espacio-temporal en la disponibilidad del recurso se emplean series hidrológicas extensas o series sintéticas.

El uso de modelos hidro-económicos de simulación y de optimización permite obtener dos variantes complementarias de la estimación de los costes de oportunidad definidos. Si consideramos como función objetivo el beneficio económico neto agregado en la asignación del agua en el sistema, el *modelo de optimización* nos permite valorar el CMOR mediante el análisis de los precios sombra o valores duales. Estos valores corresponden a una asignación económicamente óptima del agua en una situación de mercado perfecto (Pulido, 2003). Por otro lado, un *modelo de simulación* asume que el sistema es gestionado de acuerdo con unas reglas a priori. El CMOR puede ser estimado como la variación de beneficios que ocurriría si hubiera una unidad menos de recurso en un punto e instante determinados. Mientras que el modelo de optimización proporciona una valoración normativa que constituye un techo ideal o

valor máximo para el coste de oportunidad, el de simulación permite una valoración positiva correspondiente a la gestión del sistema mediante reglas predefinidas, ej. prioridades legales en la asignación del recurso, permitiendo reproducir el *modus operandi* del sistema.

El enfoque de simulación es conceptualmente sencillo, computacionalmente más simple, y consigue resultados aproximados a los que se obtienen mediante optimización. La metodología parte de la puesta a punto de un modelo de simulación de la gestión de la cuenca en el que estén caracterizadas todas las componentes relevantes (recursos superficiales y subterráneos, infraestructuras, demandas, etc.) y que permita una representación razonable de distintas políticas de gestión. Se asocian funciones económicas a los distintos elementos modelados, que representa el coste/beneficio unitario para el sistema los distintos niveles de flujo o suministro a cada elemento. Se comparan los resultados económicos para el *caso base*, que representa la asignación actual, y el *caso modificado*, constituido por el caso base más una pequeña perturbación consistente en añadir (o detraer) una unidad diferencial de caudal en el elemento e instante de interés. En el caso modificado el modelo lleva a cabo una nueva asignación del recurso, usando las reglas de reparto, y posteriormente se evalúa el beneficio económico total y se calcula la diferencia de beneficios totales entre el caso base y el modificado. El cociente entre la variación de beneficio económico y la variación de caudal es una aproximación al coste marginal del recurso, CMOR. Este valor es una aproximación al valor marginal del recurso. Sólo se puede hablar estrictamente de valor del recurso en un sistema optimizado económicamente.

2.3 HERRAMIENTAS. AQUATOOL (SIMWIN) Y MÓDULO ECOWIN.

El desarrollo de los modelos hidro-económicos de simulación y de optimización descritos puede hacerse "ad-hoc" para un sistema específico (Pulido Velázquez, 2003), o recurrir al uso de herramientas genéricas integradas en Sistemas Soporte de Decisión (SSD).

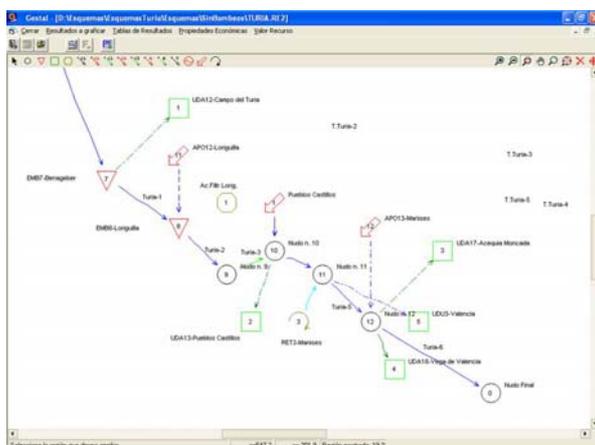


Figura 1 Ventana principal de ECOWIN con vista parcial del esquema del sistema del río Turia

Se han desarrollado módulos en el SSD AQUATOOL (Andreu et al., 1996) que incorporan herramientas para aplicar la metodología descrita, tanto de simulación como de optimización (Collazos et al., 2004; Pulido et al., 2004). Éstas se están aplicando a la cuenca piloto del Júcar, donde se habían desarrollado modelos hidrológicos de simulación mediante el módulo SIMGES de AQUATOOL con motivo del Plan Hidrológico de Cuenca, al igual que en otras muchas cuencas españolas. Por tanto, es posible aplicar el mismo enfoque en otras cuencas españolas.

Una extensión de la metodología y herramientas descritas se está llevando a cabo para incluir los aspectos de calidad, con el fin de simular los efectos de las medidas en las cuencas. Las interacciones de calidad y cantidad de agua entre los subsistemas superficial y subterráneo exige la modelación integral de la cuenca. La herramienta desarrollada para la modelación conjunta de la gestión y la calidad del agua puede ser usada para simular simultáneamente varios indicadores de calidad. De esta forma se pueden calcular los costes de oportunidad resultantes de la necesidad de satisfacer los objetivos medioambientales de calidad. La comparación de los costes de oportunidad usando los enfoques de optimización y simulación también sería posible. Los tres modelos (simulación, optimización y evaluación de la calidad) incluidos en el mismo SSD, AQUATOOL, pueden ser utilizados de forma iterativa e interactiva para el análisis económico perseguido.

2.4 COSTE DE OPORTUNIDAD DEL MANTENIMIENTO DE CAUDALES ECOLÓGICOS

El uso del evaluador económico permite calcular el impacto económico de diferentes niveles de caudal mínimo que se apliquen sobre los restantes usos de la cuenca. Los resultados obtenidos constituyen una importante fuente de información a la hora de valorar el coste de oportunidad

de introducir restricciones ambientales, información a contrastar con la cantidad que la sociedad está dispuesta a asumir para mejorar el buen estado del entorno fluvial. Con una metodología similar a la reseñada para el CMOR, podemos estimar el coste marginal de oportunidad de establecer unas restricciones de caudal mínimo en un tramo de río variando comparando los resultados económicos entre el caso base y los casos modificados perturbando la restricción ambiental.

En el glosario de términos de la Guía WATECO (2002), los costes medioambientales son definidos como el coste de los daños que los usos del agua imponen en el medioambiente y los ecosistemas y en aquellos que usan el medioambiente. Dada la dificultad de estimar los costes ambientales de los servicios relacionados con el agua como daños al ecosistema, en ciertos casos podría obtenerse una valoración indirecta de componentes del *coste medioambiental* (art. 9, DMA) de ciertos servicios del agua mediante el coste marginal de oportunidad de las medidas ambientales que permiten mantener o alcanzar el buen estado ecológico requerido por la DMA. De esta forma, para el propósito del análisis de recuperación de costes, el coste de las medidas para reducir, eliminar o mitigar los impactos ambientales puede ser empleado como proxy o indicador de los costes externos medioambientales, lo cuales han de ser internalizados de alguna forma (Brouwer et al., 2004; Maestu et al., 2004). El coste de las medidas implementadas para evitar o mitigar el daño ambiental potencial representa la cantidad del coste medioambiental actualmente internalizada.

Esta definición puede ser aplicada a la valoración del coste medioambiental que los servicios de regulación y derivación producen (art. 9, DMA) al alterar el régimen de caudales en el río aguas abajo. Dado que es muy difícil valorar el coste ambiental de estos servicios como daños al ecosistema, y que la corrección de esa alteración de caudales lleva normalmente al establecimiento de caudales mínimos como compensación, una forma de valorar el coste ambiental de esos servicios sobre el sistema es valorar el coste para los usuarios del sistema de mantener esos caudales mínimos, estimando el coste de oportunidad asociado.

Por otro lado, las restricciones de caudales mínimos ambientales constituyen medidas para aumentar la calidad ecológica en el sistema, tanto físico-química (por aumento de la dilución al aumentar los caudales circulantes) como biológica, y por tanto forman parte de las medidas cuyo coste potencial debe ser evaluado para identificar la combinación más rentable de medidas (art.11 y Anexo III, DMA). El CMRA puede también aplicarse para justificar

económicamente derogaciones en el caso de la existencia de costes desproporcionados (art. 4, DMA).

2.5 FUNCIONES ECONÓMICAS DE DEMANDA

En el módulo de evaluación económica, para los distintos usos se emplean mediante funciones económicas que expresan la relación entre el agua suministrada y su valor marginal a nivel mensual o anual. La precisión en la definición de estas curvas de demanda, asumidas como información exógena para los modelos, es fundamental en la fiabilidad de los resultados del modelo. La función que proporciona el beneficio para un volumen de agua disponible es igual al área bajo la curva de demanda hasta ese nivel de suministro, y equivale a la disposición total a pagar por esa cantidad de agua. Integrando desde un nivel genérico de agua disponible hasta el nivel de suministro máximo se obtiene la expresión del *coste económico de escasez* versus nivel de suministro (Fig. 2).

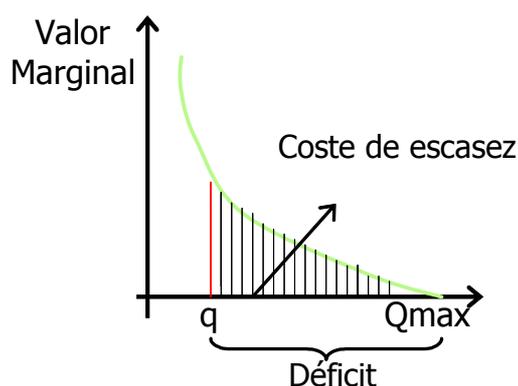


Figura 2 Funciones económicas de demanda, déficit y coste de escasez

2.5.1 Funciones económicas de demanda en el regadío

Los cálculos de la demanda de agua para riego se basan en la evaluación del valor del agua para los regantes bajo condiciones de escasez. El valor marginal del agua se define como la máxima cantidad de dinero que el regante está dispuesto a pagar por el uso de una unidad adicional de recurso.

La típica curva de demanda de riego tiene tres *tramos*: un tramo inelástico inicial, en el que el regante no responde al cambio de precio, manteniendo cultivos y niveles de riego a costa de su renta, un tramo elástico intermedio, en el que el regante reduce los consumos, cambiando a cultivos de menor consumo o incluso de secano), y un tramo final inelástico, en el que el nivel

de precios obliga a la reducción de cultivos y al abandono hacia seco, hasta el extremo de dejar de regar si el coste marginal del riego supera al valor marginal del agua aplicada. Las posibles estrategias de los agricultores ante un cambio de precios incluyen la reducción de las dosis de riego, sustitución por cultivos menos exigentes en cuanto a necesidades hídricas (extensificación), el paso a cultivos de seco (desafección del regadío), o la adopción de tecnologías de riego ahorradoras y realización de un plan de mejora (Hazell y Norton, 1986; Sumpsi et al., 1998). El grado en que los agricultores reaccionen a un aumento de precio del agua mediante el uso de estas estrategias condicionará la elasticidad de la demanda de agua para riego.

El *sistema de tarifa* es determinante en la influencia del precio como incentivo al ahorro. Sumpsi et al. (1998) realizan un análisis empírico mediante programación matemática del efecto de distintos sistemas tarifarios (variable, fijo por hectárea, binómico, variable por tramos, y con bonificaciones) sobre la demanda, las rentas de los agricultores y la recaudación estatal en quince zonas regables de características muy diferentes en diversas cuencas hidrográficas españolas. De la simulación con el sistema tarifario variable derivan curvas de demanda para cada comunidad de regantes. En su mayoría presentan un primer tramo inelástico, y por tanto sólo se produciría ahorro de agua para tarifas más elevadas (10-30 pts/m³, o 0.06-0.18 €/m³), donde haya cierta elasticidad, lo que podría conllevar pérdidas significativas de renta agraria (15-50%), dificultades en la aplicación de los requerimientos de la reforma de la Política Agrícola Común, y problemas sociales por extensificación o desafección del regadío. Los autores obtienen que la respuesta de los agricultores va a estar fuertemente condicionada por otros factores independientes del precio del agua y el sistema tarifario, como factores estructurales de la explotación agrícola (tamaño de la explotación, diversidad de cultivos, etc.), condiciones agronómicas y climáticas, y restricciones financieras. Si se aplicara tarifa variable con bonificación y existiera una cierta elasticidad se podría generar cierto ahorro sin perjudicar la renta, aunque disminuiría la recaudación. Desde el punto de vista de la recuperación de costes señalan que el mejor sistema tarifario es el fijo por hectárea según cultivo, pues tiene las ventajas del fijo (sencillo, bajo coste de aplicación, alto poder recaudatorio), pero las correcciones según cultivo suponen un cierto incentivo al ahorro en el consumo. Desde el punto de vista del ahorro de agua resulta preferible, en general, la revisión de concesiones sobre la política de tarifas.

García-Mollá (2000) realiza un estudio empírico mediante análisis econométrico de la influencia relativa de distintos factores sobre la demanda de agua en diversas comunidades de regantes

en la Comunidad Valenciana, obteniendo que, al nivel de precios actual y con el sistema de tarificación vigente, el costo no es determinante en el consumo. Los factores que resultan tener mayor influencia sobre el consumo son el cultivo, el clima, el suelo, la tradición de riego, el origen del agua, y variables institucionales u organizativas de las comunidades de regantes.

Blanco Fonseca (1999) analiza, aplicando técnicas estocásticas para poder considerar la influencia de la incertidumbre sobre la disponibilidad del agua, la respuesta de los agricultores ante distintas políticas de modernización de regadíos, estudiando los efectos sobre el uso del agua, renta y gasto público. Factores como el potencial de diversificación de cultivos, la calidad del terreno, o la disponibilidad de agua resultan más relevantes para explicar la modernización de regadíos que el precio del agua, que suele representar un porcentaje reducido del coste total de producción. Aunque desde el punto de vista del agricultor la mejora de la eficiencia de riego induce ahorro, esto es relativo, puesto que los flujos de retorno pueden verse reducidos. Para racionalizar el uso del agua es necesario combinar la mejora de la eficiencia técnica con otras medidas, como tarifas volumétricas, reordenación de concesiones y cambios en el régimen concesional.

La correcta evaluación de la demanda económica de agua para riego es fundamental para un adecuado diseño de políticas de gestión de recursos hídricos, dado que el riego supone un alto porcentaje del consumo total de agua (casi el 80% de la demanda de usos consuntivos a nivel del territorio español; MMA, 2000a, p.40), y se ha convertido en un campo creciente de investigación en los últimos años. Existe una amplia literatura sobre cómo los regantes responden a un cambio en el precio del agua, y sobre cómo simular la respuesta de los regantes ante distintas políticas tarifarias, de subsidios, de limitaciones institucionales, etc. La demanda de agua para la agricultura es una demanda derivada: su valor depende de la contribución que como insumo del proceso agrario supone el agua de riego para la obtención del valor de la producción agrícola. Podemos distinguir dos grandes líneas de valoración: las basadas en análisis residual por desglose del presupuesto de explotaciones agrarias, y las basadas en la valoración de la productividad marginal del agua (Young, 1996b). Existen otras metodologías de aplicación más reducida, como el método hedónico o del valor de la propiedad, que asigna al agua el valor añadido que su disponibilidad supone para las tierras de cultivo, obtenido a partir de datos de precios de venta de parcelas agrícolas. Este método permite obtener solamente un punto en la estimación del valor del agua, y no la curva de demanda completa.

El método clásico de *imputación residual o análisis de presupuestos* (ver, por ejemplo Gibbons, 1986, o Young, 1996b) es el método más utilizado para obtener el valor marginal del agua de riego. Se basa en deducir de los ingresos provenientes de cada tipo de cultivo los costes no atribuibles al agua de riego; se obtiene así una cota máxima del valor de agua de riego. Para ello es necesario admitir que los precios de todos los factores se igualan a los valores de las productividades marginales correspondientes, y que el valor total de la producción puede desagregarse de forma que puede atribuirse a cada recurso su productividad marginal.

En el caso del *análisis de la productividad marginal*, la demanda de un factor de producción viene dada por el valor del producto marginal físico del agua (o valor del aumento de producción por unidad de aumento del agua aplicada), el cual puede aproximarse utilizando diversos métodos. Los más reseñados son los enfoques de función de producción, modelos econométricos, y modelos de programación matemática que incorporan la función de respuesta de los cultivos. La relación entre las cantidades producidas de un determinado cultivo y los inputs del proceso se expresa formalmente en una función de producción, para unos valores dados de las restantes variables agrobiológicas, meteorológicas y del entorno. Las funciones de producción pueden obtenerse directamente de la experimentación, mediante análisis estadístico de datos secundarios o datos de muestras de corte transversal de explotaciones agrarias (métodos econométricos), o indirectamente mediante modelos de simulación agronómicos, que simulan la respuesta de los cultivos bajo distintas condiciones de suelo y clima a la aplicación del agua. Sin embargo, las relaciones agua-cultivo son muy complejas, y no existe ningún modelo integral que pueda englobar todas las cuestiones biológicas, económicas e ingenieriles involucradas en el proceso productivo.

Las funciones de productividad muestran rendimientos marginales decrecientes conforme aumenta la dosis de agua de riego, por encima de un umbral mínimo de agua aplicada. Las funciones de producción más precisas utilizan como variable la evapotranspiración de los cultivos, mejor predictor del desarrollo de los cultivos que el agua aplicada, aunque tienen menor uso en los modelos de gestión económica del agua que aquí analizamos. Los modelos de evapotranspiración son modelos físicos que predicen el rendimiento de los cultivos ante condiciones variables de niveles de salinidad, humedad en el suelo, y estrategias de riego. Suelen asumir una relación lineal entre el rendimiento y la evapotranspiración; normalmente son de uso específico para un lugar determinado, y requieren gran cantidad de datos para su calibración (Dinar y Letey, 1996). Otra categoría la constituyen los modelos de simulación del proceso productivo, ya sean holísticos, que simulan en detalle la producción en un cultivo

determinado (ej.: el modelo CERES para maíz, el modelo COTMOD para algodón, el modelo EPIC, etc.), o específicos que se centran en un determinado input del proceso (ej. modelos que simulan cambios en la humedad el suelo para diferentes regímenes de riego, modelos de salinidad en la zona radicular, etc.). Estos modelos son poco transferibles y requieren gran cantidad de datos mediante ensayos de campo (Dinar y Letey, 1996). Otra práctica frecuente en la literatura consiste en el uso de formas funcionales específicas, que destacan por su flexibilidad y que permiten modelar ciertas propiedades de las relaciones inputs-output en el proceso productivo. Son calibradas para datos de campo y práctica real en parcelas agrícolas. Así las funciones Cobb-Douglas o tipo potencial, las funciones polinomiales, especialmente cuadráticas, y otras más específicas (ej. la función Van Liebig) han sido aplicadas (Dinar y Letey, 1996). Los modelos de optimización, aunque menos usados para el desarrollo de funciones de producción, son en ocasiones una alternativa a modelos econométricos que requieren gran cantidad de datos. Una vez determinada la función de producción de un cultivo, la derivada parcial de la función de producción con respecto a la cantidad de agua nos da la productividad física marginal del agua, que se multiplica por el precio unitario de la cosecha menos el coste variable de producción para calcular el valor marginal del agua. Este enfoque permite obtener estimaciones de demanda para cultivos individuales, y no para parcelas con múltiples cultivos o regiones con múltiples explotaciones.

Los *métodos econométricos* son difíciles de aplicar para la valoración del agua de riego, debido a la poca variación del precio del agua, y por tanto, la escasez de pares de valores precio-consumo para poder realizar una correlación estadística. Por otro lado, los modelos econométricos presentan el inconveniente de que los cambios en la estructura económica subyacente (provocados, por ejemplo, mediante cambios en la política del sector, cambios en la tecnología de producción, nuevos cultivos, oportunidades de mercado, etc.) pueden llevar a valores por encima del rango histórico observado, para los cuales el modelo con parámetros calibrados con datos históricos puede dejar de ser válido. En cambio, los modelos de programación matemática sí que pueden proporcionar información sobre la posible respuesta de los regantes ante posibles cambios estructurales, tecnológicos, de política del sector o de los mercados, tanto a nivel de explotación agrícola como sectorial (Hazell y Norton, 1986). Se han hecho estudios econométricos para el caso de acuíferos intensamente explotados en los que el precio varía al cambiar el coste de bombeo con la profundidad de los niveles en el acuífero. El modelo más utilizado es el basado en la forma funcional potencial, o Cobb-Douglas, función de elasticidad constante en la que el exponente sobre el precio es la elasticidad de la demanda, $Q = cP^\varepsilon$, donde Q es la cantidad de agua, P el precio, c una constante, $c > 0$, y ε la elasticidad-precio de la demanda; proporciona una curva convexa al origen. Aunque sencillo, la función

potencial suele comportarse mejor que otras formas funcionales en términos de varianza explicada. La forma exponencial decreciente también puede proporcionar un buen ajuste, aunque tiene el inconveniente de que es asintótica al eje de abscisas, cuando las demandas reales cortan al eje en el punto correspondiente a la demanda máxima de agua para precio cero. También se han empleado otro tipo de ajustes, como funciones polinomiales, con frecuencia cuadráticas, o semilogarítmicas, que permiten reproducir las características básicas de las curvas de demanda de riego, suaves y convexas hacia el origen.

Debido a la falta de observaciones reales para un amplio margen de precios, las estimaciones de la elasticidad-precio de las demandas de agua de riego generalmente han requerido *programación matemática*. Las funciones de producción describen la relación entre el agua aplicada (y probablemente otros inputs y variables) y la producción para un determinado cultivo, pero la determinación de las curvas de demanda y el valor del agua en producción requiere también una regla de decisión para determinar la elección conjunta por el agricultor del patrón de cultivos, niveles de aplicación del agua y tecnología de riego, condicionada al coste de los inputs y al precio de la cosecha en el mercado. Los modelos de programación matemática permiten obtener la curva de demanda formulando un modelo para una explotación representativa con el objetivo de maximizar el beneficio neto de la producción bajo una serie de restricciones de recursos, técnicas, económicas e institucionales. Los enfoques recientes con programación matemática incorporan la elección de la distribución de cultivos, distribución temporal de la cantidad de riego, y tecnología de riego como endógenos en el modelo. La función objetivo suele ser el beneficio neto de la producción el cual se obtiene restando al beneficio agregado los costes variables asociados tanto al agua como a otros inputs, y los costes variables de capital (mantenimiento, mano de obra, inversiones en tecnología de riego). Los beneficios vienen dados por el producto del precio de mercado de cada cultivo por la cantidad producida, que será a su vez función de los inputs empleados en ese cultivo. Los inputs considerados normalmente son agua, tierra cultivada y capital invertido (relacionado con la tecnología de riego mediante una restricción en el modelo de optimización). La relación entre inputs aplicados y producción puede venir definida mediante las metodologías de funciones de producción comentadas anteriormente.

Las funciones económicas de demanda finalmente adoptadas en este estudio y las hipótesis en que se basan se recogen en los apartados correspondientes en el análisis de cada sistema de explotación considerado.

2.5.2 Funciones económicas de demanda en el uso urbano

La demanda urbana de agua se caracteriza por la exigencia de un nivel de garantía muy elevado, unas condiciones de calidad muy restrictivas y una distribución temporal de los suministros requeridos sensiblemente uniforme (salvo en zonas turísticas o de segunda residencia). Los retornos se producen de forma puntual y localizada y, en general, con características constantes, por lo que una vez depurados pueden ser reutilizados posteriormente en usos con menores exigencias de calidad.

La demanda urbana se suele desagregar en usos residencial, comercial (ej. establecimientos comerciales, restaurantes, hoteles), industrial (suministro a pequeñas y medianas industrias abastecidas por la red urbana) y municipal o servicios públicos (limpieza y riego de calles y jardines, fuentes, servicio de bomberos, etc.). Una cierta fracción del agua aplicada corresponde a pérdidas y consumos no registrados. Dentro del uso residencial se distinguen los usos interiores (ej. bebida, cocina, aseo personal) y los usos externos o "puertas afuera" (ej. llenado de piscinas, limpieza de coches, riego de jardines particulares). El uso residencial puede dividirse también en uso por unidades unifamiliares versus uso en unidades multifamiliares. En estas últimas normalmente no se mide el consumo de forma individualizada, con lo que se reduce el incentivo para reparar fugas o evitar el desperdicio, pero en ellas suele haber menor uso puertas afuera por residente. El resultado es, en general, un menor uso per cápita en viviendas multifamiliares (Hanemann, 1998). En España, la mayor parte del consumo registrado está catalogado como uso doméstico (69%), mientras que el consumo comercial e industrial supone un 21% del total, y el resto, incluyendo servicios públicos y otros consumos, el 10% restante. El porcentaje que supone el agua no medida se estima entorno al 25%, del cual un 25% se debe a pérdidas en la red (AEAS, 2002). La dotación media de agua suministrada a la red es de 284 l/hab/día, de la que corresponden al consumo doméstico unos 170 l/hab/día (AEAS, 1998).

El agua en los usos comerciales e industriales suele tener mayor valor económico que en los usos residenciales. Dentro del uso residencial, el agua en los usos "puertas adentro", uso dominante en invierno, suele ser más valiosa que en los de "puertas afuera", uso dominante en verano. Los usos puertas afuera, aunque suelen representar un porcentaje de cerca de un tercio del uso residencial total (Hanemann, 1998), tienen una gran importancia como fuente de variabilidad en el espacio y en el tiempo. Los estudios econométricos muestran que la demanda urbana de agua viene influida por diversos factores, tales como: el clima (ej. temperatura, lluvia), la configuración urbana (densidad de población, tipo de residencia, presencia de zonas

verdes, etc.), el nivel de renta y el precio del agua (Gibbons, 1986; Hanemann, 1998). En términos generales, niveles más altos de consumo corresponden a climas más cálidos, al período de verano, a mayores niveles de renta y a menor densidad de población.

El consumo suele presentar un marcado patrón estacional dentro del año. Normalmente durante el verano se presentan curvas de demanda más elásticas (curvas en general más horizontales) y de menor valor marginal, debido fundamentalmente al aumento de los usos externos para el riego de jardines y parques en los meses más cálidos (Gibbons, 1986). La demanda para uso externo es más elástica (más sensible al precio) pues se dispone de mayor margen de sustitución y ahorro. Hay una gran variedad de formas en las que la influencia del clima es representada en estudios de funciones de demanda residencial (ver p. ej. Renzetti, 2002; Arbués et al., 2003). Una posibilidad es el uso de datos desagregados mensualmente que permitan la estimación de funciones de demanda estacionales.

La elasticidad en el agua sigue el comportamiento esperado en el consumidor: elasticidad-precio negativa (disminuyen los consumos al aumentar el precio), y elasticidad-renta positiva, por lo que se trata de un bien normal. Uno de los "mitos" tradicionales en relación con la gestión urbana del agua es que los usuarios no responden al precio (Baumann y Boland, 1998). Para justificarlo se han esgrimido diversas razones, entre ellas que el agua es un bien necesario, y por tanto no un bien económico normal (otro mito), que el uso del agua es cuestión de hábitos, que la factura del agua representa una pequeña fracción del presupuesto familiar, etc. Esta corriente de opinión pareciera ser validada por observaciones en los cambios en el uso del agua que muestran como incrementos de precio vienen asociados con el paso del tiempo a incrementos en el uso, en vez de disminuir el consumo. Sin embargo, esta interpretación falla al no reconocer que el uso del agua puede crecer por aumento de la población y de la actividad económica, el cambio climático u otros factores. El consumo realmente cambia con el precio, y el registro de numerosos estudios empíricos cuando hay datos suficientes para aislar el efecto del precio es claro en este punto. Los estudios econométricos sugieren que la demanda de uso residencial puertas adentro es inelástica respecto al precio (no hay sustitutos y es de gran necesidad para el consumidor), mientras que la demanda residencial para uso puertas afuera puede ser elástica. Evidentemente, que una demanda sea inelástica respecto al precio (elasticidad menor que uno en valor absoluto) no significa que no reaccione a los cambios de precio, sino que un incremento en el precio se traducirá en un aumento en el gasto en ese bien, y a la inversa para una disminución de precios. De todas formas la elasticidad de la demanda es siempre significativamente distinta de

ceros. Por otro lado, aunque la mayoría de estudios han estimado demandas residenciales inelásticas, es probable que la elasticidad aumente de forma significativa para precios más altos. El problema es que no disponemos de precios para tramos altos de la curva. Sin embargo, dadas las propiedades del agua como bien necesario para niveles bajos de uso, la demanda de agua será de nuevo inelástica para usos bajos y precios altos.

En el caso de España, son muy pocos los estudios tendentes a caracterizar de forma sistemática las funciones de demanda de los abastecimientos urbanos. En el Libro Blanco del Agua (MMA, 2000a) se determina una curva de demanda agregada para abastecimiento doméstico a partir de datos de precio del agua y consumo per cápita en distintos municipios del territorio nacional, obteniendo un valor de elasticidad-precio del -0.57 , si bien se deja abierta la posibilidad de que esta alta elasticidad responda realmente a una respuesta elástica a los precios (curva de demanda propiamente dicha) o refleje una "forma estructural de comportamiento vinculada más bien a los sistemas tarifarios y hábitos de vida" (MMA, 2000a, p. 263). A esto cabría añadir que se están comparando resultados de municipios en los que los factores determinantes del consumo doméstico (densidad de población, clima, población estacional, usos puertos afuera, nivel de renta, etc.) son muy diferentes, por lo que resulta poco creíble que estas diferencias de consumo se deban principalmente a diferencias en el precio. Trujillo (1994) aplica dos funciones de demanda lineales y una de elasticidad constante para analizar la fijación de una tarifa óptima en la ciudad de Las Palmas. García Valiñas (2002) desarrolla modelos lineales dinámicos para generar, utilizando la información de datos de panel de hogares y empresas, las funciones de demanda residencial e industrial en los municipios de Sevilla, Elche y Gijón. Las elasticidades obtenidas son en todos los casos inferiores a la unidad. A nivel residencial es en Sevilla donde se han obtenido elasticidades mayores, correspondiendo al caso donde se han producido mayores variaciones en las tarifas para el servicio y donde el nivel de precios es superior a la media. Otros estudios relevantes en España de funciones de demanda urbana son el de Arbués et al. (2000) para la ciudad de Zaragoza, utilizando también un modelo dinámico con datos de panel, o el de Martínez-Espiñeira (2002), que incorpora el efecto de las condiciones climáticas a escala mensual en la demanda urbana en el noroeste español.

El único estudio que conocemos sobre demanda urbana en la Cuenca Hidrográfica del Júcar es el de García Valiñas (2005) para el MMA. En dicho estudio se realiza un ajuste econométrico que relaciona el volumen anual facturado con la variable precio y otras variables explicativas: renta per cápita, porcentaje de viviendas residenciales y segundas residencias, tamaño medio de los hogares, localización del municipio (costa, interior), así como dos variables destinadas a

recoger las actividades industriales (empleo industrial) y turísticas (número de habitaciones disponibles) del municipio. El ajuste se hizo con un panel de datos de 125 municipios de la Comunidad Valencia para el período 2000-2003. El estudio reveló una elasticidad-precio de -0.65. Por tanto, una reducción del 1% en el consumo requeriría un aumento del 1.54% en el precio. Este valor es superior a los que normalmente se presentan en la literatura. Sin embargo, el ajuste para la variable precio es significativo con un nivel de confianza del 90%.

En los modelos empleados para el estudio del coste del recurso hemos optado por caracterizar la demanda de abastecimiento urbano mediante funciones de pérdidas económicas en función del déficit en el suministro, de acuerdo con las curvas de demanda económica de agua urbana. Las curvas de demanda aproximan lo que los usuarios finales del agua están dispuestos a pagar por cada unidad adicional de agua, variable en función del volumen suministrado. La pérdida o coste de escasez viene dada por el área (integral) bajo la curva de valor marginal económico del agua entre el punto de no déficit y el nivel de suministro en cuestión. Partimos de datos de suministro urbano en un año y precio medio observado para ese año.

Dado que normalmente no se dispone de muchos pares precio-cantidad observables, con frecuencia se caracterizan las curvas de demanda urbana utilizando una parametrización o forma funcional sencilla y con sentido económico, y calibrándola a partir de un par inicial cantidad-precio medio observado, y una estimación de la elasticidad de la demanda. La forma funcional más utilizada es la Cobb-Douglas, función potencial que asume elasticidad constante a lo largo de la curva. Aunque se espera que la elasticidad varíe a lo largo de la curva frente a precios crecientes, no hay ajustes de elasticidad basados en una base teórica fiable. Asumiendo elasticidad-precio constante (función Cobb-Douglas), la cantidad Q consumida viene dada en función del precio P según la relación:

$$Q = c \cdot P^\varepsilon \quad (2.1)$$

siendo c un factor de escala, $c > 0$, y ε la elasticidad-precio de la demanda, $\varepsilon < 0$. Conociendo un par (q_1, p_1) y la elasticidad-precio ε podemos determinar el valor de la constante c . El valor de c es calculado usando el precio unitario medio y la demanda total anual, de acuerdo con Ec. 2.2.

$$c = q_1 \cdot p_1^{-\varepsilon} \quad (2.2)$$

Conforme el nivel de suministro se aleja del volumen máximo requerido (nivel de déficit cero) los precios se incrementan notablemente, dado que la dotación per cápita se va aproximando a la estrictamente necesaria por cuestiones de uso personal (aseo e higiene, bebida y alimentación). El comportamiento de la curva para suministros muy escasos no es importante a efectos del modelo, ya que al tener las demandas urbanas prioridad en el suministro, se consideran garantizados unos volúmenes mínimos.

Las funciones de penalización representan las pérdidas económicas en función del déficit o coste de escasez en la demanda residencial. Estas pérdidas se obtienen como el área bajo la curva de demanda entre el nivel de déficit cero en la demanda, $QMAX$, y un nivel de suministro $q < QMAX$. El nivel $QMAX$ o demanda máxima se define como la cantidad máxima de agua que los usuarios requerirían si el agua fuera tarifada a su nivel de precios actual (asumiendo la tarificación típica de precios medios) y la disponibilidad de agua no estuviera acotada. En cada período en que el agua suministrada es inferior a la máxima demanda por los usuarios, el coste de escasez representa el valor económico perdido o la disposición de pago para obtener el suministro máximo. La integral de la inversa de la función de demanda entre q y $QMAX$ representa la expresión analítica del coste de escasez asociado a ese nivel de suministro:

$$CEC_i(q) = \int_q^{QMAX_i} \left(\frac{Q}{c_i} \right)^{1/\varepsilon_i} dQ = \left(\frac{1}{c_i} \right)^{1/\varepsilon_i} \frac{QMAX_i^{1+1/\varepsilon_i} - q^{1+1/\varepsilon_i}}{1 + 1/\varepsilon_i} \quad (2.3)$$

Los servicios de agua urbana en la DHJ se prestan a una población de 4.3 millones, junto con otros consumos urbanos (industria, comercio y servicios públicos). El agua total suministrada ha sido estimada en 360 hm³/año, con una eficiencia media en la red del 80% (CHJ, 2005). Los servicios incluyen el suministro y tratamiento de agua potable (gestionados por los Ayuntamientos o a través de empresas mixtas o concesiones), y la recogida, transporte, depuración y vertido de aguas residuales (la mayoría gestionadas por la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas de la Comunidad Valenciana). La recuperación de costes de los servicios urbanos de agua en 2002 se estima en un 95% (MMA, 2005). El coste total por habitante de estos servicios extrapolado al conjunto de población residente en la DHJ se estima en unos 119 € anuales, siendo la cantidad media anual pagada de 96 €. La mayor parte de las subvenciones se localizan en los servicios de tratamiento y depuración de aguas residuales. El coste unitario por metro cúbico facturado se establecería en 1.06 € (MMA, 2005), cifra que adoptamos como precio medio al nivel de consumo actual para las UDAs modeladas. En esta cifra no se incluye el coste del servicio de alcantarillado, 0.42 €/m³, ya que este no es estrictamente un coste asociado al suministro de agua urbana.

3. SISTEMA DEL RÍO JÚCAR

3.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DEL JÚCAR

El Sistema Júcar comprende la totalidad de la cuenca del río Júcar, además del área y servicios efectivamente atendidos por el Canal Júcar-Turia y las subcuencas litorales comprendidas entre la Gola de El Saler y el límite de los términos municipales de Cullera y Tavernes de Valldigna, incluyendo también la Cuenca endorreica de Pozohondo.

Se trata del sistema de explotación más extenso (22.378 km²) y con más recursos hídricos de la Confederación Hidrográfica del Júcar y se articula en 18 unidades hidrogeológicas. Los cauces que constituyen la red hidrográfica del Sistema Júcar son el propio río Júcar y sus afluentes, entre los que cabe destacar por su importancia los ríos Valdemembra, Arquillo, Magro, Albaida, Reconque, Sellent y el mayor de todos, el Cabriel.

Los últimos datos disponibles en la página web de la CHJ indican que los recursos totales del Sistema ascienden a 2384 hm³, la mayor parte procedentes de la descarga de los acuíferos, de los que un 75% están actualmente regulados (1793 hm³). La demanda global del sistema alcanza actualmente un valor de 1189,39 hm³ anuales, de los que la mayor parte, el 87%, corresponde al sector agrícola. Las demandas urbana e industrial suponen un valor del 8,6% y 4,4% respectivamente. La superficie interesada por la cuenca se extiende por las provincias de Albacete, Cuenca, Valencia y Teruel.

La red fluvial

Los cauces que constituyen el sistema del Júcar tienen un régimen marcadamente mediterráneo, caracterizado por unas fuertes sequías en verano frente a inundaciones en otoño. Sólo el río Júcar supera un caudal medio de 10 m³/s, con una aportación media de 1825 hm³ anuales.

En el cuadro adjunto (

) se han representado los cauces más importantes así como las características más relevantes, en la figura 3 se puede ver el mapa de la CHJ dividida en sus principales cuencas.

Río (longitud)	Nacimiento	Sistema	Cuenca [km ²]	Desemboca	Ap. media [hm ³ /año] (98/99)
JÚCAR (497,5 km.)	Cerro de San Felipe (Mtes. Universales)	Júcar	21578,5	Cullera	671,56
CABRIEL (262,2 km.)	Muela de San Juan (Mtes. Universales)	Júcar	4754,2	Júcar	220,82
ALBAIDA (38 km.)	Sierra Mariola (Alcoy)	Júcar	1300,5	Júcar MD	0,36
MAGRO (125,9 km.)		Júcar	1543,7	Júcar MI	-

Tabla 1: Red Fluvial

Demandas principales

Las demandas agrícolas del sistema están localizadas principalmente en la zona de la Mancha Oriental, donde se encuentra una amplia extensión de riegos por bombeo que han provocado el descenso del nivel freático del acuífero con efecto drenante de los caudales del río Júcar; y en la zona aguas abajo del embalse de Tous, donde se abastecen por un extenso sistema de acequias y canales. En los apartados siguientes se presentará una descripción detallada de las unidades de demanda presentes en el sistema.

Las demandas urbanas se concretan en las tomas para el abastecimiento de las ciudades de Valencia, Albacete, Sagunto y de la Marina Baja mediante las obras del Acueducto Tajo-Segura. Las centrales hidroeléctricas de Cofrentes, Cortes II, Millares y la toma por la refrigeración de la central nuclear de Cofrentes representan las principales demandas industriales abastecidas por aguas superficiales. Se trata en principalmente de demandas no consuntivas.

Criterios de asignación

De acuerdo con el art. 24 del Plan Hidrológico del Júcar (PHJ), DE los usos existentes, dejando aparte el abastecimiento, se otorga la mayor prioridad a los riegos tradicionales de la Ribera del Júcar. Una vez satisfechas estas necesidades se otorgarán los recursos para el mantenimiento y la consolidación de los riegos atendidos con el acuífero de la Mancha Oriental y con el Canal Júcar-Turía. Comprobada su compatibilidad con el resto de los usos del sistema de explotación, se movilizarán los caudales mínimos establecido en el PHJ, que se concretan en: 2m³/s aguas abajo del embalse de Alarcón, 400 l/s aguas abajo del de Contreras, 600 l/s aguas abajo de

Tous y hasta la toma de la Acequia Real del Júcar, y 200 l/s a mantener en el río Magro aguas abajo del embalse de Forata. Satisfechas todas las necesidades anteriores, podrán aprovecharse los recursos sobrantes para paliar la sobreexplotación de los acuíferos y déficit de abastecimientos del área de Vinalopó-Alicantí y Marina-Baja. Se asigna el incremento de regulación del sistema de Cortes a las necesidades de refrigeración de la Central Nuclear de Cofrentes (con un volumen consuntivo máximo de 20 hm³/año).

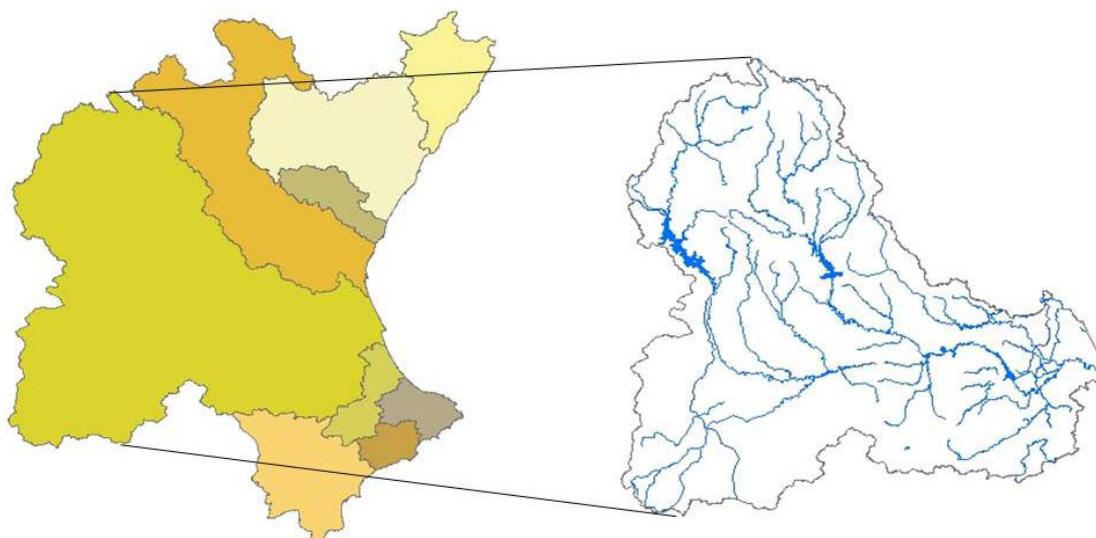


Figura 3: Sistema de explotación del río Júcar.

3.2 MODELO DE SIMULACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RÍO JÚCAR

3.2.1 Descripción del modelo conceptual

El sistema de recursos hídricos del río Júcar se ha modelado con el programa de simulación de la gestión de recursos hídricos "SIMGES", integrado en el Sistema de Soporte a la Decisión para la Planificación de los Recursos Hídricos SSD-AQUATOOL. Se realizaron varias simulaciones para distintos escenarios, evaluando la disponibilidad de recursos y el grado de satisfacción de las demandas mediante el proceso que se expone a continuación.

El sistema de la cuenca del río Júcar puede ser conceptualizado para la modelación de su gestión con distintas resoluciones, contemplando los distintos elementos que lo componen en la realidad, ya sea de forma detallada o de forma agregada, dependiendo de la finalidad del modelo, el tipo de resultados que se esperen obtener y la metodología de análisis de los mismos que se vaya a emplear. Así, los modelos recientemente empleados por el Grupo de

Recursos Hídricos del Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente (DIHMA) de la UPV son los siguientes:

- Esquema conceptual utilizado en el documento (DIHMA, 1997) "Modelos de Evaluación y Gestión de Recursos Hidráulicos del Júcar, incluyendo el Análisis del Comportamiento del Acuífero de la Plana". Convenio entre la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) e Ingeniería Civil S.A. (INCISA).
- Esquema conceptual utilizado en el documento (DIHMA, 2001) "*Implantación en la Confederación Hidrográfica del Júcar de un Sistema Soporte de Decisión en materia de Recursos Hídricos*". Convenio realizado entre el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente (DIHMA) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ).
- Esquema conceptual desarrollado por M.S. Ingenieros en el trabajo: "Estudio de utilización conjunta de los recursos hídricos superficiales y subterráneos en las cuencas media y baja de los ríos Júcar y Turia". Septiembre 2002, Valencia.
- Esquema conceptual desarrollado por Davide Deidda en el Ejercicio Final de Carrera "Análisis económico de sistemas de recursos hídricos mediante modelos de simulación: aplicación a la cuenca del Río Júcar". Octubre 2004, UPV - Università degli Studi di Cagliari.

En el ámbito del trabajo objeto del estudio, se ha pretendido disponer de un modelo de simulación para la fase de gestión que, a su vez, sea válido para su aplicación en el análisis económico. Por este motivo el esquema conceptual definitivamente adoptado se ha sometido a las siguientes condiciones:

- Compatibilidad para los estudios de planificación y gestión. Si bien las finalidades de los dos tipos de estudios no son las mismas, es conveniente que los esquemas y modelos utilizados en ambos tipos de aplicaciones sean lo más coherentemente posible entre sí. Esto no implica necesariamente que los esquemas y modelos deban de ser exactamente iguales, sino que mantengan una coherencia de datos, agregaciones de elementos y resultados que permita suponer que los sistemas modelados son sustancialmente idénticos.
- Obtención de resultados para todos aquellos elementos individuales que interesan el análisis económico.
- Obtención de resultados agregados que sean de interés para el análisis económico.
- Compatibilidad con la disponibilidad de datos para alimentar los modelos que puedan razonablemente ser recabados e introducidos en el sistema.

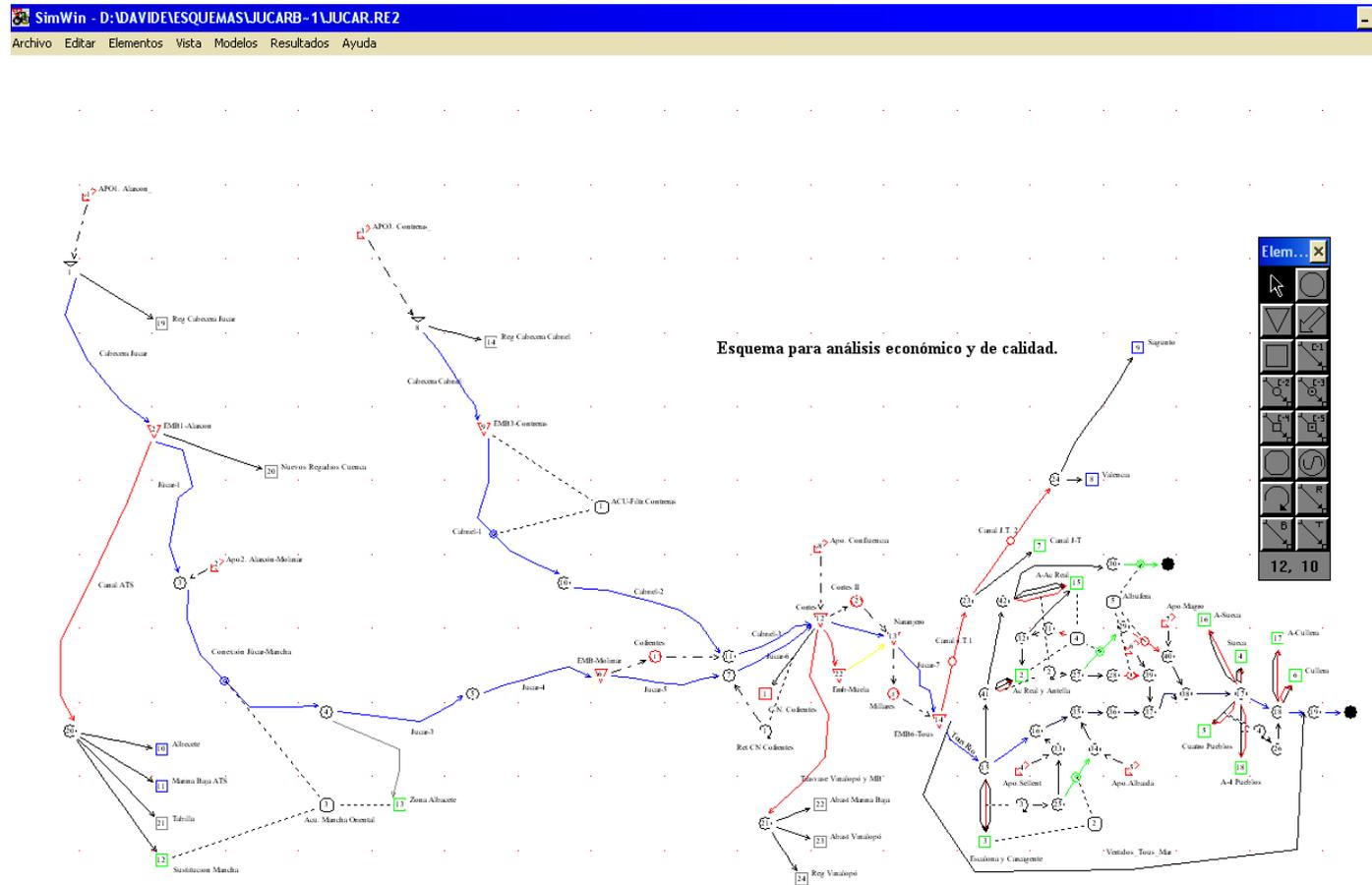


Figura 4: Esquema del modelo del río Júcar

3.2.1.1 Río Júcar hasta el embalse de Molinar

Esta parte del sistema incluye el río Júcar desde su cabecera hasta el embalse de Molinar (figura 5). Debido a las escasas afecciones presentes aguas arriba del embalse de Alarcón (de 1112 hm³ de capacidad), se considera una aportación restituida a régimen natural correspondiente a la cuenca del río Júcar entre la cabecera y el citado embalse. Dicha aportación, denominada APO1.Alarcón está ubicada en el elemento EMB1-Alarcón.

Del embalse parte el acueducto Tajo-Segura (Canal ATS) representado por una conducción tipo 1 hasta el nudo al cual se conectan las tomas de las demandas de la ciudad de Albacete, el trasvase a la Marina Baja, la sustitución de bombeos de la Mancha Oriental y la ayuda al suministro de la Mancomunidad del Tabilla (este último se ha incluido con capacidad 0 en el esquema).

A continuación se representa mediante una conducción de tipo 1 el tramo del río Júcar aguas abajo del embalse de Alarcón hasta la estación de Fuensanta, en la que se incorpora la aportación restituida a régimen natural correspondiente al tramo del río Júcar entre los embalses de Alarcón y Molinar, denominada APO2.Alarcón-Molinar.

El tramo de río entre Fuensanta y los Frailes se ve afectado por las detracciones del acuífero de la Mancha Oriental. El sistema se ha modelado mediante una conducción de tipo 3 denominada Conexión Júcar-Mancha que conecta el río con un acuífero pluricelular con dos celdas. Los bombeos existentes se han representado como una demanda con toma ficticia en el río Júcar (caudal nulo) de manera que la demanda sólo se abastece del acuífero.

La conducción tipo 1 *Júcar-3* representa el tramo desde la estación de los Frailes hasta el vertido de Alcalá del Júcar que recoge también los vertidos de los afluentes Valdemembra y Ledaña. Sigue el tramo modelado con una conducción de tipo 1 desde Alcalá del Júcar hasta Molinar.

La regla de gestión asigna al embalse de Molinar un volumen constante ($V_{max}=V_{min}$) y capacidad total de 4.3 hm³.

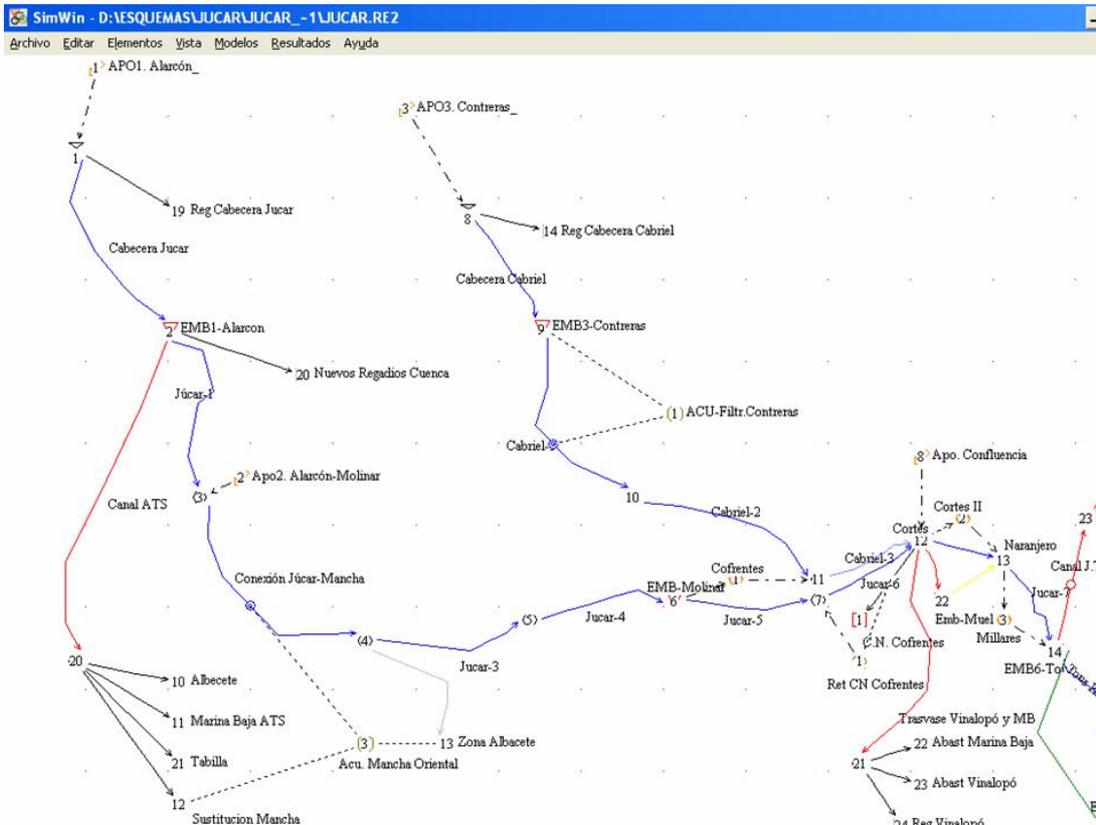


Figura 5: Esquema aguas arriba del embalse de Tous

3.2.1.2 Río Cabriel hasta su confluencia con el Júcar

Las aportaciones de toda la cuenca del Cabriel se han unificado en un único elemento, denominado APO3.Contreras, ubicado en el embalse de Contreras (EMB3-Contreras, 463 hm³). Del embalse parte una conducción de tipo 3 llamada Cabriel-1 que recoge las filtraciones del mismo embalse que se incorporan al río con un desfase temporal a través del acuífero ACU-Filtr.Contreras, seguida por una conducción tipo 1 denominada Cabriel-2. La conducción de tipo 1 denominada Cabriel-3 representa el último ramo del río hasta su confluencia en el río Júcar (figura 5).

Río Júcar entre Molinar y Tous

Desde el embalse de Molinar parte una conducción del tipo 1 que representa el río Júcar hasta la confluencia con el Reconque. En esa confluencia se incorpora la aportación Molinar-Confluencia y el vertido industrial de la central nuclear de Cofrentes. En este tramo se ha dispuesto un caudal mínimo de 300l/s (fuente: Iberdrola). Sigue otro tramo de tipo 1 hasta el embalse de Cortes II (figura 5).

En el tramo Molinar-Cofrentes se representa la derivación de caudal del embalse de Molinar hasta la central hidroeléctrica de Cofrentes. Debido a que la central tiene un caudal máximo de turbinado de $60\text{m}^3/\text{s}$ se considera este límite como el máximo circulante para la conducción.

El embalse de Cortes II (EMB4-Cortes II, volumen máximo 110 hm^3 , volumen mínimo 100 hm^3) está conectado con la toma de la demanda de la central nuclear de Cofrentes y con la aportación denominada APO.Confluencia.

El depósito de la Muela se modela como un embalse con un volumen máximo de 20 hm^3 , altura de 19.5m y superficie de 115 ha . Además se ha tenido que crear una conducción ficticia desde el embalse a un nudo final debido a que el modelo impone que los embalses tengan nudos aguas abajo.

El embalse de Naranjero (EMB5-Naranjero, volumen 20 hm^3 , volumen mínimo 18 hm^3) se encuentra justamente aguas abajo del embalse de Cortes II y se ha conectado al embalse de Tous (EMB6-Tous, volumen máximo de 378 hm^3 , limitado de agosto a noviembre a 72 hm^3 para protección contra avenidas) con una conducción de tipo 1 .

En el tramo Molinar-Tous se han introducido las centrales hidroeléctricas de Cofrentes, Cortes II, Millares.

- *Central Hidroeléctrica de Cofrentes:* se ha introducido la central hidroeléctrica de Cofrentes, con caudal objetivo mensual constante de $52\text{ hm}^3/\text{mes}$ y caudal máximo de turbinación de $156\text{ hm}^3/\text{mes}$ ($60\text{ m}^3/\text{s}$), entre el embalse de Molinar y el nudo 11.
- *Central Hidroeléctrica de Cortes II:* se sitúa a pié del embalse de Cortes, tiene un caudal objetivo mensual constante de $285\text{ hm}^3/\text{mes}$ y un caudal máximo de turbinación de $855\text{ hm}^3/\text{mes}$ ($326\text{ m}^3/\text{s}$).
- *Central Hidroeléctrica de Millares:* el salto hidroeléctrico de Millares se representa como si tomara directamente del embalse de Naranjero y vertiera en el embalse de Tous, su caudal objetivo mensual es $48\text{ hm}^3/\text{mes}$ y su caudal máximo de turbinación $144\text{ hm}^3/\text{mes}$ ($55\text{ m}^3/\text{s}$).

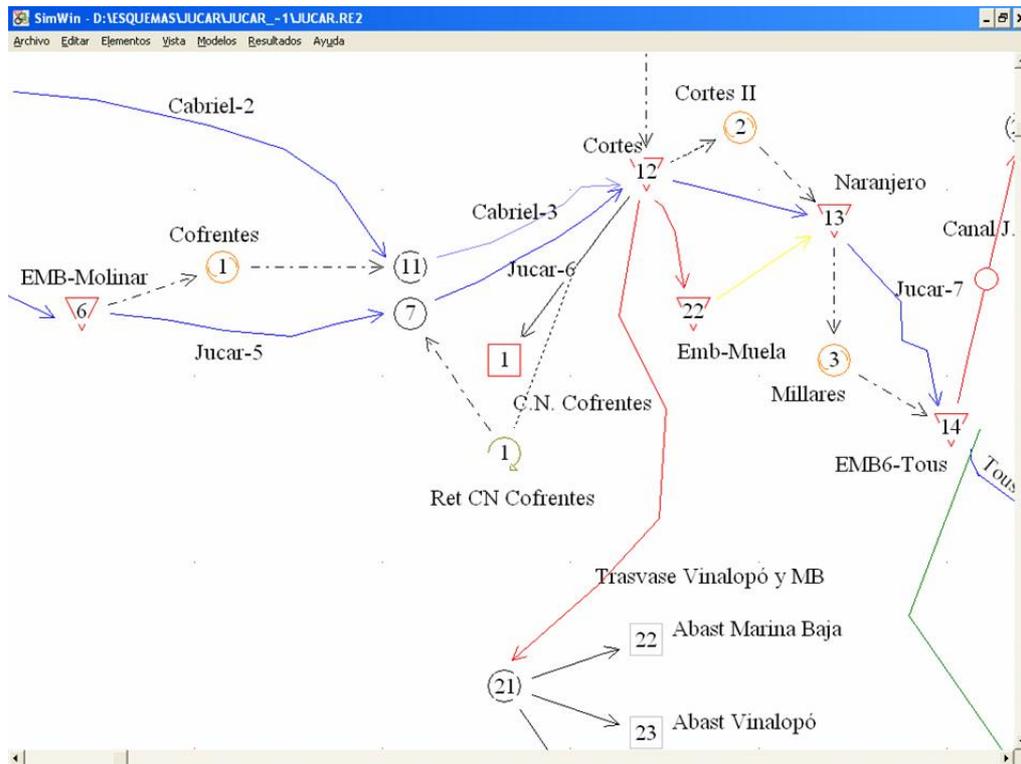


Figura 6: Esquema de las nuevas centrales hidroeléctricas.

3.2.1.3 Río Júcar aguas abajo del embalse de Tous

La mayor parte de los usos de aguas superficiales del sistema del Júcar se encuentran aguas abajo del embalse de Tous. Debido a ello la complejidad del modelo en esa parte es mayor, como puede observarse en la Fig. 7.

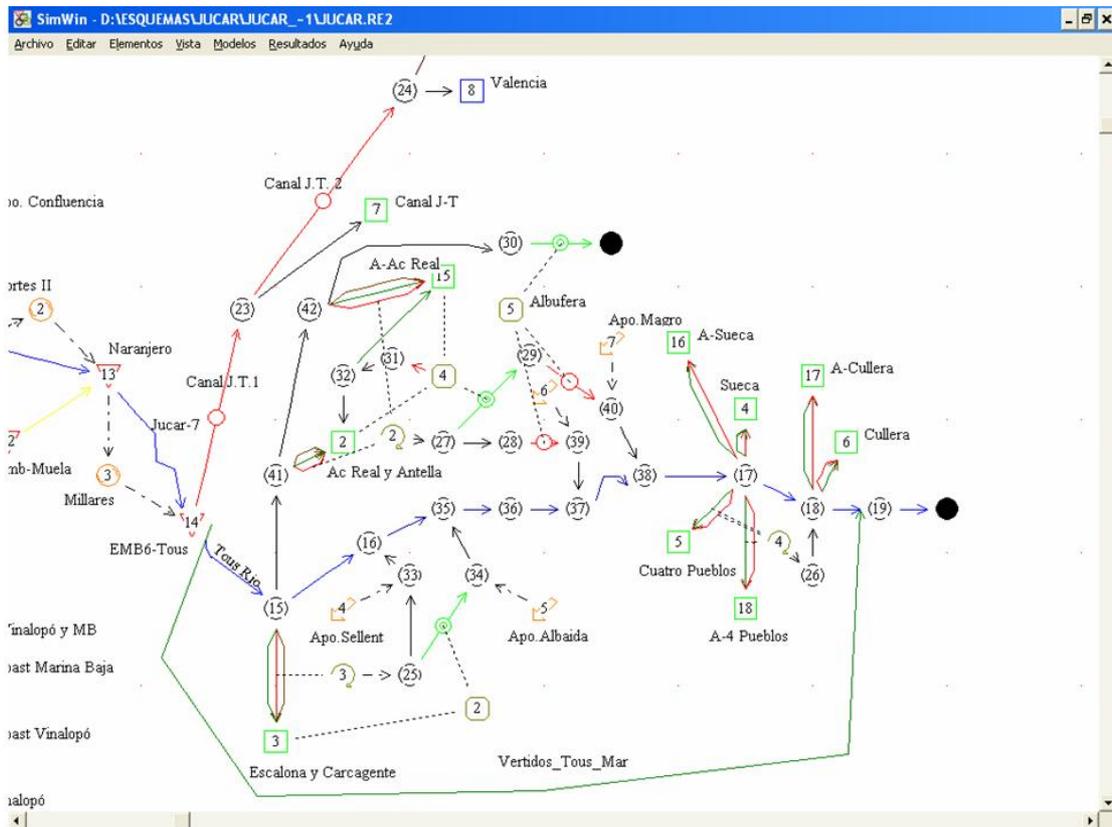


Figura 7: Esquema del modelo aguas abajo de Tous.

El canal Júcar–Turia, considerado con dos conducciones del tipo 2 denominadas Canal J.T.1 y Canal J.T.2 parte del embalse de Tous. Al nudo final del primer tramo está conectada la toma de los Riegos del Canal Júcar-Turia. Dichos riegos se han considerado mediante el elemento de demanda Riegos Canal J-T. El tramo Canal J.T.2 finaliza en el nudo 24, conectado a las tomas de las demandas de las poblaciones de Sagunto y Valencia, ambas consideradas mediante elementos de demanda.

Del embalse de Tous parte una conducción de tipo 1 que representa el tramo del río Júcar aguas abajo del embalse de Tous. Esta conducción finaliza en el nudo 15. Existe otra conducción que parte del embalse de Tous y termina en el nudo final del esquema por la cual circulan los vertidos del embalse al mar, esta conducción se introduce en el modelo para conocer de forma sencilla los caudales que circulan por el río debidos a vertidos del embalse.

Del nudo 15 parten las tomas de los riegos de la Ribera Alta. Estos se han considerado mediante los elementos de demanda Acequia Real y Antella (Cítricos y Arroz) y Escalona y Carcagente que representan, respectivamente, los riegos de la Acequia Real del Júcar, junto

con los de Antella, y los riegos de las Acequias Reales de Escalona y Carcagente. Como se aprecia en la figura, cada elemento de demanda tiene tres tomas (demanda neta, pérdidas por infiltración, retornos superficiales al río), que permiten modelar las ineficiencias de los riegos tradicionales debidas a infiltración y retornos superficiales.

Del nudo 15 parte una serie de conducciones de tipo 1 que representan el tramo del río Júcar aguas abajo de las tomas de los riegos de la Ribera Alta. Por dichas conducciones circulan las sueltas de Tous necesarias para los riegos de la Ribera Baja y se incorporan los retornos superficiales y subterráneos de los riegos tradicionales de la Ribera Alta y las aportaciones intermedia de los rios Sellent , Albaida, Verde y Magro.

Para determinar los retornos subterráneos de los riegos tradicionales de la margen izquierda y derecha se ha tenido que considerar dos elementos acuíferos de tipo unicelular que drenan sus aguas a dos conducciones de tipo 2 las cuales se incorporan al río Júcar. Parte de los retornos de los riegos de la margen izquierda desaguan a la Albufera, lo cual se ha representado mediante una conducción de tipo 2 que infiltra el agua a el elemento acuífero de tipo unicelular Albufera que, a su vez, drena a una conducción tipo 3 donde puede registrarse los volúmenes devueltos por el modelo a la Albufera de Valencia.

Del nudo 17 parten las tomas de los riegos de las Comunidades de Regantes de Sueca y Cuatro Pueblos. Dichos riegos se han considerado mediante cuatro elementos de demanda que representan los cultivos de arroz y cítricos de Sueca y Cuatro Pueblos (A-Sueca, Sueca, A-Cuatro Pueblos, Cuatro Pueblos). La demanda de Cuatro Pueblos retorna parte de su suministro mediante un elemento de retorno al nudo 18 donde puede ser aprovechado por la demanda de la Comunidad de Regantes de Cullera.

Entre los nudos 17 y 18 se ha representado el río Júcar con una conducción de tipo 1. Al nudo 18 se conectan la toma de los riegos de cítricos y arroz de Cullera, que se han considerado mediante los elementos de demanda Cullera y A-Cullera, y una conducción del tipo 1 hasta el nudo 19, la cual representa el tramo del río Júcar desde el azud de Cullera hasta la desembocadura, donde se unen los vertidos de Tous. Finalmente, la conducción del nudo 19 al nudo final se ha puesto para contabilizar los caudales totales del Júcar al mar, incluyendo los vertidos que se producen de Tous, según se explicó anteriormente.

3.2.2 Demandas

En los apartados siguientes se listan todas las unidades de demandas contenidas en el modelo de simulación, describiendo sus características de dotación y uso del agua y definiendo sus funciones económicas. En general se utilizaron los datos de dotación y consumo del modelo existente de la cuenca del Júcar aunque en algunos casos, debido a la modificación de las unidades de demanda anteriores, se han recalculado los patrones de dotación entre diferentes clases de cultivo.

3.2.2.1 Demandas urbanas

Las demandas relativas a los usos urbanos incluidas en el esquema corresponden al abastecimiento de las ciudades de Valencia, Sagunto, Albacete y la Marina Baja, que por sus características de variabilidad mensual del consumo y disponibilidad de pago se pueden repartir en dos grupos:

Demandas de Valencia, Sagunto y Albacete. Están caracterizadas por un modesto incremento del consumo en los meses de verano y no modifican la disponibilidad de pago a nivel mensual, como se observa en la Figura 8.

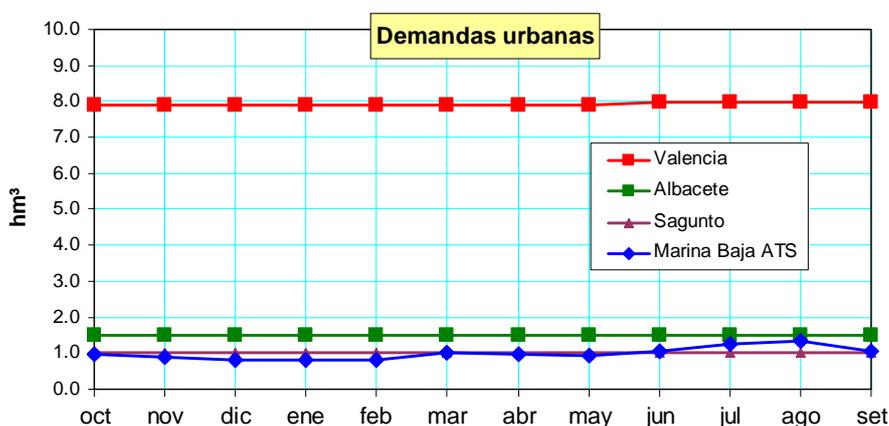


Figura 8: Suministro demandas de Valencia, Albacete, Sagunto.

Demanda Marina Baja ATS. Presenta una fuerte variación estacional provocada por el turismo costero en los meses de verano, lo que supone también un incremento de la disponibilidad de pago estimado en el 30% respecto a los restantes usos urbanos (figura 9 y tabla 2).

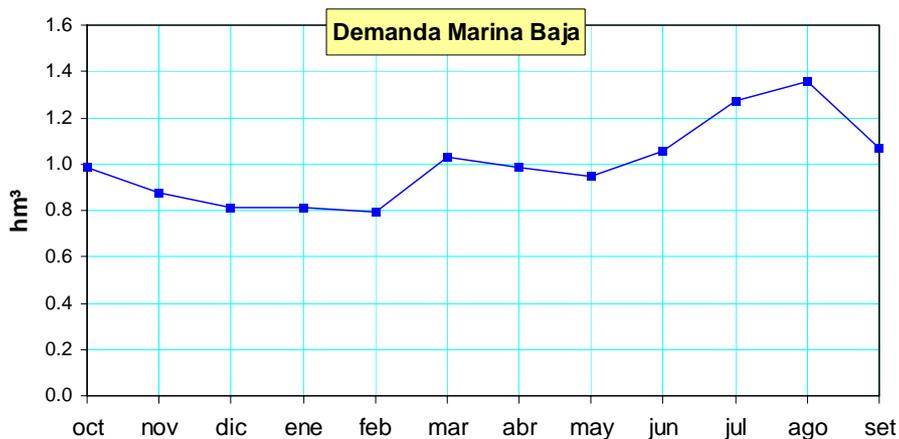


Figura 9: Suministro demanda urbana de la Marina Baja.

	Sagunto	Valencia	Albacete	Marina Baja ATS
Suma	12	95	18	12

Tabla 2: Demandas urbanas anuales [hm³]

3.2.2.2 Demandas industriales

En el esquema considerado las demandas por uso industrial comprenden exclusivamente la refrigeración de la central nuclear de Cofrentes y las centrales hidroeléctricas de Cofrentes, Cortes II y Millares, no se consideran las numerosas mini-centrales hidroeléctricas fluyentes instaladas a lo largo del río Júcar en cuanto no ejercen funciones de regulación.

Central nuclear de Cofrentes

central	demanda anual (hm³)	demanda mensual (hm³)
CN Cofrentes	35,0	2,9

Tabla 3: Demanda de la Central Nuclear de Cofrentes.

Centrales hidroeléctricas

Los aprovechamientos hidroeléctricos considerados en el esquema comprenden las centrales de Cofrentes, Cortes II y Millares.

central	caudal máximo mensual (hm ³ /mes)	caudal objetivo mensual (hm ³ /mes)
Cofrentes	156	52
Cortes II	855	286
Millares	144	48

Tabla 4: Demandas mensuales y anuales de las centrales hidroeléctricas.

Las tres centrales generan energía en hora de punta, concentrando la producción entre las 6-8 horas diarias de mayor consumo a las cuales corresponde un mayor precio de la energía (fuente Iberdrola).

3.2.2.3 Demandas Agrícolas

Las principales zonas agrícolas definidas en el esquema se encuentran en la Mancha Oriental y aguas abajo del embalse de Tous, donde se concentran las unidades de demanda del Canal Júcar-Turía, Acequia Real y Antella, Escalona y Carcagente, y los riegos de la Ribera Baja (Sueca, Cullera y Cuatro Pueblos).

Regadíos de la Mancha Oriental

La unidad de demanda de la Mancha Oriental tiene una dotación de 445 hm³ anuales y se caracteriza por cultivos variables con ciclos estacionales, como muestra la tabla 5, cuyas dotaciones responden a razones básicamente agronómicas, siendo los cultivos extensivos en una primera aproximación igualmente rentables para el agricultor.

ciclo	cultivo
primavera	Cebada, trigo
verano	maíz, girasol, remolacha, cebolla, maíz forrajero, tomate, judía verde
primavera-verano	alfalfa

Tabla 5: Ciclos de cultivo en Castilla la Mancha.

Otra característica fundamental es la procedencia de los recursos hídricos, cuyo origen es subterráneo ya que los regantes se abastecen mediante pozos de los acuíferos de la unidad hidrogeológica de 08.29 de la Mancha Oriental, conectados hidráulicamente con el río Júcar.

Las producciones se benefician de los subsidios procedentes de la Política Agrícola Comunitaria (PAC) europea, que comienzan a otorgarse desde el 1986 y alcanzan particular relevancia a partir del 1992. El incremento de la superficie regada durante las últimas dos décadas ha sido acompañada por una sustancial disminución de los niveles piezométricos del acuífero del cual se realizan las extracciones. En la figura 10 se muestra la evolución de la superficie regada y de los niveles piezométricos en la Mancha Oriental, se puede deducir que el aumento del coste de bombeo debido al descenso piezométrico no ha influido todavía en la superficie regada.

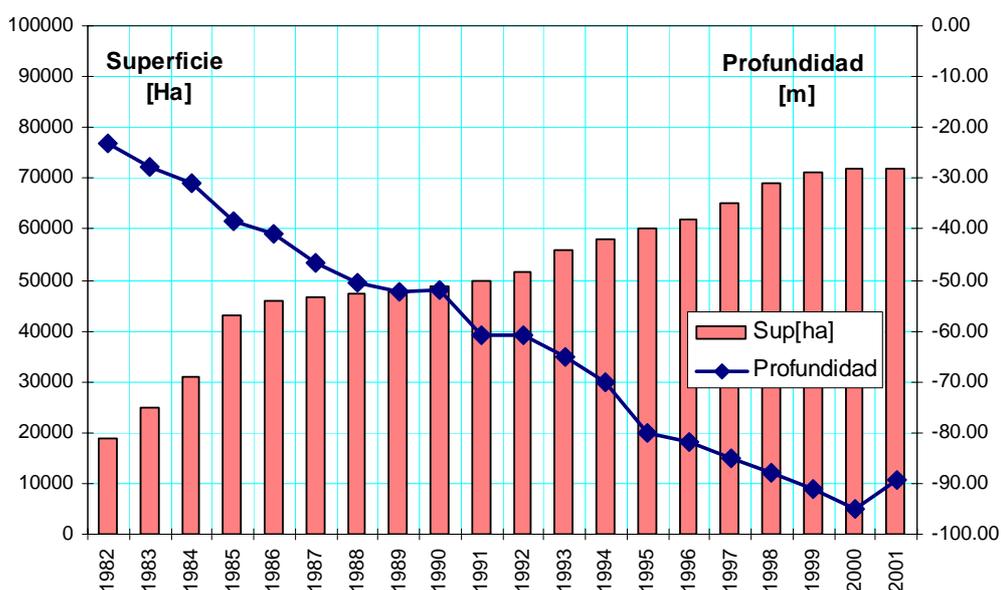


Figura 10: Evolución del descenso piezométrico en la zona de Albacete.

Demandas agrícolas aguas abajo del embalse de Tous

En esta zona se encuentran importantes producciones de cítricos, frutales, hortalizas y arroz, cuya distribución territorial se muestra en la figura 11.

Los arrozales se concentran en un anillo que bordea la Albufera de Valencia y comprenden las unidades de demanda de la Acequia Real (15¹), Sueca (16), Cullera (17) y Cuatro Pueblos (18). Los cultivos arbóreos, en mayoría cítricos, y las hortalizas están ubicados exteriormente al anillo de arroz y comprenden las unidades de demanda de los Riegos del Canal Júcar-Turia (7), Acequia Real (2), Escalona y Carcagente (3), Sueca (4), Cuatro Pueblos (5) y Cullera (6).

¹ La numeración se refiere al modelo de simulación adoptado.

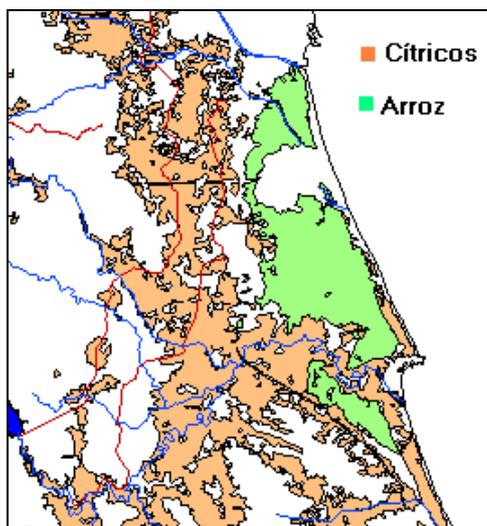


Figura 11: Evolución del descenso piezométrico en la zona de Albacete.

Los datos relativos al tipo de cultivo y a su distribución espacial y territorial proceden principalmente de las siguientes fuentes:

- Web de la Conselleria de Agricultura de la Comunidad Valenciana (CA);
- Informes técnicos de la CHJ;
- Sistema de Información Georeferenciado (SIG) del Instituto Valenciano de Irrigación (IVI).

Las distintas finalidades de cada una de estas fuentes de información se refleja evidentemente en la estructura y el detalle de los datos: los datos de la CA están agrupados por términos municipales, mientras los de la CHJ y del IVI están organizados por Unidades de Demanda Agraria (UDAs), que corresponden a la red de canales y acequias que distribuyen el agua para el riego (figura 12). La comparación de los datos presenta, por lo tanto, una dificultad adicional en cuanto a que los términos municipales no coinciden exactamente con las UDAs y los datos de superficie presentan diferencias significativas entre las tres fuentes, como puede verse en las tablas 6 a 8.

cultivo	Escalona y Carcag.	Canal Júcar-Turía	Acequia Real	Cuatro Pueblos	Cullera	Sueca	Total
arroz	0	0	4.900	1.120	9.890	7.140	23.050
arbóreos	4.220	s/d	19.600	600	4.700	1.700	30.820
hortalizas	220	s/d	0	0	0	270	490
invernadero	0	0	0	0	0	50	50
total	4440	0	24.500	1.720	14.590	9.160	54.410

Tabla 6: Superficies cultivadas (ha), IVI 2004.

cultivo	Escalona y Carcag.	Canal Júcar-Turía	Acequia Real	Cuatro Pueblos ²	Cullera	Sueca	Total
Arroz	0	0	3.920	2.240	1.410	12.300	19.870
arbóreos	3.560	14.920	13.840	1.130	1.522	1.390	38.930
hortalizas	100	1.060	4.120	40	160	270	5.750
Total	3.660	15.980	21.880	3.410	5.560	14.000	64.550

Tabla 7: Superficies cultivadas (ha), CA 2004.

	Escalona y Carcagente	Canal Júcar-Turía	Acequia Real	Cuatro Pueblos, Cullera, Sueca (Ribera baja)	Total
total	6500	11200	17500	13800	49000

Tabla 8: Superficies cultivadas (ha), CHJ 2004.

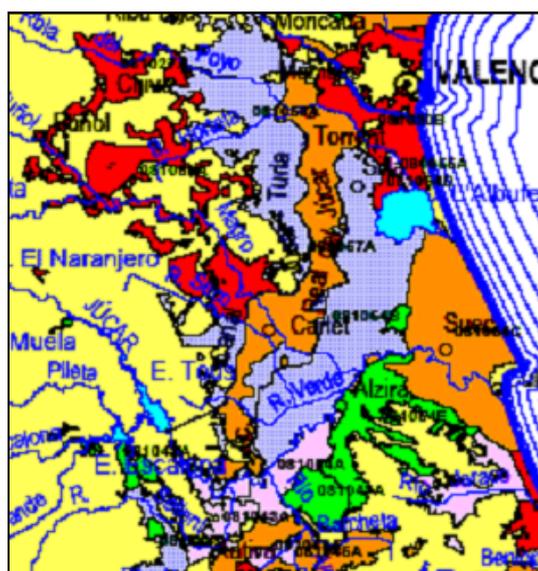


Figura 12: Unidades de demanda Agraria (fuente CHJ).

² Comprende los municipios de Corbera, Fortaleny, Polinyá del Xúquer y Riola.

La presencia en cada zona de riego de cultivos con capacidad de pago muy distintas (cítricos y arroz) da lugar a una curva de demanda de tipo escalonado que sugiere la desagregación de las demandas originales en distintas unidades de características económicas similares. Esta solución presenta también la ventaja de generar resultados parciales para cada clase de cultivo, ampliando las potencialidades de la investigación y las posibilidades de interpretación del análisis económico.

Se ha procedido entonces a la desagregación de los valores de volumen mensual de las demandas agrícolas situadas aguas abajo del embalse de Tous en tres valores de suministro correspondientes a los cultivos predominantes (cítricos, huerta, arroz) de forma que la suma mensual de los valores desagregados coincida con los valores del modelo precedente y manteniendo inalterada la eficiencia total de riego de cada UDA que se recoge en la Tabla 9.

zona	eficiencia
Escalona y Carcagente	0,35
Canal Júcar-Turia	0,75
Acequia Real	0,32
Ribera Baja	0,50
Mancha Oriental	0,85

Tabla 9: Eficiencia de las UDAs, CHJ 2002.

El primer paso consiste en obtener la distribución porcentual a escala mensual del volumen anual requerido para los 3 cultivos considerados (cítricos, huerta, arroz). La metodología empleada es la siguiente:

- En la zona de Escalona y Carcagente la casi totalidad de los cultivo son cítricos (96%) con prevalencia de naranjos y mandarinos. Esto permite deducir el patrón porcentual mensual de consumo para el cultivo de cítricos a partir de los valores de la toma "Consumo neto 2" que representa los valores de evapotranspiración mensual de los cultivos, mientras que las otras dos toman se refieren a los retornos superficiales y subterráneos;
- En la zona de la Ribera Baja (demandas de riego Sueca, Cullera, Cuatro Pueblos) se registra la presencia simultanea de cultivos de cítricos, arroz y, en una proporción despreciable, huerta;
- Se ha calculado el consumo neto total (CNT) en cada mes como producto del volumen suministrado (V) por la eficiencia total del riego (ε): $CNT = V \cdot \varepsilon$;

- Se ha asumido la superficie de cítricos en función de los datos disponibles para calcular el consumo neto total de este cultivo, manteniendo el mismo patrón calculado en el punto 1, y obtener el consumo neto del arroz como complementario en el consumo neto anual: $CNa = CNT - CNC$;
- Se ha calculado el patrón porcentual mensual del arroz y se ha comprobado la concordancia de este valor entre los diferentes usos;
- De un modelo de simulación elaborado para la cuenca del río Turia por el DHIMA-UPV se han utilizado los datos relativos al uso Riegos Tradicionales del Turia para calcular el patrón porcentual mensual de la huerta con la misma metodología adoptada para el arroz. Hay que mencionar que la determinación de un patrón porcentual en el caso de la huerta resulta más incierto debido a la mayor variedad de cultivos que se agrupan en esta categoría. A pesar de eso se considera igualmente válida esta aproximación.

Al disponer de los nuevos patrones mensuales para cada cultivo es posible proceder a su aplicación a los diferentes usos, comprobando la conformidad de los nuevos resultados con los valores de suministro originales del esquema.

Se han realizado simples hipótesis acerca de la dotación (MMA, 1999 etc.) y de las superficies de cultivo en cada zona de riego, como muestra la tabla 10.

	Acequia Real y Antella		Escalona y Carcagente		Riegos Canal Júcar-Turia	
cultivo	superficie [ha]	dotación [m ³ /ha año]	superficie [ha]	dotación [m ³ /ha año]	superficie [ha]	dotación [m ³ /ha año]
cítricos	16.300	4.100	4.400	4.100	10.000	5.470
arroz	2.800	11.000	-	-	-	-
huerta	3.230	5.000	1.90	5.000	700	6670
	Cuatro Pueblos		Cullera		Sueca	
cultivo	superficie [ha]	dotación [m ³ /ha año]	superficie [ha]	dotación [m ³ /ha año]	superficie [ha]	dotación [m ³ /ha año]
cítricos	450	5.510	1.610	7.870	3.020	7.870
arroz	1.000	15.400	4.700	22.000	6.700	22.000
huerta	40	7.000	90	10.000	280	10.000

Tabla 10: Superficies y dotaciones para los usos agrícolas aguas abajo de Tous.

Para obtener un mejor ajuste de los resultados se han modificado los patrones mensuales deducidos anteriormente mediante un proceso de prueba y error en el cual se tuvieron en cuenta variables climáticas, peculiaridades territoriales y sentido común.

Lógicamente el “cierre” del proceso de prueba y error no fue perfecto y la diferencia $Dif = CN_t - \sum_{c,a,h} CN_i$ de cada mes se ha repartido de forma proporcional al porcentaje de suministro de cada cultivo $(CN_i / \sum_{c,a,h} CN_i)_t$, generando unos valores de suministro mensual que no reflejan exactamente los patrones calculados. Se considera que estas diferencias no van a comprometer la validez del estudio en cuanto a que existen muchos factores que cambian de una zona a otra, como la organización del riego, el tipo de suelo, el clima, la variedad de cultivos, etc. Las mayores variaciones se detectan en los Rigos del Canal Júcar-Turia, donde se registra una mayor variedad de frutales, como melocotoneros, ciruelos, caquis, que en la anterior simplificación se consideraron como cítricos. Otra fuente de incertidumbre se debe a la presencia de riegos de origen subterránea en algunas UDAs, que a falta de información detallada acerca del uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas no están representados en el modelo.

Los valores finales de demanda mensual de cada UDA se muestran en la tabla 11.

Acequia Real y Antella												
cultivo	oct	nov	dic	Ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set
arbóreo	14.41	7.03	1.48	1.74	6.96	12.69	16.41	22.40	26.75	35.66	31.55	18.40
arroz	9.97	15.13	4.77	10.43	6.41	7.31	10.31	16.11	8.33	8.22	8.08	2.65
huerta	4.18	2.83	0.89	2.10	4.48	4.98	5.41	4.33	4.19	6.10	6.78	7.51
suma	28.56	24.99	7.14	14.28	17.85	24.99	32.13	42.84	39.27	49.98	46.41	28.56
Escalona y Carcagente												
cultivo	oct	Nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set
Arbóreo	3.56	2.98	0.95	1.28	1.89	1.49	4.03	5.70	8.35	8.85	7.74	3.97
huerta	0.22	0.26	0.13	0.34	0.27	0.13	0.29	0.24	0.29	0.33	0.36	0.35
suma	3.78	3.24	1.08	1.62	2.16	1.62	4.32	5.94	8.64	9.18	8.10	4.32
Riegos Canal Júcar-Turia												
cultivo	oct	Nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set
arbóreo	5.44	1.05	0.49	0.00	0.00	0.00	2.69	4.49	9.10	11.88	11.71	8.39
huerta	0.56	0.15	0.11	0.00	0.00	0.00	0.31	0.31	0.50	0.72	0.89	1.21
suma	6.00	1.20	0.60	0.00	0.00	0.00	3.00	4.80	9.60	12.60	12.60	9.60
Cuatro Pueblos												
cultivo	oct	Nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set
arbóreo	0.20	0.07	0.05	0.02	0.06	0.15	0.19	0.39	0.59	0.75	0.63	0.33
arroz	1.85	2.00	2.02	1.53	0.71	1.13	1.60	3.74	2.48	2.31	2.17	0.64
huerta	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.06	0.06	0.06
suma	2.08	2.08	2.08	1.56	0.78	1.30	1.82	4.16	3.12	3.12	2.86	1.04

Cullera												
cultivo	oct	Nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set
arbóreo	0.70	0.24	0.16	0.07	0.20	0.52	0.67	1.36	2.14	2.74	2.30	1.28
arroz	8.60	9.09	9.17	6.93	3.27	5.27	7.46	17.28	11.80	11.17	10.42	3.25
huerta	0.06	0.03	0.03	0.02	0.04	0.06	0.06	0.08	0.10	0.14	0.15	0.15
suma	9.36	9.36	9.36	7.02	3.51	5.85	8.19	18.72	14.04	14.04	12.87	4.68
Sueca												
cultivo	oct	Nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set
arbóreo	1.33	0.46	0.31	0.13	0.38	0.97	1.27	2.59	3.97	4.99	4.21	2.22
arroz	12.40	13.37	13.52	10.24	4.72	7.54	10.71	25.01	16.61	15.47	14.49	4.30
huerta	0.19	0.09	0.09	0.07	0.12	0.19	0.20	0.24	0.30	0.42	0.44	0.44
suma	13.92	13.92	13.92	10.44	5.22	8.70	12.18	27.84	20.88	20.88	19.14	6.96

Tabla 11: Demanda mensual [hm³] para cada tipo de cultivo y UDA.

3.2.3 Reglas de operación

El modelo de simulación permite definir las reglas de operación del sistema según tres niveles de gestión que incluyan la determinación de una jerarquía de prioridades entre las demandas, la imposición de caudales ecológicos y de limitaciones medioambientales en general y la mitigación y prevención de los eventos de sequía.

Cada demanda del esquema tiene definida una prioridad en el reparto del agua, con respecto a las demás unidades de demandas. El modelo se conforma con los principios de la legislación española que define como demandas prioritarias el abastecimiento urbano, seguido por las demandas agrícolas e industriales, y con lo establecido en el PHJ (ver apartado III.2).

Las limitaciones medioambientales como el mantenimiento de niveles mínimos de embalse o de caudales ecológicos en determinados tramos de río se implementan en el modelo de manera que la gestión las respete de forma automática. Actualmente se han definido *caudales ecológicos* en los siguientes tramos del río:

- **Júcar-1**, salida de Alarcón, entre 1.8 y 2 m³/s;
- **Cabriel-1**, salida de Contreras, hasta 400 l/s;
- **Júcar-5**, 300l/s (fuente: Iberdrola);
- **Júcar-7**, tramo entre el embalse de Naranjero y Tous, 600 l/s (fuente Iberdrola);
- **Tous-Río**, salida de Tous, entre 560 y 620 l/s.

Las medidas utilizadas para hacer frente a los eventos de sequía son los *indicadores de alarma para restricciones*, que permiten garantizar unas reservas de agua al sistema en caso de extrema escasez del recurso. Los indicadores se activan al encontrarse el volumen almacenado por debajo de un umbral establecido y actúan limitando el suministro en algunas demandas o limitando el caudal circulante por algunos tramos de río o activando medidas de emergencia como los pozos de sequía. En las figuras 13 a 16 se muestran los gráficos de los principales indicadores de alarma definidos en el sistema, los indicadores ACTtrad, ACTbaja, ACTresto limitan el suministro a las demandas, el indicador ACTalarcon activa los pozos de sequía.

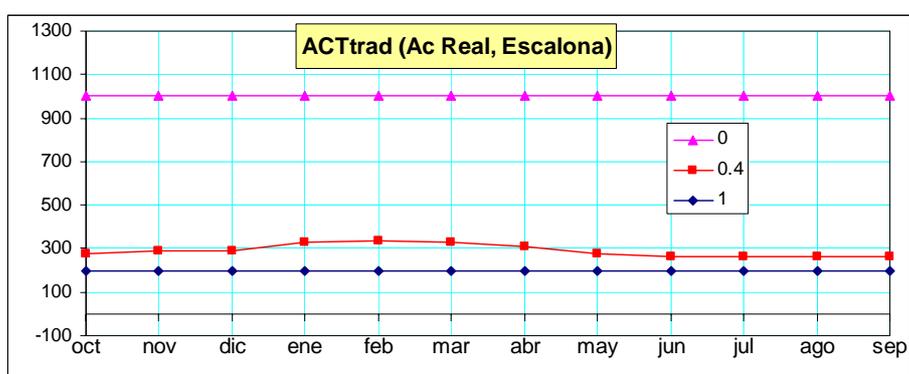


Figura 13: Indicador de alarma ACTtrad (ordenada: suma de volúmenes Alarcón+Contreras+Tous)

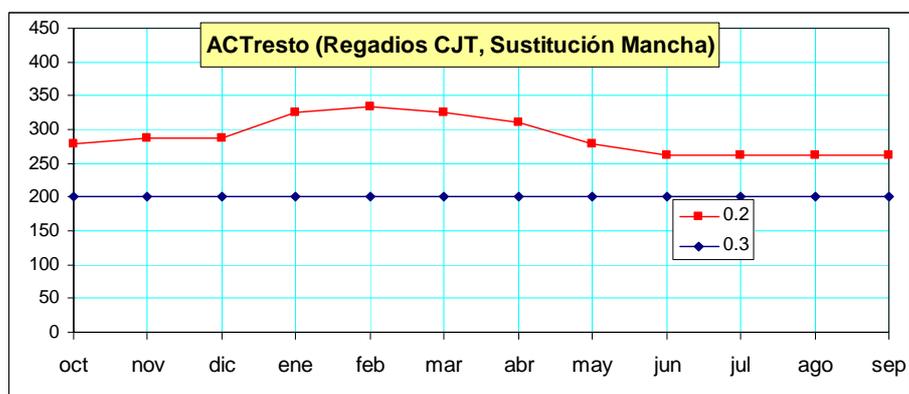


Figura 14: Indicador de alarma ACTresto (ordenada: suma de volúmenes Alarcón+Contreras+Tous)

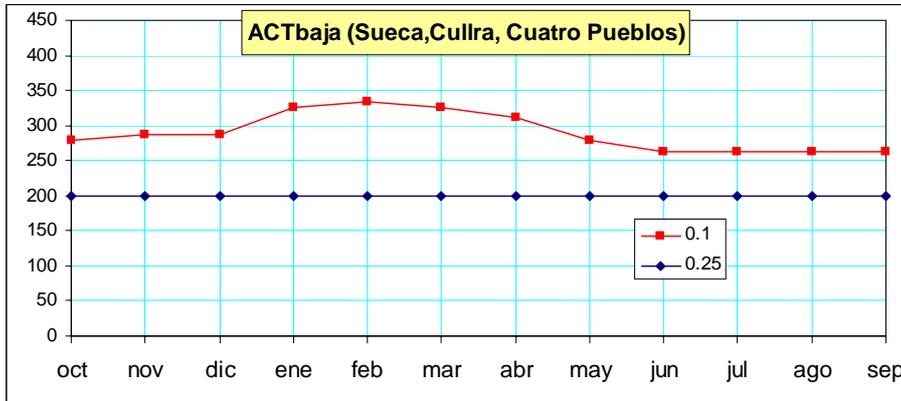


Figura 15: Indicador de alarma ACTbaja (ordenada: suma de volúmenes Alarcón+Contreras+Tous)

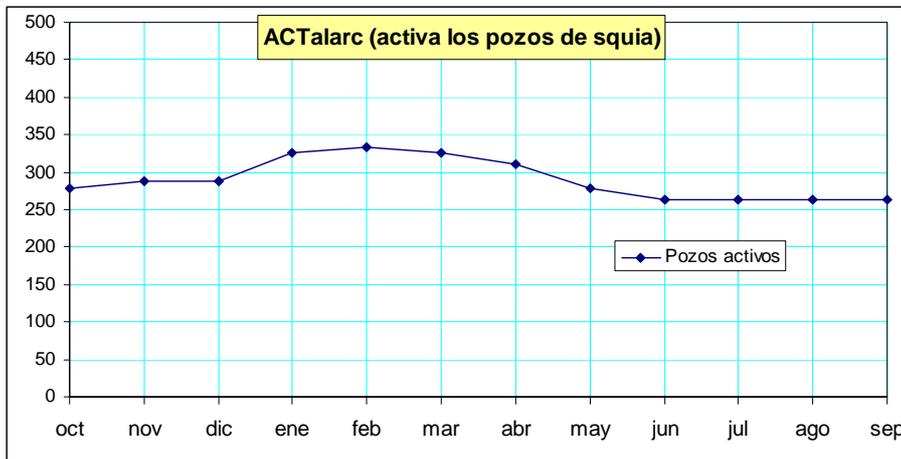


Figura 16: Indicador de alarma ACTalarcon (ordenada: volumen en Alarcón)

3.3 INFORMACIÓN ECONÓMICA

3.3.1 Curvas de demanda urbana

Las curvas de demanda para usos urbanos se determinan según el procedimiento descrito en el apartado 2.5.2 y se muestran en la figura 17.

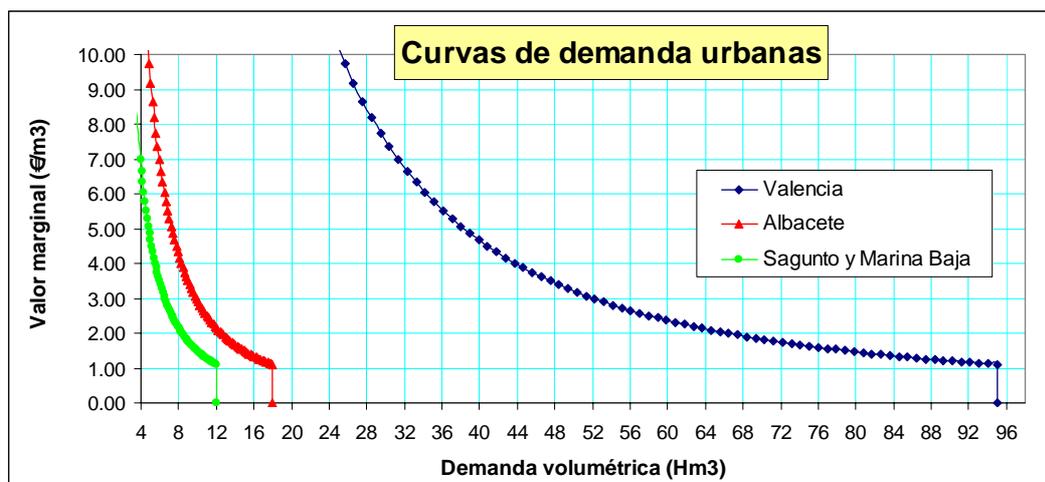


Figura 17: Curvas de demanda urbanas en hm³.

3.3.2 Curvas de demanda agrícola

3.3.3 La Mancha Oriental

La variedad de los cultivos y la posibilidad de cambio entre ellos hacen que al aumentar el precio del agua se sustituyan las producciones menos rentables por cultivos más provechosos o que suponen un menor consumo de agua. Se supone por lo tanto una curva de demanda de forma continua (sin escalones), cuya ecuación se obtuvo adaptando una curva lineal a tramos proporcionada por (MMA 2004), como se observa en la figura 18.

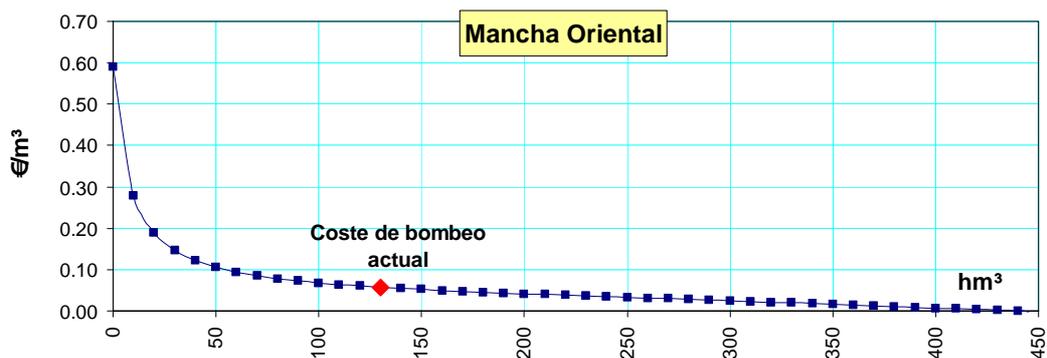


Figura 18: Curva de demanda de los regadíos de la Mancha Oriental.

Hay que considerar que las entradas económicas debidas a las ayudas de la PAC no se han considerado en el proceso de definición de las funciones económicas del modelo, lo que supone una disminución del excedente económico bruto de los regantes beneficiados por las subvenciones respecto a la situación actual. Desde el punto de vista de la gestión del agua los subsidios a los productos derivados del agua (energía, productos agrícolas) provocan aumentos de la demanda respecto a la demanda que habría sin subsidio. Para los economistas, el

problema de los subsidios es que provocan una asignación ineficiente de los recursos con pérdidas de beneficio para el sistema. Conforme con los objetivos del estudio, se ha decidido considerar la disponibilidad de pago real de los usuarios.

Es interesante comprobar que el volumen demandado para un precio del orden del costo de bombeo (0,06 €) es de 120 hm³. Este dato coincide con la opinión de los expertos consultados que estiman que en caso de desaparición de los subsidios europeos solo permanecería el 30% de los cultivos actuales.

3.3.3.1 Demandas agrícolas aguas abajo de Tous

El análisis de las curvas de demanda de los riegos aguas abajo del embalse de Tous muestra un primer tramo con pendiente negativa, que representa la reducción del consumo debida a la introducción de medidas de ahorro del agua, sean simplemente un mayor cuidado en la aplicación o bien una adecuación de los métodos de distribución. Para precios más elevados se releva un efecto de reducción masiva del consumo provocada por el abandono del riego debido a su escasa rentabilidad. Hay que subrayar que el tramo del cual disponemos de la mayor información se ubica en las condiciones más próximas a los valores de suministro actual o sea para bajas disposiciones de pago. Las hipótesis acerca de condiciones de suministro extremas (o sea de tarifas muy elevadas) se han realizado, teniendo en cuenta la incertidumbre debida a la escasez de datos, de la manera más razonable posible.

En función de los resultados de las mencionadas referencias se han individualizado, para cada monocultivo, dos valores de disposición de pago, que corresponden a los niveles de suministro actual y al precio por el cual se produciría un relevante abandono del riego. Por lo que se refiere al tramo de la curva correspondiente a las condiciones de demanda mínima se han formulado varias hipótesis acerca del comportamiento de los regantes en situaciones de altos niveles tarifarios y del valor de la tarifa límite que supondría un consumo de agua nulo. A falta de datos exhaustivos se ha considerado como hipótesis inicial un tramo no asintótico de la curva de demanda con un valor de tarifa máxima de 0,9 € para los cultivos de cítricos-huerta y de 0,01€ para el arroz.

cultivo	subsidiado	1º punto [€/m³]	2º punto [€/m³]	punto final [€/m³]	observaciones
arroz	si	0,00	0,005	0,1	sin datos sólidos
cereales y oleaginosos	si	0,002	0,060	0,30	sin datos sólidos
cítricos	no	0,010	0,45	0,90	datos de Castellón (Sumpsi Viñas 1999)
hortalizas y otros	no	0,010	0,50	1,00	minorando datos de Almería

Tabla 12: Niveles de tarifas adoptados para la construcción de las curvas de demanda.

Los valores de la tabla 12 representan la disposición de pago total (a pie de parcela) por parte de los agricultores correspondientes a diferentes niveles de suministro:

- Suministro actual (punto 1);
- Precio que actuaría como incentivo al abandono del riego (punto 2);
- Precio límite correspondiente al consumo nulo (punto final).

Del trabajo detallado de García Mollá (2000) se descubre que estos costos se refieren fundamentalmente al pago del regador y suponen aproximadamente un 25% del costo del riego. Para obtener la disposición de pago relativa sólo al agua hay que reducir los valores de la tabla anterior en la misma proporción. Con el objetivo de reducir la complejidad del modelo se ha decidido sumar los consumos correspondientes a los cítricos y la huerta en cuanto tienen una capacidad de pago similar. En las figuras 19 a 22 se presentan las curvas de demanda en función de la dotación por superficie regada y de suministro total en hm³. Dichas curvas han sido modificadas a partir de las proporcionadas por el Grupo de apoyo de Análisis Económico de la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente, y que fueron obtenidas mediante un modelo de Programación Matemática Positiva (Blanco et al., 2004) .

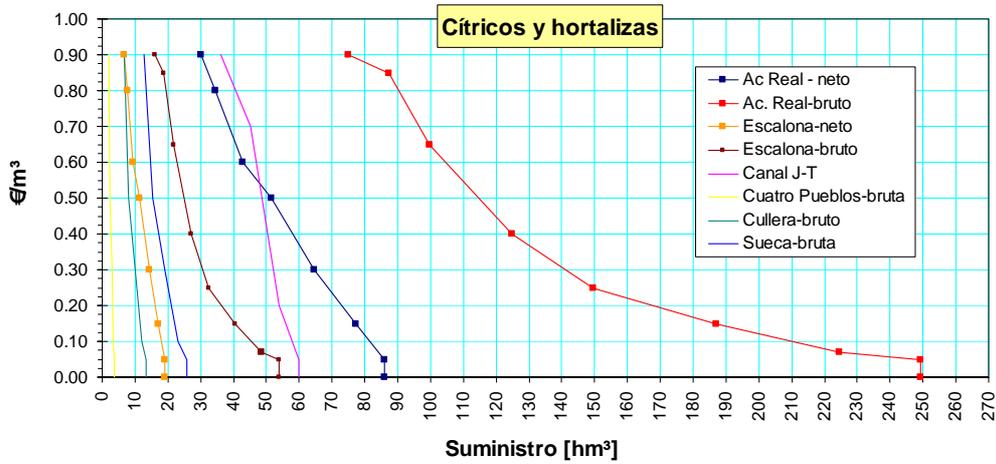


Figura 19: Curvas de demandas anuales de los cultivos de cítricos y hortalizas (suministro).

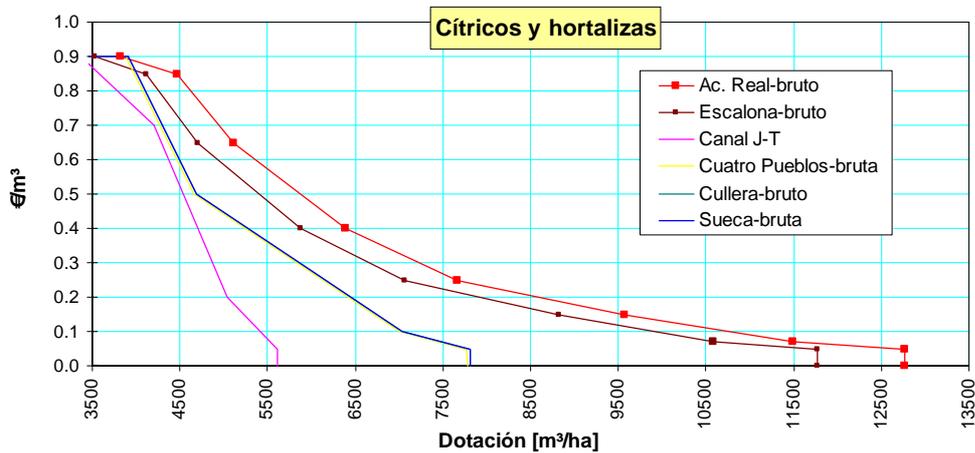


Figura 20: Curvas de demanda anuales de los cultivos de cítricos y hortalizas (dotación).

Los cultivos de arroz se caracterizan por una disposición de pago muy baja comparada con los demás usos presentes en la cuenca, lo que supone una contribución marginal al excedente total de los usuarios.

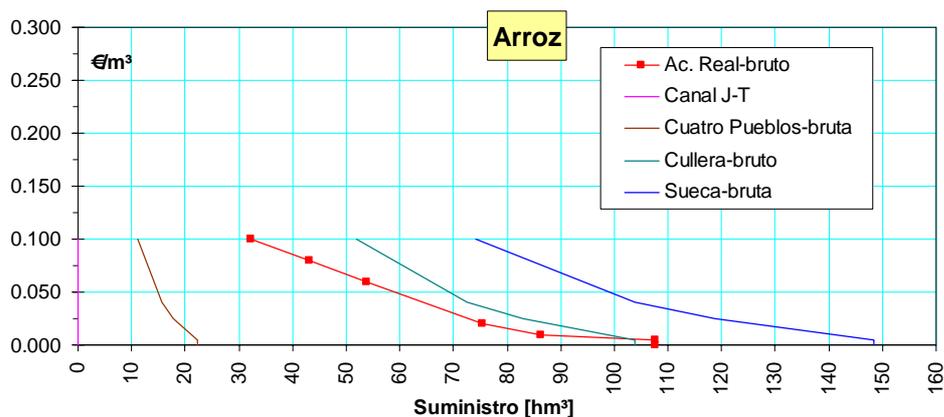


Figura 21: Curvas de demanda anuales de los cultivos de arroz (suministro).

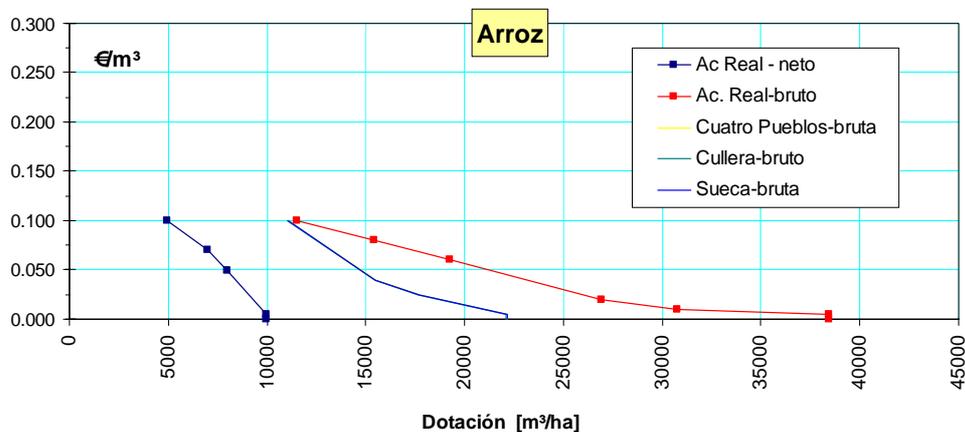


Figura 22: Curvas de demanda anuales de los cultivos de arroz (dotación).

3.3.4 Costes de operación

Se estimó el coste de bombeo para los riegos de la Mancha Oriental.

El costo unitario total de bombear el agua (c) responde a la siguiente ecuación:

$$c = c_f + c_e \cdot p$$

donde:

c_f : costes fijos

c_e : coste energético

p : profundidad de referencia.

Costes fijos

En base a un estudio de la CHJ (2004) y diversas consideraciones acerca del tiempo medio anual de funcionamiento, cantidad de pozos usados para extraer una unidad de agua, etc., se ha adoptado un valor de:

$$cf = 0,03 \text{ €/m}^3$$

Coste energético

El consumo energético del bombeo se calcula mediante las ecuaciones de potencia y energía:

$$P[kw] = \frac{9,81}{\eta} \cdot p[m] \cdot Q[m^3/s]$$

$$E[kw/h] = P[kw] \cdot t[h]$$

siendo:

η : rendimiento global (0,7);

p : altura neta;

Q : caudal extraído.

Aplicando las fórmulas anteriores se obtiene la energía necesaria para cada unidad de volumen durante una hora:

$$e[kwh/m^3] = \frac{9,81}{0,7 \cdot 3600} \cdot p[m] = 0,0039 \cdot p$$

Si se considera un costo de la energía de 0,065 €/kwh y un suplemento del 20% debido a la facturación de la potencia instalada, el coste total de la energía es de 0,078 €/kwh, lo que suma un coste energético de:

$$Ce [\text{€/m}^3] = 0,0003 \cdot p[m]$$

Relación profundidad-volumen

El modelo SIMGES sólo simula el volumen almacenado en el acuífero sin calcular la profundidad. Para estimar el coste de bombeo es necesario establecer una relación entre profundidad de bombeo y volumen almacenado. Se han utilizado como referencia los valores medidos en el piezómetro de Albacete (08.29.036), con una profundidad en la boca del piezómetro de 701,02 [m] s.n.m. Los datos de volumen almacenado provienen del ajuste de los

bombesos históricos y los datos de profundidad a un modelo de dos celdas del acuífero. La relación se muestra en la figura 23.

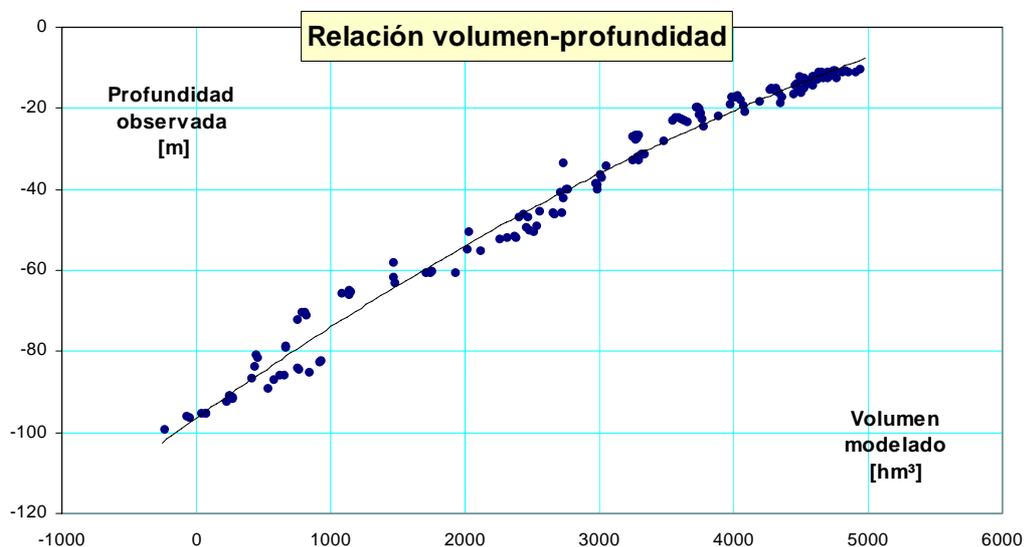


Figura 23: Relación volumen [hm³]-profundidad [m] modelado en el acuífero de la Mancha Oriental.

La sorprendente regularidad de esta relación se explica por el hecho de que los valores de volumen provienen de un modelo agregado y simple, lo que supone un ajuste más “suave” y continuo, que sería difícil encontrar si se tratara de valores observados.

El modelo simula el acuífero por superposición, el volumen inicial debe corresponder a la afección que presenta sobre el régimen natural en la fecha en la que se modela el SRH (2001). Debido a esto el valor a utilizar en la relación no es el volumen modelado V_m , (Fig. 23) sino el volumen de superposición $V_s = V_m - 3640,4$.

Otra consideración importante es la necesidad de introducir en la relación un término que represente el estado dinámico del acuífero, lo que comporta un aumento local de la profundidad de bombeo. Teniendo en cuenta el elevado nivel de aproximación debido al uso de un modelo de acuífero simplificado de dos celdas no pareció oportuno elaborar complejas metodologías para la estimación del descenso piezométrico registrado al formarse el cono de depresión típico en los bombesos. Se ha preferido incluir el término dinámico en la relación profundidad-volumen almacenado rebajando en 10 m la profundidad p del pozo de referencia resultante de la relación anterior con lo cual se obtiene la siguiente expresión:

$$p[m] = 26 - 0,014 \cdot V_s [hm^3] + 0,0000014 \cdot V_s^2 [hm^3]$$

donde:

p : profundidad del pozo de referencia:

$p_0 = 95,5$ m : profundidad correspondiente al volumen inicial.

La figura 24 representa la curva de coste de bombeo definida para el acuífero de la Mancha Oriental

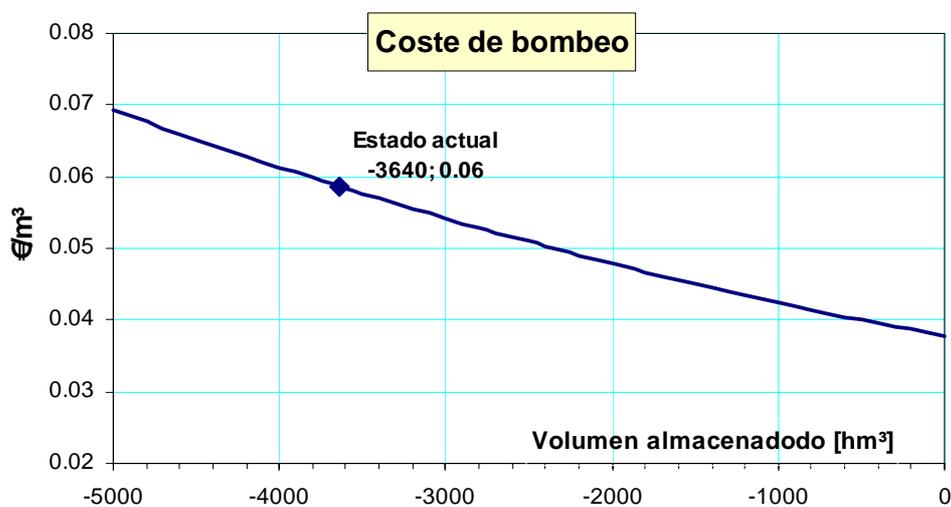
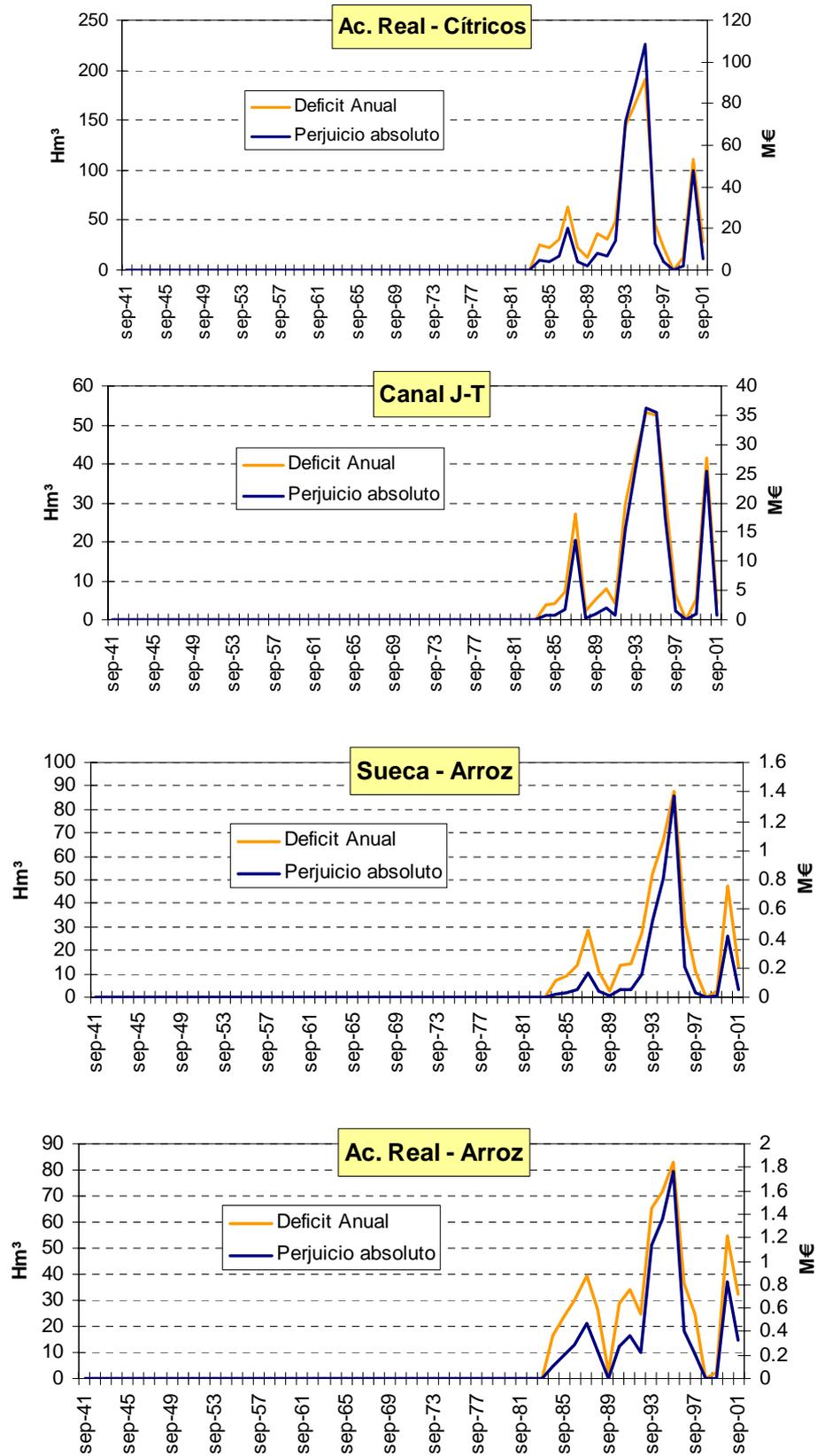


Figura 24: Curva del coste de bombeo en la Mancha Oriental.

3.4 ANÁLISIS DEL COSTE DEL RECURSO

3.4.1 Coste de escasez Vs. Suministro a las demandas

Las graficas de la figura 25 muestran el valor del coste de escasez (en millones de €) de las principales demandas agrícolas del sistema comparado con el déficit correspondiente del mismo año hidrológico. Se puede comprobar que el perjuicio (coste de escasez) en las demandas crece proporcionalmente al déficit de suministro a las mismas. Se observa que los mayores déficits se concentran en el período de la sequía de 1990 a 1994. Los déficits más altos en términos absolutos corresponden al riego de cítricos y arroz en la Acequia Real, y al arroz en Sueca. Sin embargo, las mayores pérdidas económicas debidas al déficit de suministro de agua para riego no se dan en el riego del arroz (cultivo de muy baja rentabilidad por m³ de agua), sino en los cítricos y hortalizas de la Acequia Real y del Canal Júcar-Turia. Sin embargo, debemos puntualizar que en el caso del Canal Júcar-Turia el modelo de base de SIMGES no incluye el uso conjunto, con lo que los déficits y el coste de escasez reales en la demanda pueden ser significativamente menores que los calculados.



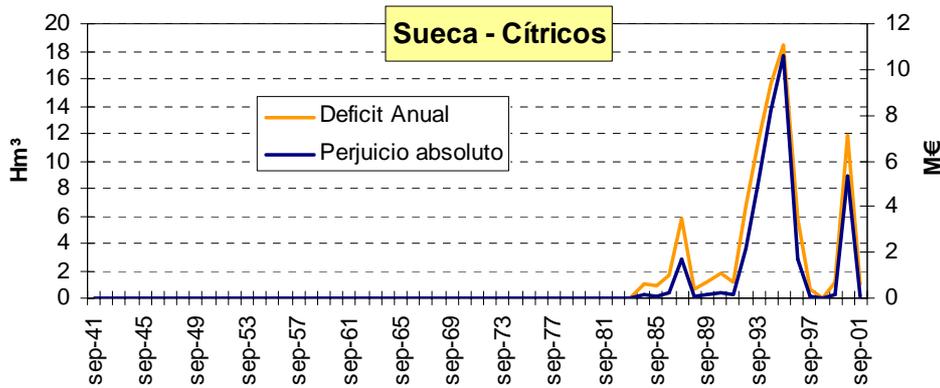


Figura 25: Coste de escasez Vs déficit anual.

En la Fig. 26 se presentan los costes de escasez (perjuicio) anuales para las diferentes demandas consideradas en el sistema.

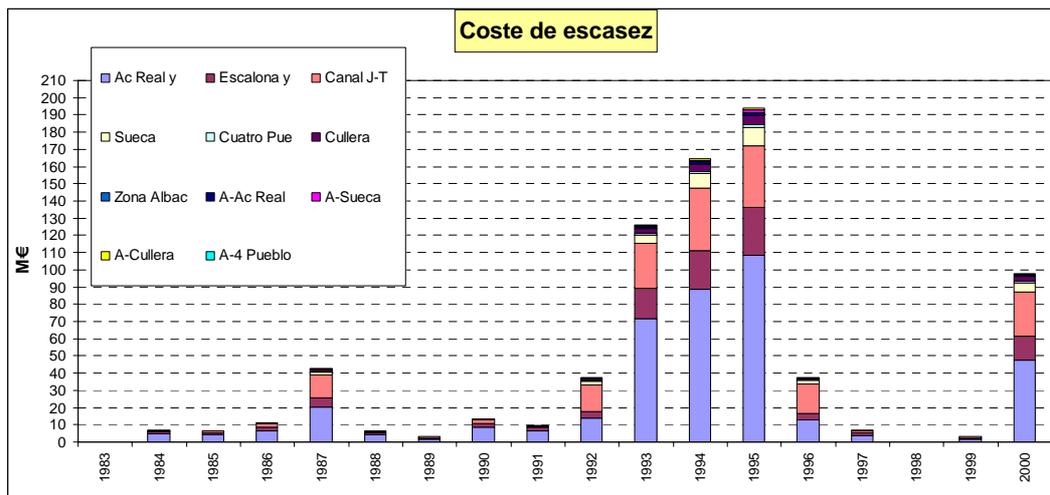


Figura 26: Coste de escasez anual en las demandas del sistema

La gráfica de la Fig. 27 muestra el aumento progresivo del coste de bombeo para el conjunto de los regantes de la Mancha Oriental a lo largo de la simulación.

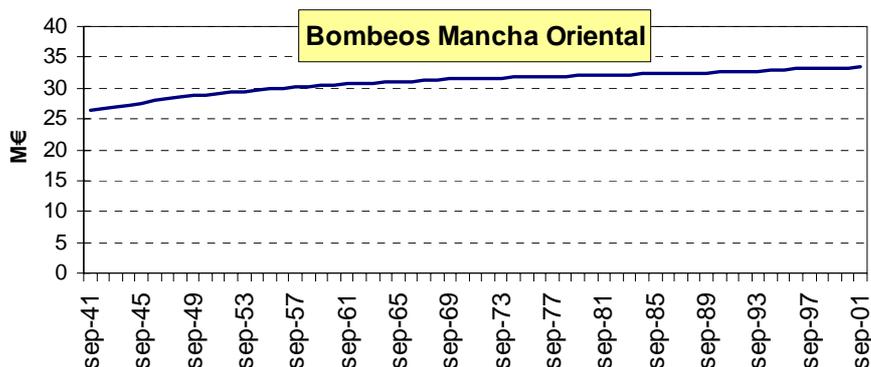


Figura 27: Coste total de bombeo en la Mancha Oriental.

3.4.2 Coste del recurso en los embalses del sistema

El coste del recurso se ha estimado mediante la detracción de un volumen diferencial de agua ($\Delta Volumen = 10 \text{ hm}^3$) en los tres embalses principales del sistema: Alarcón, Contreras, Tous. Los resultados de la simulación se resumen en las figuras 28 a 32. Destaca a primera vista la coincidencia cronológica de los valores de coste del recurso más elevados con las sequías de máxima magnitud en los años 1994-1995, cuando se han obtenido importantes déficits en el suministro de las demandas agrícolas y además restricciones en el abastecimiento urbano. En este caso el valor del recurso alcanza un máximo de casi 0.8 €/m^3 . El patrón obtenido para el coste del recurso en los tres embalses es muy parecido, lo cual es razonable dado que los déficits de suministro se producen en las demandas aguas abajo del último de los 3 embalses, Tous.

Otra observación importante se refiere al tramo escalonado de la función de coste del recurso, debido a la aplicación de restricciones al suministro de algunas demandas en consecuencia de la activación de los indicadores de alarma de los embalses. Los indicadores de alarmas actúan al alcanzar un determinado volumen de almacenamiento previamente definido para los embalses principales (Alarcón, Contreras, Tous) aplicando restricciones al suministro de determinadas demandas. El efecto provocado por la aplicación repentina de las restricciones es una importante pérdida de excedente económico en la demanda afectada, junto con una imprevista subida del coste del recurso que se refleja en el tramo escalonado de esa función. Se plantea, por lo tanto, una interesante oportunidad de investigación acerca de los efectos producidos por las modificaciones de los niveles de restricciones sobre los resultados del análisis económico con el fin de optimizar el beneficio económico en situaciones de sequías intensas.

La Fig. 29 presenta un "zoom" del período en el que se concentran los déficits para la simulación de las demandas actuales con la serie histórica: desde octubre de 1979 a octubre de 2000. La Fig. 30 se compara el volumen almacenado en septiembre en el embalse de Alarcón con la envolvente de la gráfica de valor (coste) marginal del recurso. Se observa que los valores máximos anuales del coste del recurso se corresponden con años en los que los embalses terminan con el volumen mínimo al final del año hidrológico, pues son los años de mayor escasez de recursos.

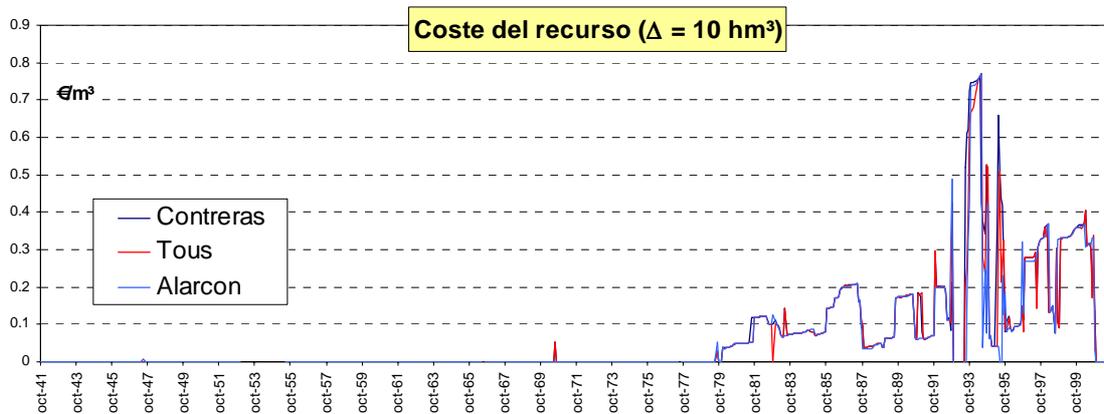


Figura 28: Coste del recurso en los embalses principales.

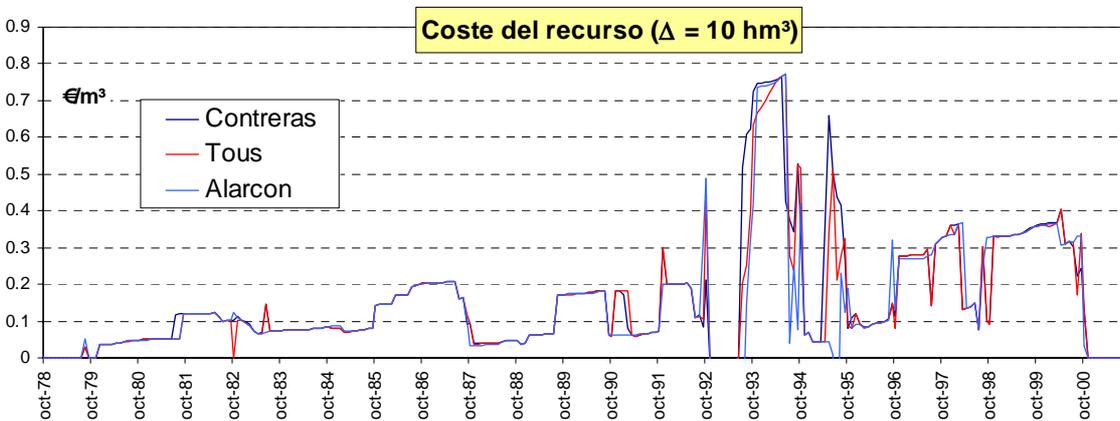


Figura 29: Coste del recurso en los embalses principales (período 1978-2001).

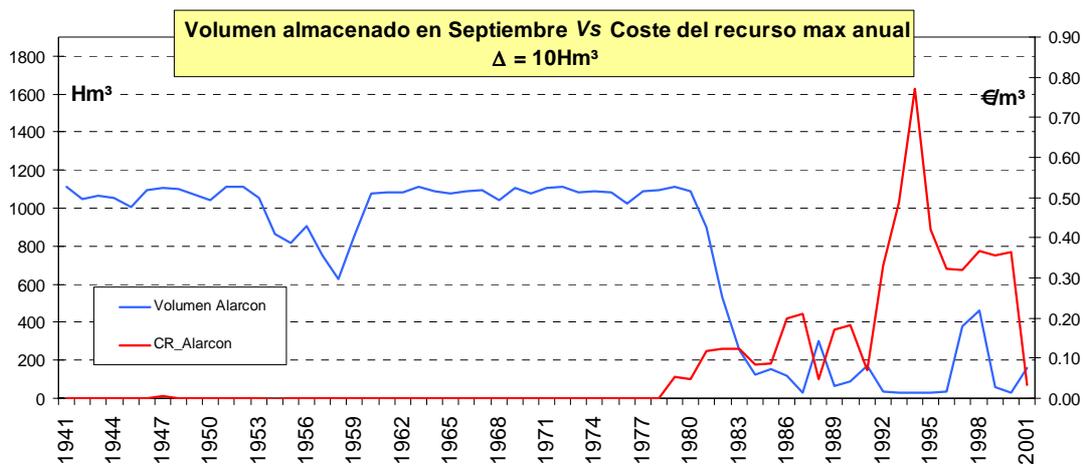


Figura 30: Coste del recurso Vs volumen almacenado en Alarcón.

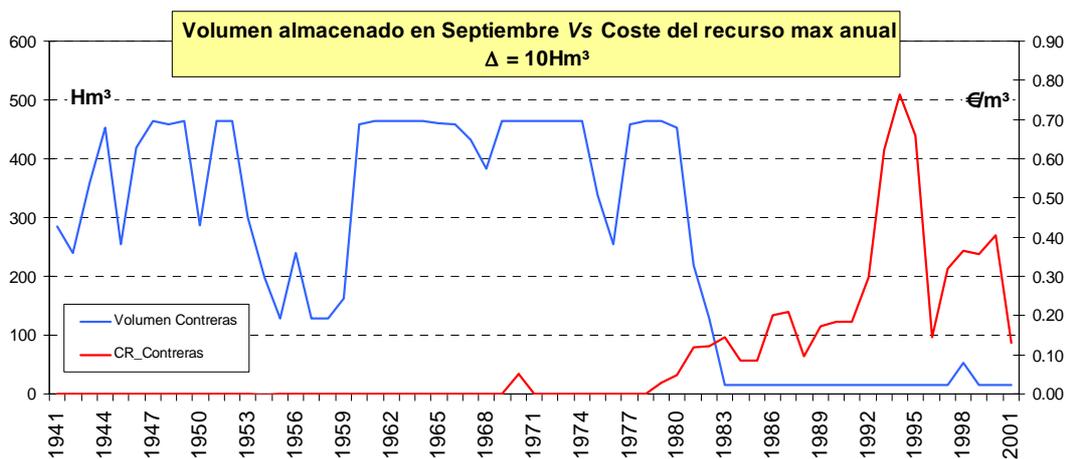


Figura 31: Coste del recurso Vs volumen almacenado en Contreras.

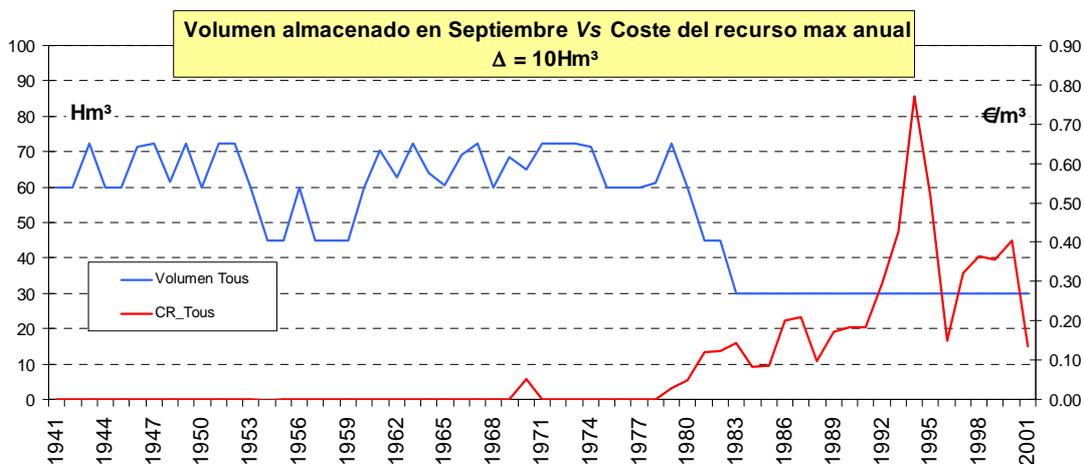


Figura 32: Coste del recurso Vs volumen almacenado en Tous.

La figura 33 muestra el valor marginal del coste del recurso desagregado para las principales unidades de demanda del sistema. Este valor se obtiene haciendo los cálculos del CMOR para sólo la curva de demanda correspondiente, suponiendo cero las demás. Se observa como las demandas agrícolas de los cultivos de cítricos son responsables en mayor medida de la subida del coste del recurso, mientras que las demandas urbanas sólo producen resultados puntuales (aunque muy elevados), y los cultivos de arroz ofrecen una disponibilidad de pago despreciable con respecto a los usos anteriores. Dado que las reglas de operación definidas no permiten déficit en los riegos de la Mancha Oriental y en los usos industriales, su aportación es prácticamente despreciable para la obtención del CMOR.

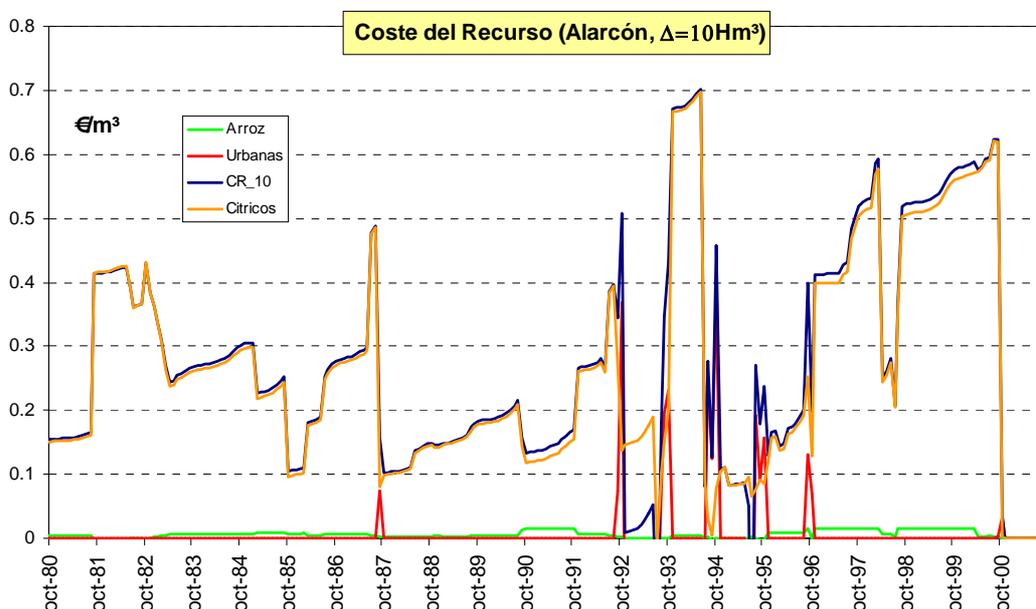


Figura 33: Coste del recurso desagregado por demandas ($\Delta = 10 \text{ hm}^3$)

Las Figuras 34 y 35 muestran un análisis estadístico de los valores de CMOR filtrados para distintos rangos de volumen almacenado (de 0 a 300 hm^3 , de 300 a 600 , de 600 a 1000 , y de 1000 hm^3 en adelante) en el embalse principal del sistema, el de Alarcón (de 1112 hm^3 de capacidad). En la Fig. 34 se representan los promedios de los valores mensuales de CMOR obtenidos, junto con la desviación típica para mostrar la dispersión relativa de los valores respecto a dicho promedio. Como era de esperar, el CMOR promedio disminuye conforme aumenta el recurso almacenado en el embalse. Ajustando una poligonal cuadrática a los valores promedio se obtiene la siguiente expresión:

$$\text{CMOR (€/m}^3\text{)} = -0.043 V^2 + 0.131 V + 0.183, \text{ siendo } V \text{ el volumen en Alarcón en } \text{hm}^3.$$

Esta fórmula nos permitiría estimar el valor marginal del recurso en función del volumen en el embalse de Alarcón. Este valor presenta dispersiones mayores (ver desviaciones típicas en tabla adjunta a la Fig. 34) cuando menor es el volumen almacenado, es decir, para CMOR altos. Este resultado es de esperar, ya que el valor del recurso en las situaciones de escasez dependerá no sólo del volumen almacenado en ese mes, sino también de las características del período de sequía (duración, severidad, situación del resto de los embalses, etc.).

En la Fig. 354 se representan los valores promedio y máximo de los máximos CMOR obtenidos en cada año hidrológico para los distintos rangos de volumen de embalse en Alarcón, tomando en este caso como referencia el volumen almacenado al final del año hidrológico, es decir, en los meses de septiembre. Se observa igualmente que los CMOR máximos están vinculados a la situación de mayor escasez de recursos. Se obtiene un buen ajuste mediante una polinomial cuadrática (ver Fig. 35). Se han representado también los promedios de los máximos de cada año.

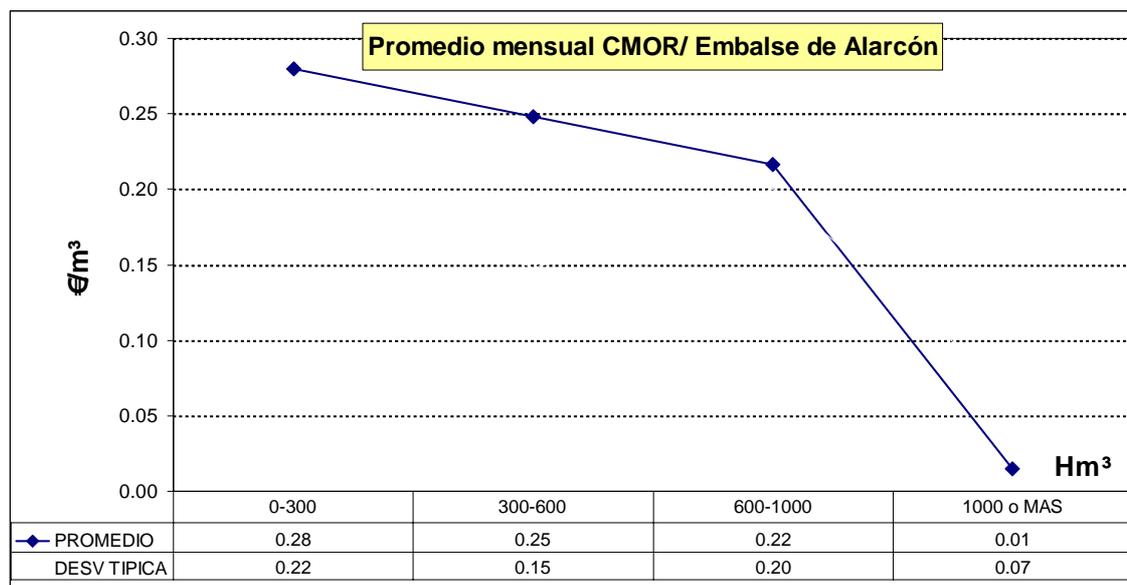


Figura 34: Valores promedio del CMOR mensual para distintos rangos de volumen en el Embalse de Alarcón

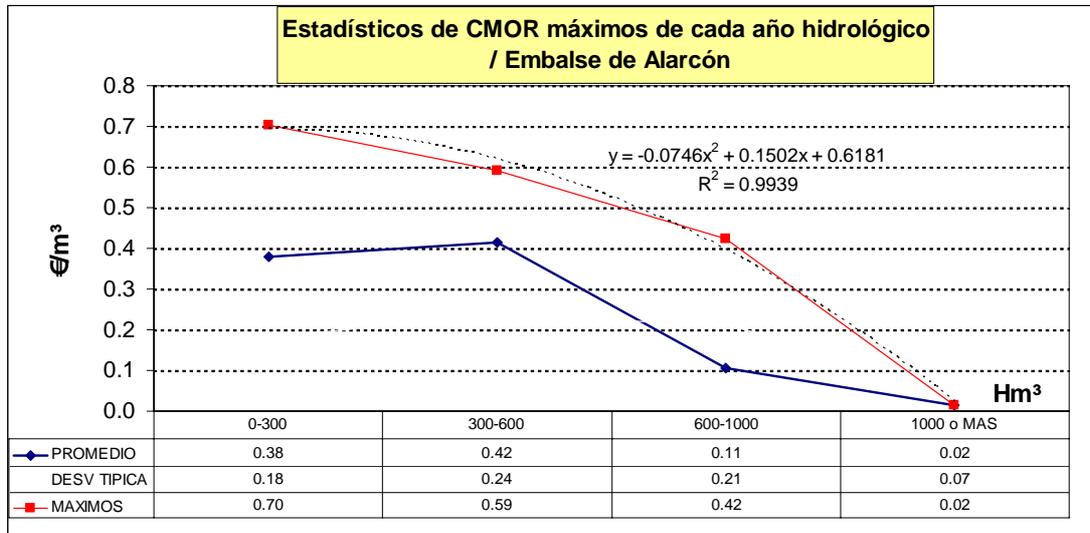


Figura 35: Valores promedio y máximo del CMOR máximo anual para distintos rangos de volumen en el Embalse de Alarcón

3.4.3 Análisis de sensibilidad del coste del recurso

En el apartado anterior se ha puesto en evidencia como las curvas de demanda agrarias son las que más afectan los resultados económicos de la simulación. Concretamente las demandas que más influyen en los cálculos del CMOR son las de cultivos de cítricos, debido a:

1. El elevado volumen de demanda mensual
2. Los déficits de suministro que se producen, de acuerdo con las reglas de explotación del sistema y la aplicación de restricciones por parte del sistema en casos de sequía (contrariamente a lo que ocurre con las unidades de demandas urbanas y los regadíos de la Mancha Oriental)
3. Una disponibilidad de pago relativamente elevada, contrariamente a los cultivos de arroz.

Se ha realizado por lo tanto un análisis de la sensibilidad de los resultados económicos al variar la elasticidad de las curvas de demanda correspondientes a los cultivos de cítricos. Se han propuesto dos escenarios: uno marcado por una hipótesis de comportamiento más rígido y el otro por una hipótesis de comportamiento más elástico de los productores de cítricos, con respecto a las condiciones definidas a lo largo del estudio.

Escenario 1: curvas de demanda rígidas.

Se proponen unas curvas de demanda correspondientes a los cultivos de cítricos marcadas por un primer tramo inelástico hasta un nivel de precio de 0,20 €/m³, seguido por un tramo continuo más elástico hasta un nivel máximo de precio de 1 €/ m³ (Fig. 36).



Figura 36: Escenario 1, curvas de demanda rígidas.

Escenario 2: curvas de demanda elásticas

En este caso se han adoptado unas curvas de demanda correspondientes a los cultivos de cítricos caracterizadas por una elasticidad elevada para todos los niveles de suministro, con un nivel de disponibilidad de pago que sube hasta un máximo de 0,6 €/ m³ (Fig. 37).



Figura 37: Escenario 2, curvas de demanda elásticas.

Comparación de los resultados

Tras haber introducido en el modelo las funciones económicas descritas anteriormente se ha procedido a una serie de simulaciones para analizar la sensibilidad del CMOR a las curvas de demanda. Como se explicó en la descripción de la metodología adoptada, el hecho de

considerar diferentes curvas económicas de demanda sólo afecta a los resultados económicos, y no a la gestión del sistema, condicionada por las prioridades y reglas de operación. Por tanto, los déficit de suministro a las demandas son los mismos, aunque el impacto económico de esos déficit es diferente.

La figura 38 muestra las diferencias entre los dos escenarios, que se manifiestan como una subida constante del CMOR al pasar de unas condiciones de demanda elástica a condiciones de demandas rígidas.

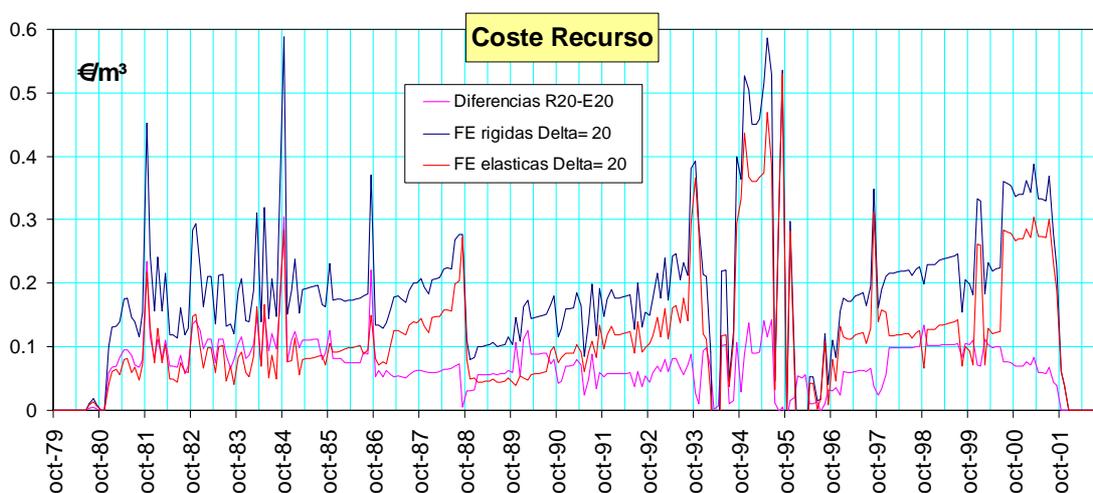


Figura 38: Diferencia de coste del recurso entre escenarios de demandas rígidas y elásticas.

3.4.4 Coste de oportunidad del mantenimiento de caudales ecológicos

El uso del evaluador económico permite calcular el impacto económico de los diferentes niveles de caudal mínimo que se apliquen a la desembocadura del Júcar sobre los restantes usos de la cuenca. Los resultados obtenidos constituyen una importante fuente de información a la hora de valorar el coste de oportunidad de introducir restricciones ambientales, información a contrastar con la cantidad que la sociedad está dispuesta a asumir para mejorar el buen estado del entorno fluvial. Con una metodología similar a la reseñada para el CMOR, podemos estimar el coste marginal de oportunidad de establecer unas restricciones de caudal mínimo en un tramo de río (ver apartado II.5).

Actualmente los tramos interesados por caudales mínimos en el Júcar se hallan aguas abajo de los embalses de cabecera (Alarcón, Contreras, Tous) y de las tomas de las principales centrales hidroeléctricas (Cofrentes, Millares). Durante los últimos años las crecientes presiones por parte de la opinión pública y de las organizaciones ecologistas están impulsando la introducción de un

caudal de mantenimiento en la desembocadura del río Júcar en Cullera. La definición de un caudal mínimo permitiría cumplir los objetivos planteados por la DMA (Art. 1) de recuperar el sistema acuático en ese tramo del río y prevenir el deterioro del estado ecológico y la contaminación de las aguas para alcanzar un buen estado general del entorno fluvial. Se han considerado varias hipótesis acerca del valor de caudal a establecer en cada mes; cada una supone un beneficio medioambiental para el ecosistema de la desembocadura y para el conjunto de actividades pesqueras, lúdicas o deportivas que se desarrollan en este entorno, pero también genera un coste en términos de pérdidas económicas para los sectores productivos que se abastecen del agua de la cuenca.

Se ha diferenciado el valor de caudal mínimo en cada mes con el fin de reproducir la estacionalidad de las variables hidrológicas. Es universalmente aceptado por el conjunto de la comunidad científica que la imposición de un caudal ecológico uniforme a lo largo del año no corresponde a las reales condiciones del ecosistema de una cuenca mediterránea. Para determinar el patrón mensual se ha analizado la distribución de las aportaciones mensuales al sistema a lo largo de la serie histórica relativa a los últimos 50 años. Se ha elegido asignar un caudal de 1 m³/s en el mes de menor aportación (agosto) y aplicar durante el resto del año los patrones definidos anteriormente. A la vista de la escasa diferencia entre los valores mensuales de las distintas curvas se ha preferido considerar el patrón mensual calculado según el promedio de las aportaciones.

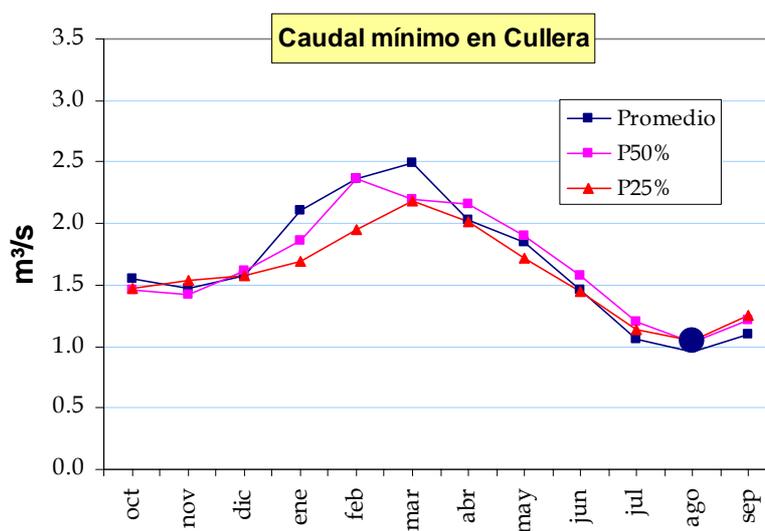


Figura 39: Caudal mínimo analizado en la desembocadura del río Júcar

Las figuras siguientes muestran la comparación entre las salidas mensuales al mar generadas por la aplicación del caudal mínimo y los valores procedentes de los resultados de la simulación

del modelo original de la cuenca del Júcar: en la primera se comparan los patrones porcentuales mensuales mientras en la segunda los volúmenes mensuales en hm³. Se han considerado como referencia los percentiles de 25% y 50% de los valores calculadas por el programa SimGes para limitar las alteraciones producidas por fenómenos hidrológicos excepcionales. Destaca a un primero análisis como la introducción de un caudal ecológico afecte exclusivamente los meses de verano, cuando es máxima la explotación sobretodo por parte de los usos agrícolas aguas abajo del embalse de Tous, y el mes de diciembre, cuando se realiza una fuerte acción de regulación por parte de los embalses. En los restantes meses las salidas simuladas superan abundantemente el caudal mínimo prefijado.

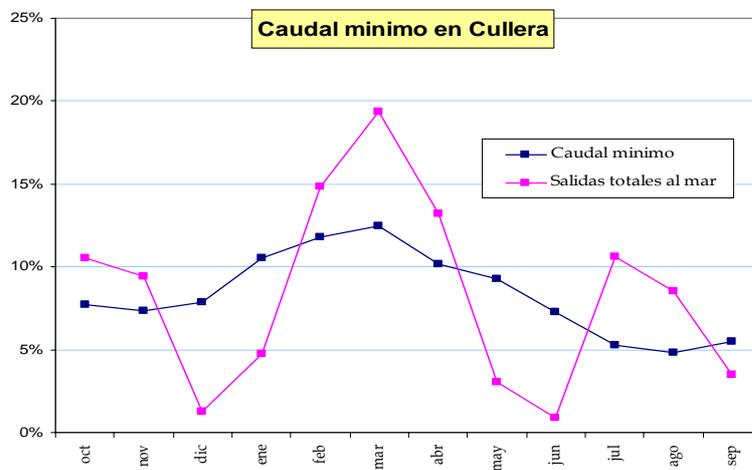


Figura 40: Comparación entre los patrones porcentuales mensuales.

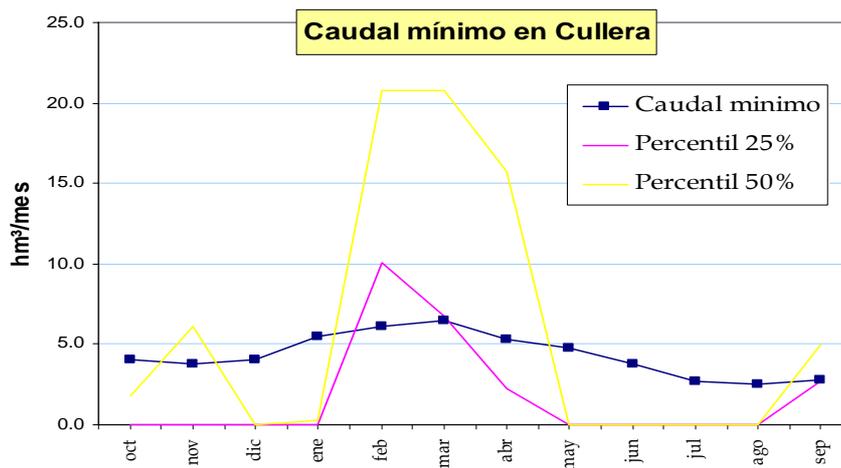


Figura 41: Comparación entre los volúmenes mensuales.

Antes de proceder a la exposición de los resultados de la simulación hay que precisar que en el análisis económico no se han tenido en cuenta los beneficios producidos por el desarrollo del un

conjunto de actividades, relacionadas con los sectores pesquero, turístico-recreativo, deportivo etc., que se benefician de la mejora del entorno fluvial. El valor del excedente económico calculado se refiere por lo tanto únicamente a los usos ya presentes en el modelo cuyas demandas son descritas en el apartado 2.4. El desarrollo de nuevas metodologías que permitan definir las funciones económicas propias de los usos ambientales abre nuevos, interesantes ámbitos de aplicación del evaluador económico para el análisis sistemático de las medidas de mejora ecológica del hábitat fluvial.

La figura 42 muestra la diferencia entre el coste de escasez calculado en el caso base y en el caso modificado por la introducción del caudal ecológico descrito, lo que se puede interpretar como la pérdida de excedente económico padecida por los usuarios del agua. Del análisis conjunta de las Fig. 42 y la Fig. 43 cabe destacar que el coste de escasez se manifiesta sólo durante los períodos de sequía y afecta casi exclusivamente las demandas agrícolas. La Fig. 44 compara la evolución del CMOR en Alarcón para el caso base y el caso con caudal mínimo.

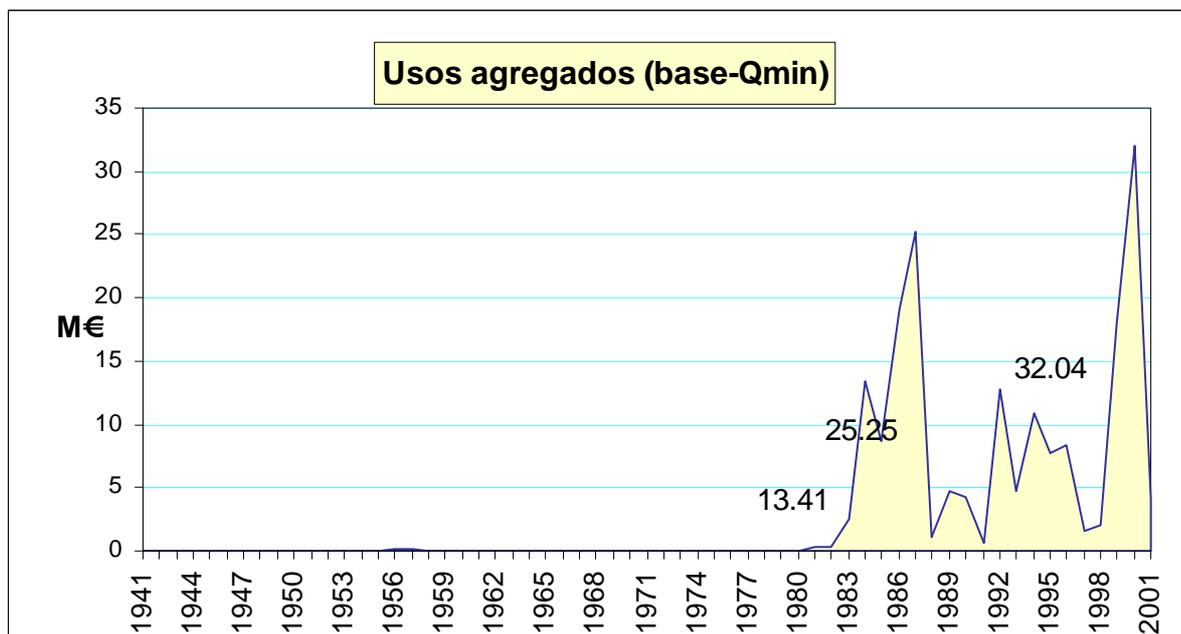


Figura 42: Coste de oportunidad agregado de caudales mínimos en Cullera.

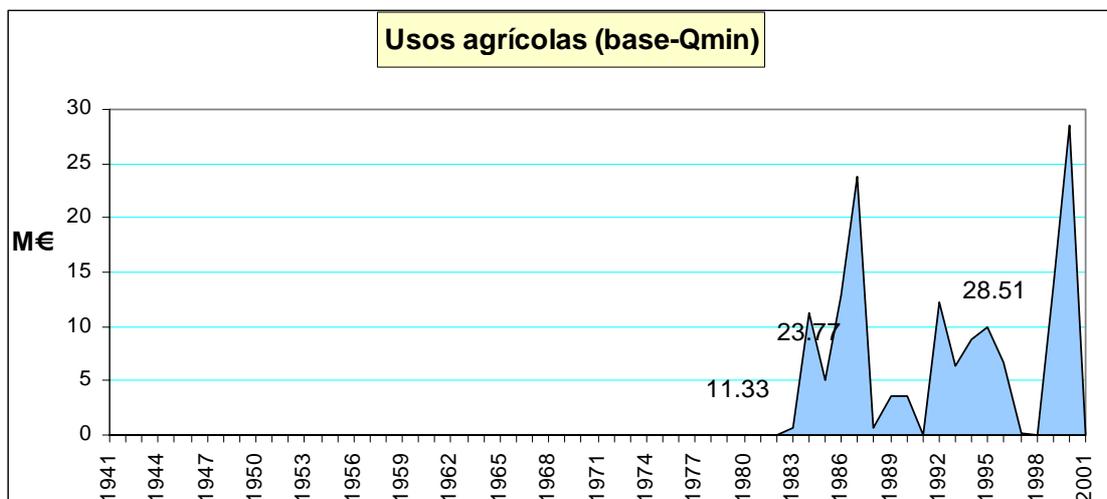


Figura 43: Coste de oportunidad para usos agrícolas de mantener caudales mínimos en Cullera

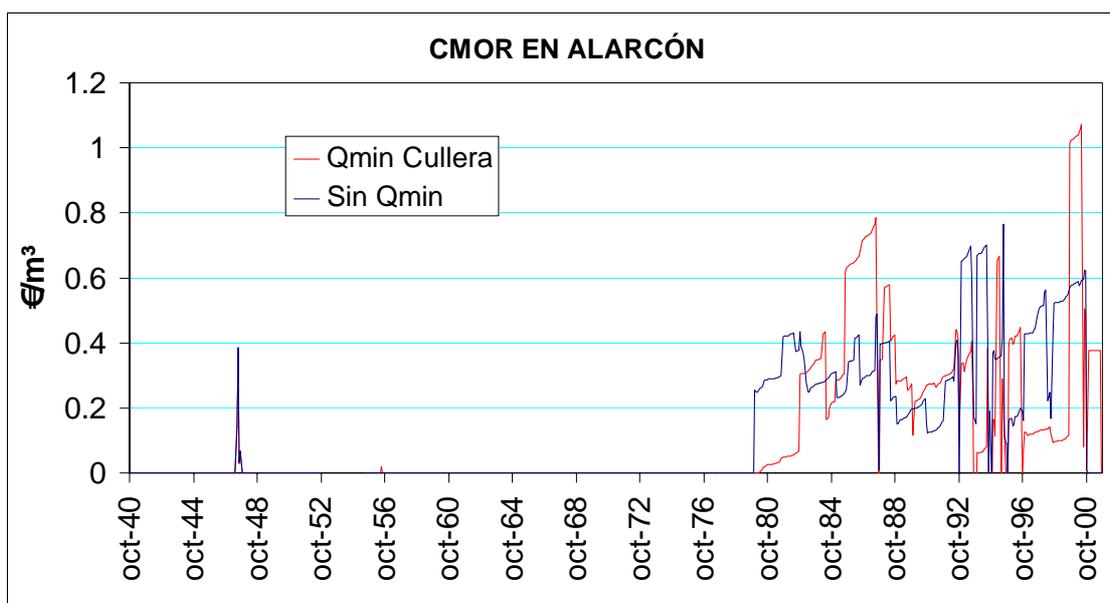


Figura 44: Comparación del CMOR en el embalse de Alarcón con y sin caudales mínimos en Cullera

4. SISTEMA DEL RÍO MIJARES

4.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA MIJARES

El río Mijares se encuentra ubicado en la vertiente oriental de la península Ibérica vertiendo al mar Mediterráneo, y pertenece al ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar (figura 45). El Sistema Mijares-Plana de Castellón se encuentra entre las provincias de Teruel y Castellón; no solo comprende la totalidad del río Mijares, sino también las pequeñas cuencas próximas a su área de influencia como son las del río Seco, Veo y Belcaire, y las subcuencas

Mijares-Plana de Castellón (CHJ, 1997) son las siguientes, aunque no de manera exclusiva (figura 46):

- 8.05. Javalambre
- 8.06. Mosqueruela
- 8.07. Maestrazgo
- 8.12. Plana de Castellón
- 8.13. Onda
- 8.20. Medio Palencia
- 8.21 Plana de Sagunto

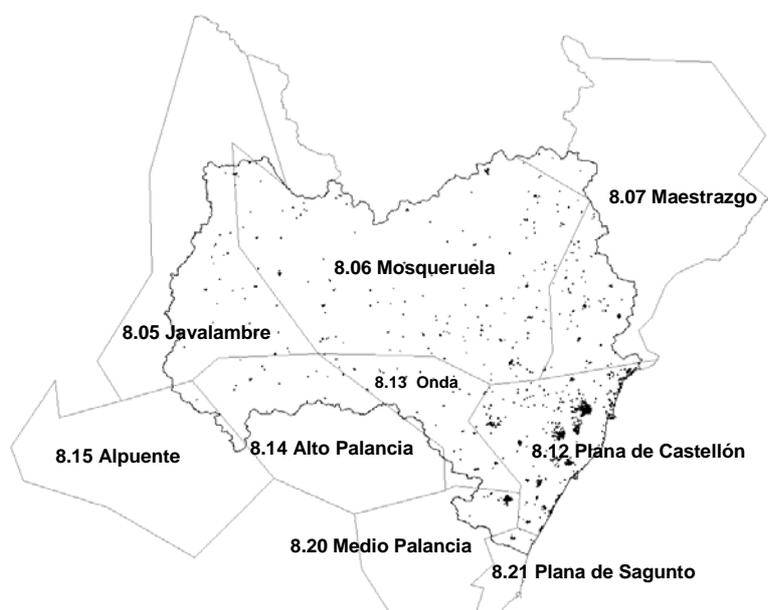


Figura 46 Unidades Hidrogeológicas en Mijares-Plana de Castellón

Los balances de las unidades hidrogeológicas se muestran en la tabla 13:

NOMBRE UNIDAD	ENTRADAS			SALIDAS Bombeos	DIFERENCIA (hm ³)
	Recarga de lluvia	Infiltración de riego	Transferencias laterales		
JAVALAMBRE	72.94	2.83	24.00	0.41	99.36
MOSQUERUELA	239.02	5.45	0.00	5.97	238.50
MAESTRAZGO	216.24	13.75	32.00	35.65	226.34
PLANA DE CASTELLON	35.94	59.73	25.60	134.23	-12.96
ONDA	28.92	2.79	0.00	4.05	27.66
ALTO PALANCIA	61.44	0.54	0.00	9.88	61.10
ALPUENTE	71.07	2.52	0.00	9.88	63.71

NOMBRE UNIDAD	ENTRADAS			SALIDAS	DIFERENCIA
	Recarga de lluvia	Infiltración de riego	Transferencias laterales	Bombeos	(hm ³)
MEDIO PALANCIA	35.82	20.55	24.00	63.25	17.12
PLANA DE SAGUNTO	7.21	26.46	11.98	45.54	0.11

Tabla 13 Balance de las unidades hidrogeológicas de la cuenca del Mijares

La distribución mensual de la recarga por cada unidad hidrogeológica en el sistema Mijares-Plana de Castellón, se muestra en la tabla 14:

Tabla 14 Distribución mensual de la recarga en las UHG del Mijares

Nombre	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Anual
	Recarga en hm ³												
Javalambre	8.95	5.08	6.46	5.59	4.82	5.34	7.23	10.11	7.04	2.78	3.66	5.89	72.94
Mosqueruela	40.46	23.90	28.80	17.13	14.00	17.53	21.61	25.89	12.66	4.69	10.16	22.18	239.02
Maestrazgo	43.51	23.28	31.10	18.52	15.68	17.10	18.89	16.18	5.70	1.12	2.84	22.33	216.24
Plana de Castellón	9.86	3.69	5.40	2.61	2.18	2.22	2.55	1.89	0.50	0.09	0.52	4.40	35.94
Onda	5.37	3.29	3.80	2.31	1.95	2.20	2.44	2.52	0.91	0.23	0.81	3.07	28.92
Alto Palancia	10.25	6.76	8.33	5.07	4.84	4.27	5.46	5.91	2.67	0.60	1.79	5.50	61.44
Alpuente	9.01	7.08	8.61	7.84	7.06	5.26	7.17	7.60	4.49	1.23	1.52	4.18	71.07
Medio Palancia	8.37	4.52	4.91	3.16	2.62	2.45	2.56	2.00	0.57	0.07	0.59	4.00	35.82
Plana de Sagunto	2.21	0.82	1.03	0.58	0.36	0.37	0.36	0.26	0.06	0.01	0.13	1.01	7.21

4.2 MODELO DE SIMULACIÓN DE LA GESTIÓN DEL MIJARES

4.2.1 Antecedentes

El modelo de simulación del Sistema de Explotación Mijares-Plana de Castellón toma como base la modelación desarrollada en *Análisis del sistema del río Mijares y diseño de un plan de gestión óptimo para la mitigación de sequías* [Sopeña, 2002]. En este modelo previo se consideraron únicamente cuatro demandas UDA (Riegos Tradicionales, Canal Cota 100, Canal Cota 220 y Ma. Cristina), y no se incluían las Unidades de Demanda Urbana del sistema, ya que éstas utilizan agua subterránea y únicamente se analizaba la gestión del recurso hídrico superficial. Para el modelo utilizado en este informe, se ha actualizado el esquema de SIMGES, incorporando las principales UDU, así como los bombeos y el uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas en las UDU y UDAs. Además, se han actualizado los valores de demanda de acuerdo con los últimos datos suministrados por la Oficina de Planificación Hidrológica de la CHJ. Por tanto, el modelo difiere notablemente del original, permitiendo una representación más realista de la gestión del sistema y del consecuente análisis económico.

4.2.2 Esquema de SIMGES

El esquema de gestión del sistema Mijares, incluye los embalses de Arenós, Sichar y M^a Cristina, las derivaciones para las zonas regables de los canales Cota 220, Cota 100 y Canal de Enlace hacia la zona regable de María Cristina, todo ello aguas arriba de las tomas de los Riegos Tradicionales, como se muestra en la figura 47 . Se incluyen también diez unidades de demanda agrícola adicionales a las cuatro mencionadas y diez unidades de demanda urbana que son abastecidas por nueve unidades hidrogeológicas. Aguas abajo del embalse Sichar, se ha considerado un tramo de río con caudal ecológico, con el mínimo equivalente a 200 l/s, de acuerdo al Plan de Cuenca del Mijares. El esquema de la gestión está conformado por diferentes elementos de demanda e infraestructura. La tabla 15 muestra el número y el nombre del elemento considerado en el esquema de simulación

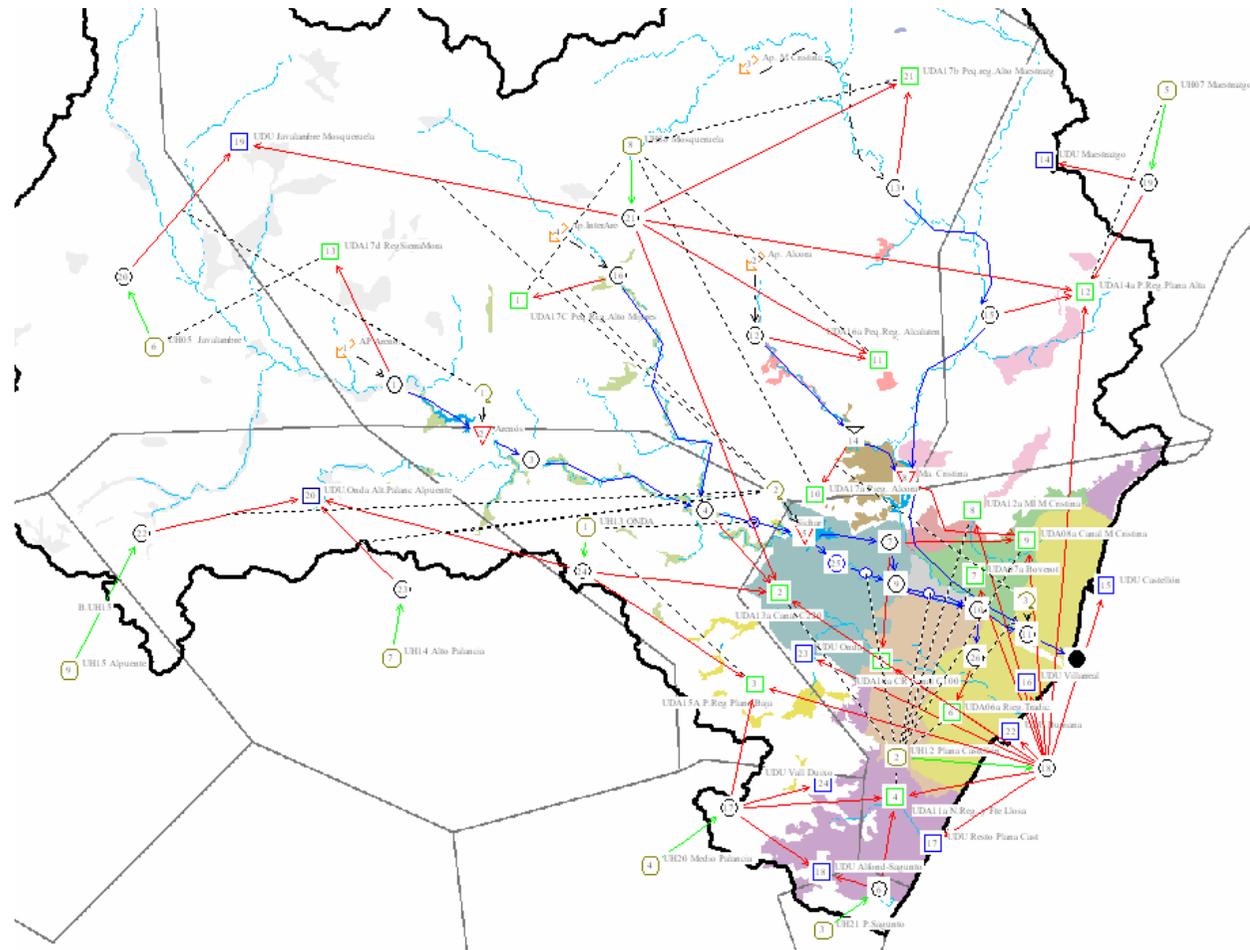


Figura 47: Esquema SIMGES del sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón

Número de elemento	Nombre	Número de elemento	Nombre
	Unidades Hidrogeológicas		Unidades de demanda Agrícola
1	UH13 Onda	1	UDA17c Peq. Reg. Alto Mijares
2	UH12 Plana Castellón	2	UDA13A Canal C 220
3	UH21 Sagunto	3	UDA15A Peq. Reg Plana Baja
4	UH20 Medio Palencia	4	UDA11A N.Reg. y Fte Llosa
5	UH07 Maestrazgo	5	UDA10A CR Canal C100
6	UH05 Javalambre	6	UDA06A Rieg. Tradic.
7	UH14 Alto Palancia	7	UDA07A Boverot
8	UH06 Mosqueruela	8	UDA12A MI M Cristina
9	UH15 Alpuente	9	UDA08A Canal M Cristina
	Unidades de demanda Urbana	10	UDA17A Rieg. Alcora
14	UDU Maestrazgo	11	UDA16A Peq. Reg. Alcalaten
15	UDU Castellón	12	UDA14A P. Reg. Plana Alta
16	UDU Villarreal	13	UDA17d RegSierraMora
17	UDU Resto Plana Cast	21	UDA17B Peq. Reg. Alto Maestrazgo
18	UDU Alfond. Sagunto		Embalses
19	UDU Javalambre Mosqueruela	2	Arenós
20	UDU Onda Alt.Palanc Alpuente	5	Sichar
22	UDU Burriana	8	Ma Cristina
23	UDU Onda	14	...azud
24	UDU Vall Duixo		

Tabla 15 Elementos del esquema SIMGES

Tomas para UDU's	Tomas para UDA's		Conducciones	
			Nombre	Tipo
T.UH07-U.Maestrazgo	T.Mijares - UDA17C	T.UH12-UDA14a	C1-1	1
T.UH12-U.Castellon	T.UH06 -UDA13a	T.UH07-UDA14	C1-2	1
T.UH12-U.Villarreal	T.Rio UDA13a	T.mijares-UDA17	C1-3	1
T.UH12-U.resto Plana Castell	T.UH13-UDA13a	T.UH06 -UDA17b	C1-9	1
T.UH20-Alfondeguilla	T.UH12-UDA13	T.río UDA17b	C3-1	3
T.UH21-U.Sagunto	T.UH13-UDA15		Tramo Comun	1
T.UH06-Mosqueruela	T.UH20-UDA15		R.Mijares 5	1
T.UH05-U.Javalambre	T.UH12-UDA15		R.Mijares 6	2
T.UH15-Alpuente	T.UH20-UDA11		R.Mijares 7b	1
T.UH14 Alto Palancia	T.UH21-UDA11		R.Mijares 7a	2
T.UH13 U.Onda	T.UH12-UDA11		C1-6	1
T.UH12-U.Burriana	T.UH12-UDA10a		R.Rbl.Viuda 3	1
T.UH12-U.Onda	T.tramo común -UDA10a		R.Lucena 2	1

Tomas para UDU's	Tomas para UDA's		Conducciones	
			Nombre	Tipo
T.UH20-Vall d'Uixo	T.rio UDA06		R.Lucena 1	1
Bombeos	T.UH12 -UDA07a		R.Rbla.Viuda 2	1
B.UH13	T.UH12-UDA12a		C1-8	1
B.UH12	T.MCrist-UDA08a		C1-7	1
b.UH21	T.TrCom-UDA08a			
B.UH20	T.UH12-UDA08a			
B.UH07	T.rio UDA17a			
B.UH05	T.UH06- UDA16a			
B.UH14	T. rio UDA16a			
B.UH06	T.UH06 -UDA14a			
B.UH15	T.rio -UDA14a			

Se dispuso de series históricas de aportaciones restituidas al régimen natural en escala mensual para el período 1940-2002 para las entradas al embalse de Arenós, las aportaciones intermedias Arenós-Sichar, entradas al embalse de María Cristina y entradas al embalse de Alcora. En la figura 48 se muestra la ubicación de las aportaciones consideradas en el sistema.

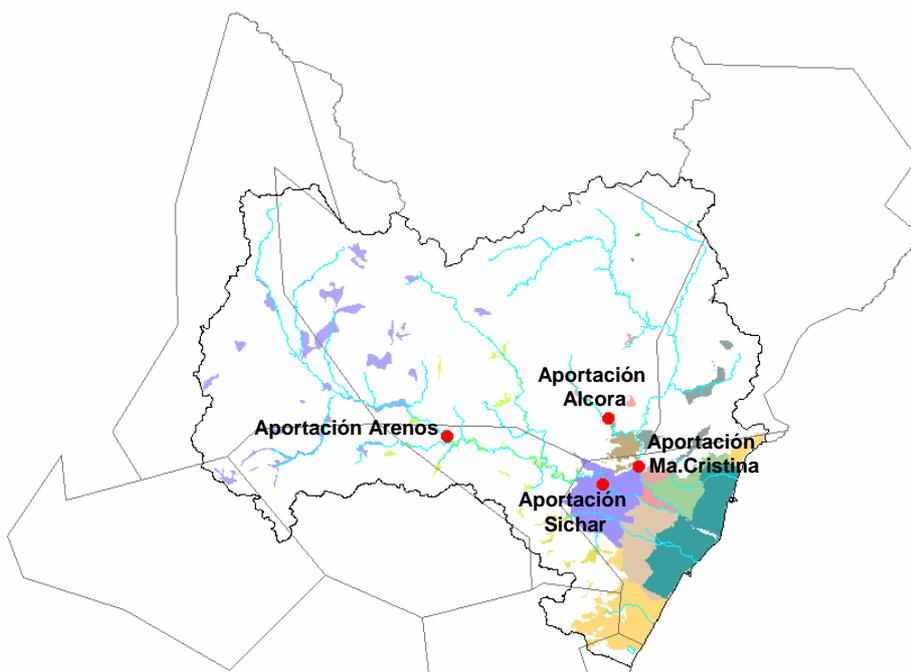


Figura 48: Ubicación de las aportaciones al Sistema Mijares-Plana de Castellón

La aportación al río Arenós representa más del 60% de los recursos del río Mijares. En la figura 49 se muestran las cuatro series de aportaciones anuales.

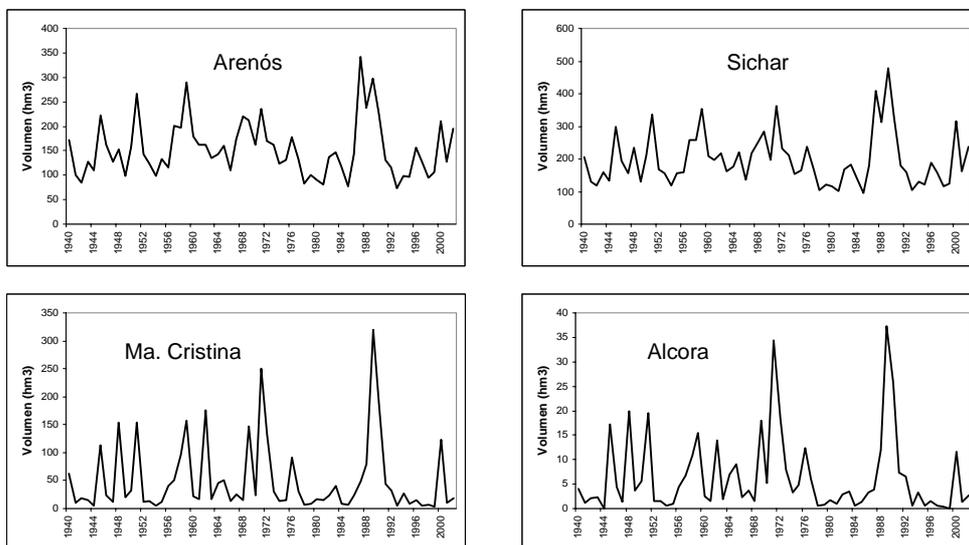


Figura 49 Aportaciones al sistema Mijares-Plana de Castellón

En su tramo final, el río recarga al acuífero de la Plana, produciéndose importantes pérdidas por filtraciones en el cauce. El primer tramo del río desde la salida del embalse Sichar presenta también fuertes filtraciones; lo que propició la construcción del *Tramo común* cuya toma se localiza inmediatamente aguas abajo del reintegro de la central hidroeléctrica de Colmenar. El tramo común es una canal artificial situado en la margen izquierda del cauce que permite alimentar al Canal de la Cota 100 y el Canal de enlace de los riegos de M^a Cristina. Casi la totalidad del agua que lleva el río se deriva hacia el tramo común, dejando únicamente en el cauce del río el caudal ecológico. Las filtraciones en este primer tramo se estiman en unos 200 l/s (CHJ, 1997), unos 0.53 hm³/mes, el cual se ha definido como caudal mínimo ecológico. Las pérdidas en la actualidad se concentran en la zona entre el retorno del tramo común y las tomas de los riegos tradicionales. Se han estimado leyes de pérdidas en función de los caudales circulantes diferentes para los meses de invierno y verano.

4.2.3 Infraestructura

En la tabla 16 se indican los principales canales y su capacidad, y en la tabla 17 los embalses considerados, con su capacidad útil y la aportación media anual natural.

Canales	Caudal (m ³ /s)	Longitud (km)
Canal del Tramo Común	24.4	5.5
Canal de la cota 100	4.1	18
Canal de la cota 220	5	9
Canal de M ^a Cristina	3	15.2

Tabla 16 Canales en el río Mijares

Embalses	Capacidad útil (hm ³)	Aportación natural (hm ³ /año)
Embalse de Arenós	93	136.4
Embalse de Sichar	39-49	83.6
Embalse de Alcora	2.02	
Total	134-144	220.0

Tabla 17 Características generales de los embalses

La variabilidad de los datos de capacidad útil de los embalses es debida a los resguardos de avenidas que se deben dejar en el embalse de Sichar en los meses de octubre a enero, lo cual la hace disminuir durante esos meses.

4.2.4 Demandas de agua

Las demandas hídricas consideradas en el análisis del sistema Mijares-Plana de Castellón, corresponden a los usos agrícolas y urbanos exclusivamente. El uso agrícola es el que representa el mayor volumen del recurso, sobretodo porque demanda un mayor volumen del sistema hídrico superficial, mientras que el abastecimiento urbano en su totalidad se hace por medio de la explotación de los acuíferos correspondientes a las Unidades Hidrogeológica indicadas en la tabla 15.

Demandas agrícolas. El sistema Mijares-Plana de Castellón está conformado por catorce Unidades de Demanda Agrícola (UDA) las cuales se muestran en la figura 50 en donde se indica, además, el volumen de demanda anual de cada una de ellas.

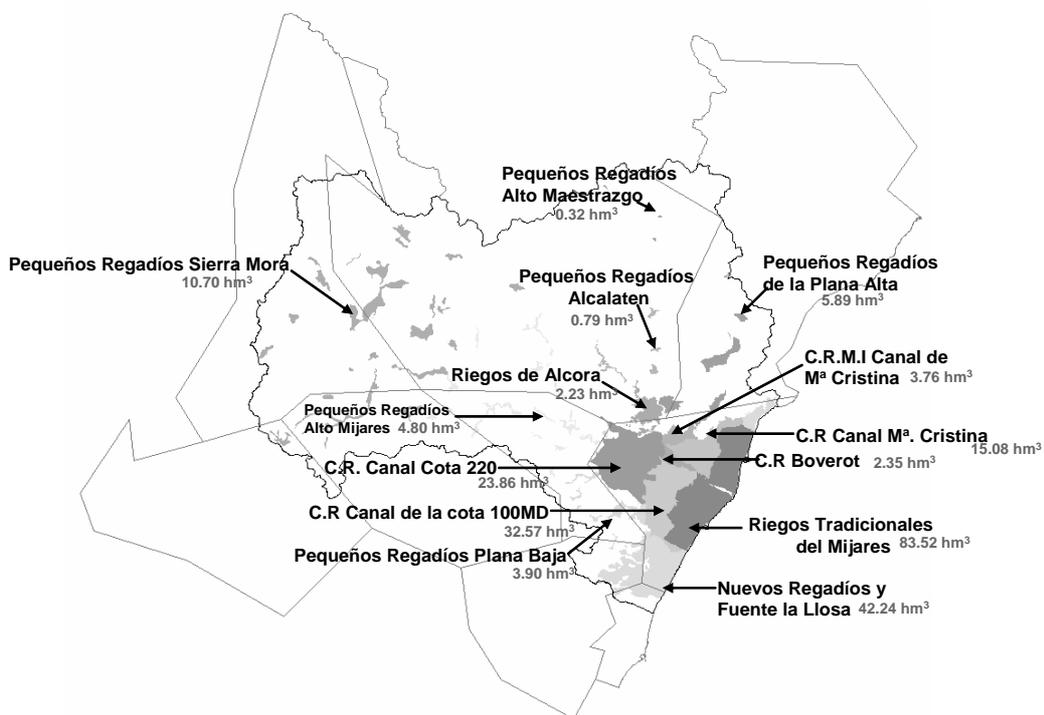


Figura 50 Unidades de Demanda Agrícola del Mijares

Las demandas hídricas correspondientes a las catorce Unidades de Demanda Agrícola son las que la Confederación Hidrográfica del Júcar ha determinado, y se muestran en la Tabla 18:

UDA	DEMANDA BRUTA (hm ³ /año)
Riegos tradicionales del Mijares	83.52
C.R. Boverot	2.345
C.R. Canal de Mª Cristina	15.08
C.R. Canal de la cota 100 MD	32.57
Nuevos Regadíos y Fuente La Llosa	42.24
C.R. M.I. Canal de Mª Cristina	3.756
Pequeños regadíos de la Plana Alta	5.89
C.R. Canal cota 220	23.86
Pequeños regadíos Plana Baja	3.90
Pequeños regadíos Alcalaten	0.79
Riegos de Alcora	2.23
Pequeños regadíos Alto Maestrazgo	0.32
Pequeños regadíos Alto Mijares	4.80
Pequeños regadíos Sierra Mora (Teruel)	10.71

Tabla 18 Demanda bruta por Unidad de Demanda Agrícola

La distribución mensual de cada una de las demandas se estimó considerando una hectárea representativa y utilizando los porcentajes correspondientes al método de Penman-Monteih, según los informes del [CEDEX](#): *Determinación de las dotaciones de riego en los planes de regadío de la cuenca del Júcar*. La tabla 19 muestra la distribución mensual considerada en el análisis.

UDA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Riegos tradicionales del Mijares	1.7	2.51	6.68	5.01	6.68	13.36	18.37	10.85	7.51	5.84	1.67	3.34	83.52
C.R. Boverot	0.045	0.07	0.189	0.14	0.189	0.38	0.51	0.30	0.21	0.16	0.04	0.09	2.34
C.R. Canal de Ma ^a Cristina	0.30	0.45	1.21	0.90	1.21	2.41	3.31	1.96	1.35	1.05	0.30	0.60	15.07
C.R. Canal de la cota 100 MD	0.65	0.978	2.601	1.95	2.61	5.21	7.16	4.23	2.93	2.28	0.65	1.30	32.57
Nuevos Regadíos y Fuente La Llosa	0.85	1.27	3.38	2.53	3.38	6.756	9.294	5.49	3.80	2.95	0.84	1.69	42.24
C.R. M.I. Canal de Ma ^a Cristina	0.08	0.11	0.30	0.223	0.30	0.60	0.82	0.48	0.33	0.26	0.07	0.15	3.75
Pequeños regadíos de la Plana Alta	0.12	0.18	0.47	0.35	0.47	0.94	1.29	0.76	0.530	0.41	0.11	0.23	5.889
C.R. Canal cota 220	0.48	0.72	1.67	1.43	2.145	4.056	5.25	3.57	1.90	1.43	0.47	0.712	23.86
Pequeños regadíos Plana Baja	0.08	0.12	0.27	0.23	0.35	0.66	0.85	0.58	0.31	0.23	0.07	0.12	3.89
Pequeños regadíos Alcalaten	0.012	0.02	0.05	0.045	0.06	0.13	0.18	0.12	0.07	0.03	0.012	0.02	0.79
Riegos de Alcora	0.045	0.045	0.156	0.134	0.178	0.379	0.512	0.356	0.223	0.089	0.045	0.067	2.227
Pequeños regadíos Alto Maestrazgo	0.003	0.003	0.006	0.016	0.029	0.067	0.090	0.051	0.032	0.013	0.003	0.006	0.320
Pequeños regadíos Alto Mijares	0.048	0.048	0.192	0.240	0.480	0.815	1.295	0.863	0.480	0.240	0.048	0.048	4.796
Pequeños regadíos Sierra Mora (Teruel)	0.107	0.107	0.428	0.535	1.070	1.820	2.890	1.927	1.070	0.535	0.107	0.107	10.705

Nota: Los valores de las demandas están en hm³

Tabla 19 Distribución mensual de las demandas agrícolas

Demandas urbanas.

La demanda urbana fue considerada teniendo en cuenta las Unidades Hidrogeológicas en las que se encontraban las poblaciones ubicadas en la región del Sistema de Explotación Mijares-Plana de Castellón. El total de la demanda anual por Unidad Hidrogeológica se muestra en la tabla 20 y corresponde a la suma de demandas de los municipios que se encuentran en cada UHG.

UHG	Demanda (hm³)
8.05	0.26
8.06	3.35
8.07	1.123
8.12	56.99
8.13	1.39
8.14	0.13
8.15	0.01
8.20	3.56
8.21	0.63

Tabla 20 Demanda anual por UHG

Las demandas urbanas se han agrupado tomando en cuenta tanto los municipios que forman parte de una UHG, como el número de habitantes en cada uno de ellos. Así, las Unidades de Demanda Urbana (UDUs) consideradas para el análisis se muestran en la tabla siguiente:

Nombre UDU	UHG
Javalambre-Mosqueruela	8.05-8.06
Maestrazgo	8.07
Resto Plana de Castellón	8.12
Burriana	8.12
Castellón de la Plana	8.12
Villareal	8.12
Onda	8.12
Onda-Alto Palancia-Alpuente	8.13-8.14-8.15
Alfondegulla-Sagunto	8.20-8.21
Vall d'Uixo	8.20

Tabla 21 Unidades de Demanda Urbana y UHG de las que bombean principalmente

La UDU Javalambre-Mosqueruela, está conformada por cinco municipios cuyo origen del agua proviene de la UHG 8.05 y treinta y tres municipios que se abastecen de la UHG 8.06 para un total de 30000 habitantes. La UDU Maestrazgo la conforman ocho municipios que son abastecidos por la UHG 8.07 que satisface la necesidad hídrica de 10870 habitantes. El municipio de Burriana, con 29250 habitantes, se abastece de la UHG 8.12 al igual que el municipio de Castellón de la Plana que cuenta con 160714 habitantes y Villarreal con 44685 habitantes. El resto de la Plana de Castellón está conformado por nueve municipios y se abastece de la misma UHG 8.12. UDU Onda está constituida por el municipio del mismo nombre y cuenta con 20909 habitantes. UDU Onda-Alto Palencia-Alpuente comprende veintiún municipios que utilizan el agua subterránea de la UHG 8.13 y cinco municipios que lo hacen de la UHG 8.14. Tres municipios constituyen la UDU Alfondeguilla-Sagunto y, finalmente. Por último, UDU Vall d'Uixo está constituida por el municipio del mismo nombre para satisfacer la demanda de sus 30423 habitantes.

Para obtener la distribución mensual de la demanda, primeramente se consideraron las dotaciones proporcionadas por la CHJ para cada uno de los municipios. Con la dotación, se obtuvo la demanda permanente para cada uno de los municipios de la región, con la expresión siguiente:

$$D_{perm} = \frac{Dotación}{1000000000} \cdot Población \cdot 365 \text{ [hm}^3\text{]}$$

donde el concepto de D_{perm} se refiere a aquella en la que no se considera un incremento en la demanda debido a la población turística. Debe observarse que la demanda que proporciona la CHJ se refiere a la demanda total anual considerando también a la población turística.

La distribución mensual se hace sencillamente dividiendo la demanda permanente entre los días del año y multiplicando el resultado por el número de días de cada mes, de acuerdo con la expresión:

$$D_{mensual} = \frac{D_{perm}}{365} \cdot No. \text{ días del mes [hm}^3\text{]}$$

Sin embargo, durante los meses de junio, julio y agosto, la demanda de agua potable se ve notablemente incrementada por la población turística en algunos municipios. Para corregir los valores de distribución en la demanda durante esos meses, aquella se incrementará en un tercio de la diferencia entre la demanda total y la demanda permanente, con la expresión siguiente:

$$ID = \frac{D_{total} - D_{perm}}{3} [\text{hm}^3]$$

En la tabla 22 puede observarse la distribución mensual de las demandas urbanas en cada una de las Unidades de Demanda.

Nombre UDU	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Javalambre-Mosqueruela	0.23	0.21	0.23	0.22	0.23	0.52	0.53	0.53	0.22	0.23	0.22	0.23	3.62
Maestrazgo	0.08	0.07	0.08	0.08	0.07	0.08	0.07	0.08	0.15	0.16	0.16	0.07	1.13
Resto Plana de Castellón	0.69	0.66	0.68	0.68	0.61	0.68	0.65	0.68	5.22	5.25	5.25	0.66	21.76
Burriana	0.29	0.25	0.29	0.29	0.29	0.29	0.31	0.31	0.28	0.29	0.29	0.29	3.53
Castellón de la Plana	1.79	1.62	1.79	1.74	1.79	3.03	3.09	3.09	1.74	1.79	1.74	1.79	25.00
Villareal	0.35	0.31	0.35	0.34	0.35	0.35	0.37	0.37	0.34	0.35	0.34	0.35	4.14
Onda	0.20	0.18	0.20	0.19	0.20	0.27	0.27	0.27	0.19	0.20	0.19	0.20	2.56
Onda-A.Palan-Alpuente	0.07	0.06	0.07	0.06	0.07	0.31	0.31	0.31	0.06	0.07	0.06	0.07	1.52
Alfondeguilla-Palancia-Sagunto	0.06	0.05	0.06	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.05	0.06	0.05	0.06	0.73
Vall d'Uixo	0.293	0.25	0.29	0.28	0.28	0.29	0.30	0.30	0.27	0.29	0.28	0.29	3.46
										Demandas urbanas del Sistema			67.47

Nota: Los valores de las demandas están en hm³

Tabla 22. Distribución mensual de la demanda urbana

4.2.4.1 Reglas de operación

La gestión del sistema se realiza mediante una regla de explotación determinista: la curva de embalse del convenio de 1970 (Figura 51) .En esa curva se define un volumen útil como curva de reserva para el embalse de Sichar, variable mes a mes y con un máximo en marzo de 36 hm³. Tras la construcción de Arenós, la gestión del conjunto de embalses de Arenós y Sichar consiste en satisfacer las demandas existentes desde el embalse de Sichar, por encontrarse este último aguas abajo del anterior. Una vez agotada la capacidad del embalse de Sichar, se realizarán las sueltas necesarias desde el embalse de Arenós. Si el volumen almacenado en el conjunto de Arenós-Sichar es menor que el umbral de la curva, entonces no se suministra agua a los riegos mixtos, y sólo se suministran los regadíos tradicionales, más prioritarios. Existen unos volúmenes mínimos en cada embalse, que lleva a reescalar la curva de reserva, adicionando 5 hm³ durante todos los meses.

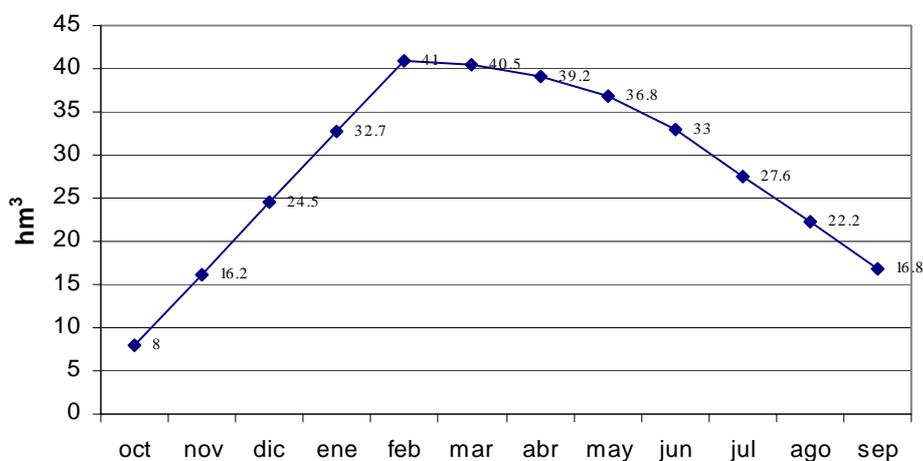


Figura 51: Curva de reserva del Convenio 1970

4.3 INFORMACIÓN ECONÓMICA

4.3.1 Análisis económicos del Plan Hidrológico Nacional.

El PHN identificó cinco grandes zonas diferenciadas, caracterizadas por una estructura productiva común, especialización de cultivos, similar estructura socioeconómica. Entre ellas está la de Castellón. Los puntos disponibles y ponderados resultantes se ajustan a una curva LOWESS no paramétrica (figura 52) con objeto de revelar una estructura media subyacente a la diversidad de los datos.

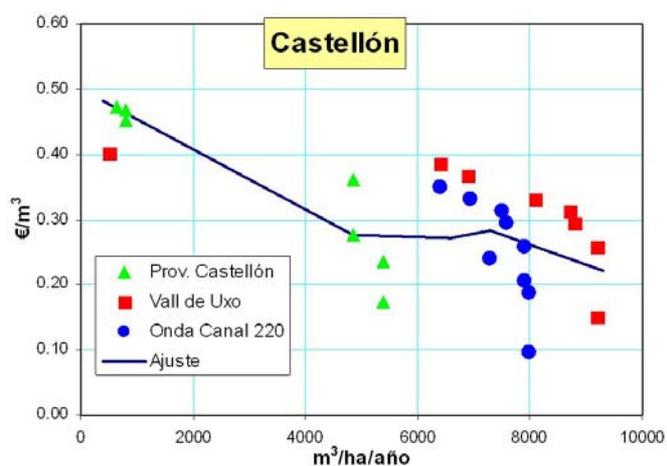


Figura 52. Curva de demanda ajustada para la zona de Castellón

Cuando se analiza la economía de los regadíos desde el punto de vista de las posibles transferencias externas, es importante considerar, conjuntamente con las curvas de demanda,

el efecto de mermas de rentas, pues es posible que precios muy elevados de la curva de demanda, teóricamente alcanzables, lo sean a costa de una pérdida de renta tal que se desincentive la actividad del sector. La Figura 53 [Sumpsi *et al* , 1988] muestra los efectos sobre la renta agraria (miles de pts/ha) de imponer nuevas tasas del agua (pts/m³) en algunas zonas regables de la cuenca del Júcar.

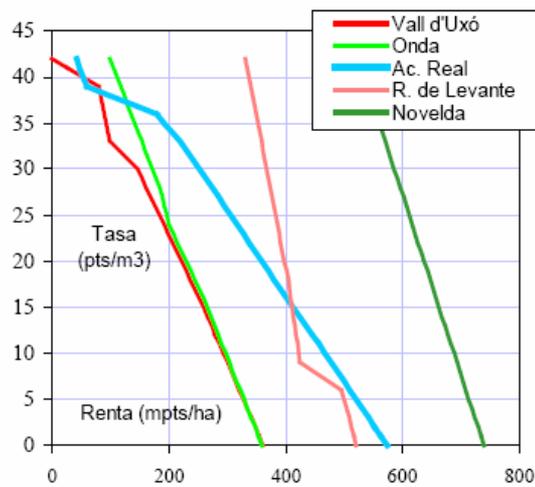


Figura 53. Efectos sobre la renta agraria

Al analizar el problema en términos de pérdidas relativas, éstas serán menores en las zonas de cultivos con mayor valor añadido. La Figura 54 muestra la pérdida porcentual de renta agraria con respecto a la situación actual correspondiente a sobretasa nula.

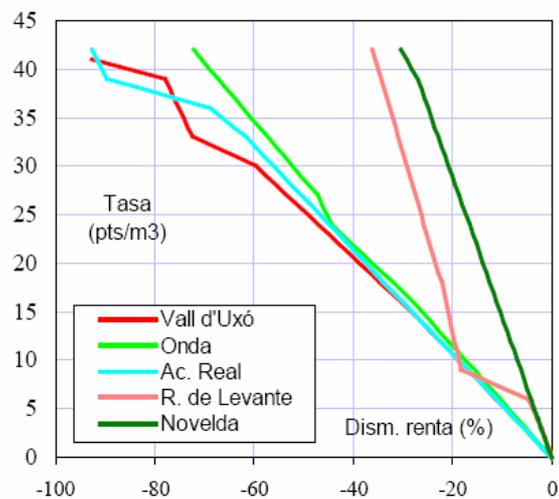


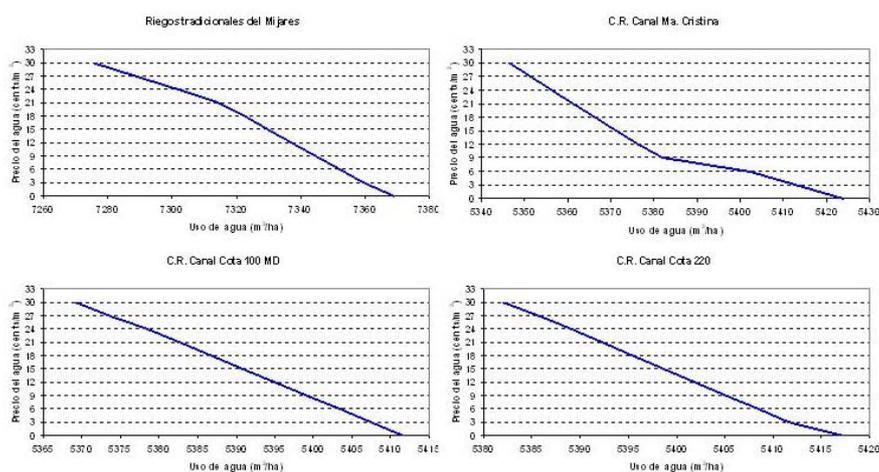
Figura 54. Pérdida porcentual de la renta agraria

En Castellón y Valencia se observa un comportamiento lineal, muy parecido en las tres zonas estudiadas, y que supone pérdidas del 50% de renta para sobretasas de 25 pts/m³ (0.15 euros/m³), y del 80% para 40 pts/m³ (0.24 euros/m³). Ello indica que aunque existe demanda solvente de cierta entidad capaz de soportar estos precios, ello se haría a costa de una muy importante pérdida de la renta agraria.

4.3.2 Curvas de demanda económica utilizadas en el análisis

Demanda agrícola. La zona cultivable que el sistema *Mijares-Plana de Castellón* riega presenta predominantemente una superficie para cítricos, que representa el 91% del total del área cultivada. El 5% del total cultivado corresponde a hortalizas y, el resto, a frutales, arroz y otros cultivos [García Mollá, 2000].

El Ministerio de Medio Ambiente ha propuesto una serie de curvas de demanda económica, dándole un valor al agua por hectárea regada del cultivo en cada una de las comunidades de regantes (Figura 55). Según Sumpsi [1988], en las Unidades de Demanda Agrícola consideradas la existencia de prácticamente un monocultivo (cítricos) y la pequeña dimensión de las explotaciones hace que no interese la sustitución entre cultivos de regadío y que tampoco se traspase de regadío a secano, lo que explica la alta inelasticidad en las curvas de demanda.



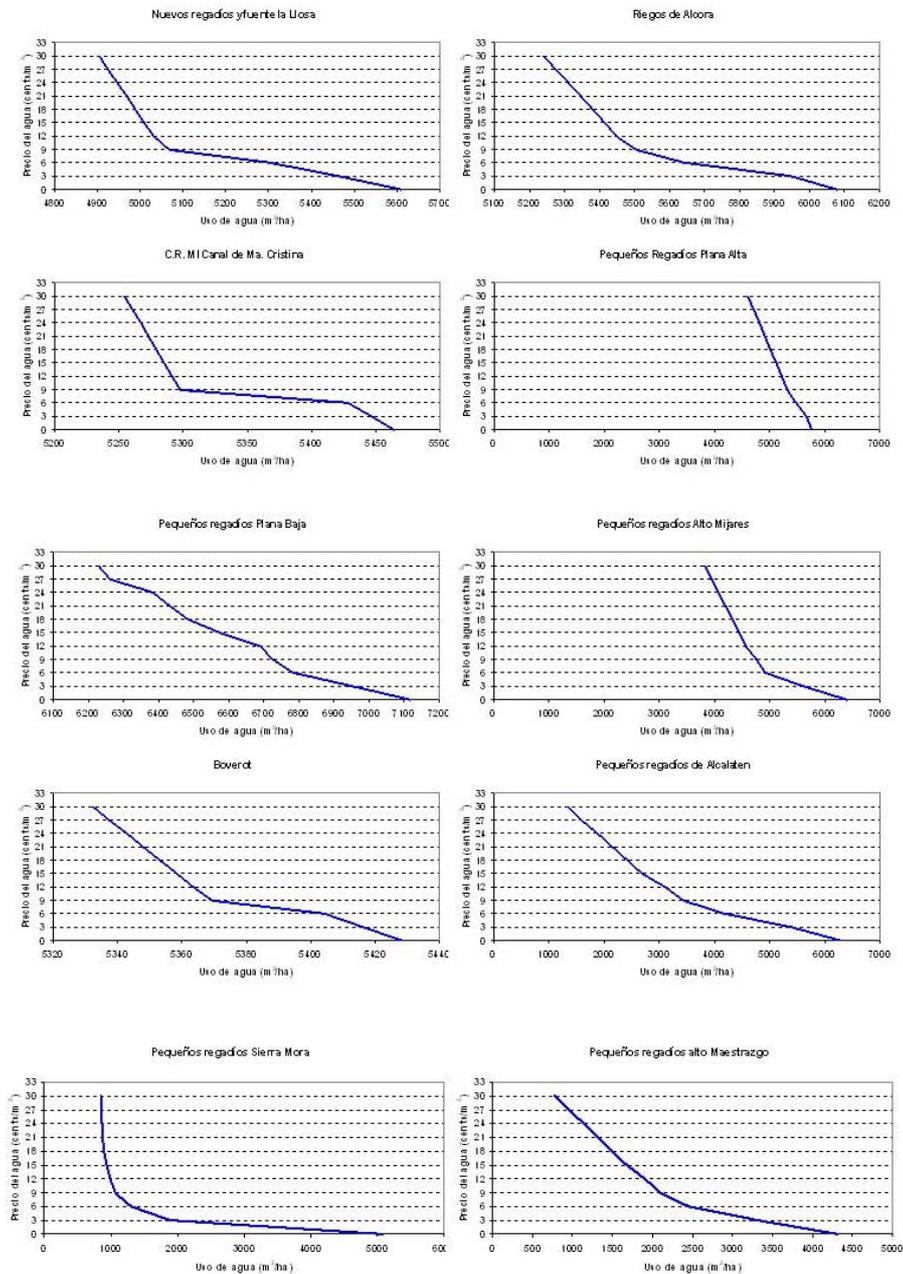


Figura 55 Curvas de demanda económica uso agrícola

Las curvas anteriores representan un rango muy pequeño de la dotación de agua en cada una de las comunidades de regantes. Sin embargo, para efectos de análisis económico, se requiere tener curvas que abarquen un mayor rango en las dotaciones de agua, por lo que se han extendido dichas curvas (Figura 56) con base a ciertas hipótesis. El punto de corte con el eje de abscisas corresponde a la dotación bruta media con la que están regando en promedio las distintas UDAs analizadas. El primer tramo (en círculo punteado) se basa en las curvas

obtenidas mediante programación matemática. En este primer tramo, la respuesta de los agricultores ante el aumento de precio del agua se traduce en mejores prácticas de riego, ahorro y mejora de eficiencia en general. De esta forma se puede reducir significativamente la dotación bruta de riego hasta acercarse a la neta requerida por el cultivo. Con eficiencias altas, aumenta el valor económico unitario del agua (mayor producción neta por m^3 utilizado).

Se selecciona un precio del agua en el punto de cierre de la curva, que para los cítricos ronda los 0.70 €/m^3 en la mayoría de las fuentes consultadas (ej. Martínez Paz y Colino, 2002). El precio de cierre representa el nivel del precio del agua en el que, *ceteris paribus*, los costes variables totales se igualan a los ingresos totales. A ese nivel de precio del input, los ingresos sólo son capaces de cubrir los costes variables, por lo que al agricultor le será indiferente seguir produciendo o no. Cualquiera que sea su decisión, debe hacer frente a unas pérdidas inevitables en el corto-medio plazo como son las del pago de costes fijos. Niveles de suministro por debajo de la dotación mínima requerida con la máxima eficiencia alcanzable suponen introducir un efecto de riego deficitario. El riego deficitario es factible en los cultivos leñosos, pudiendo obtenerse importantes reducciones del suministro sin grandes pérdidas en la producción final (siempre que el agua aplicada se distribuya de forma óptima a lo largo de las etapas de desarrollo del cultivo).

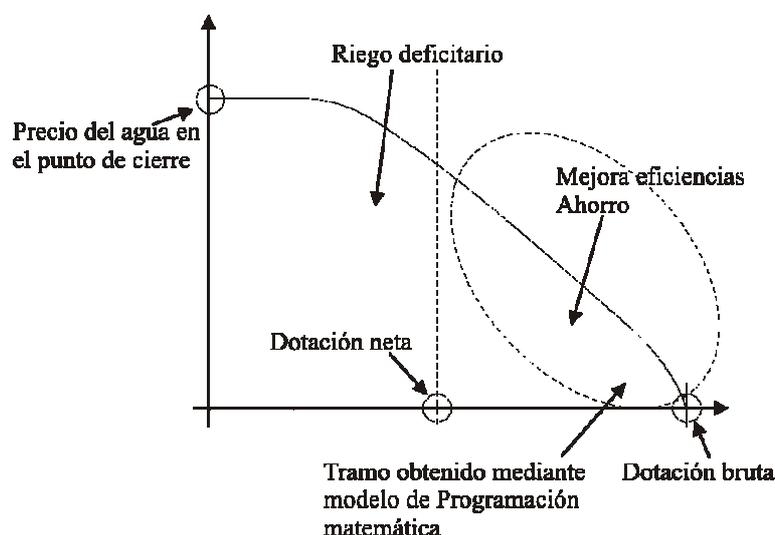


Figura 56: Consideraciones en las curvas de demanda

Con lo anterior, las curvas de demanda utilizadas en el análisis económico toman la forma de las mostradas en los gráficos de la Figura 57 a 59. En esos gráficos se observan las curvas de demanda en las modalidades de dotación ($m^3/\text{ha.}-\text{año}$) y demanda volumétrica ($\text{hm}^3/\text{año}$).

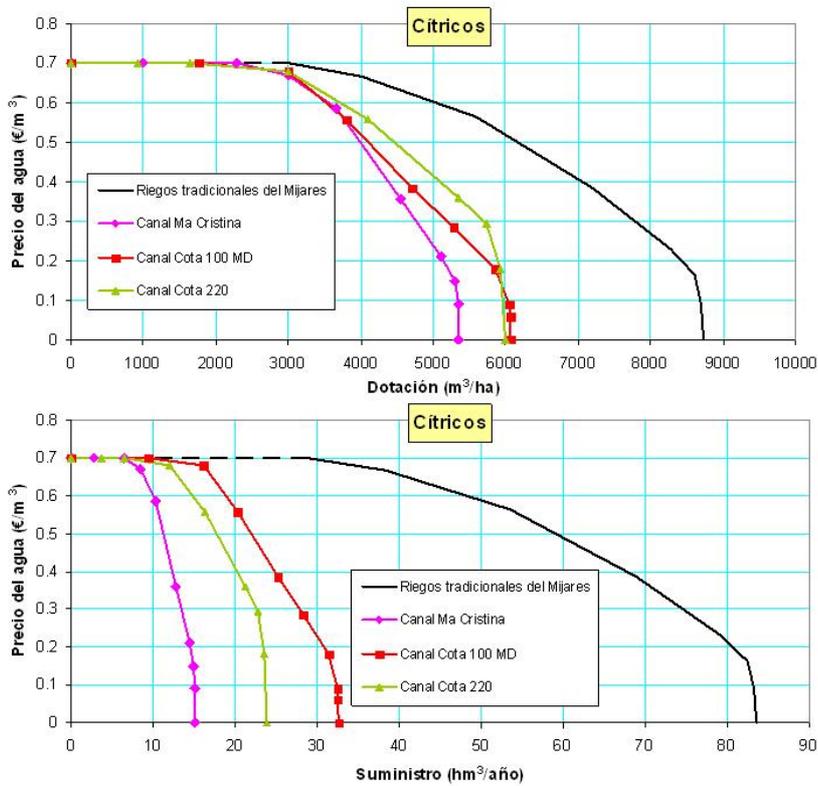
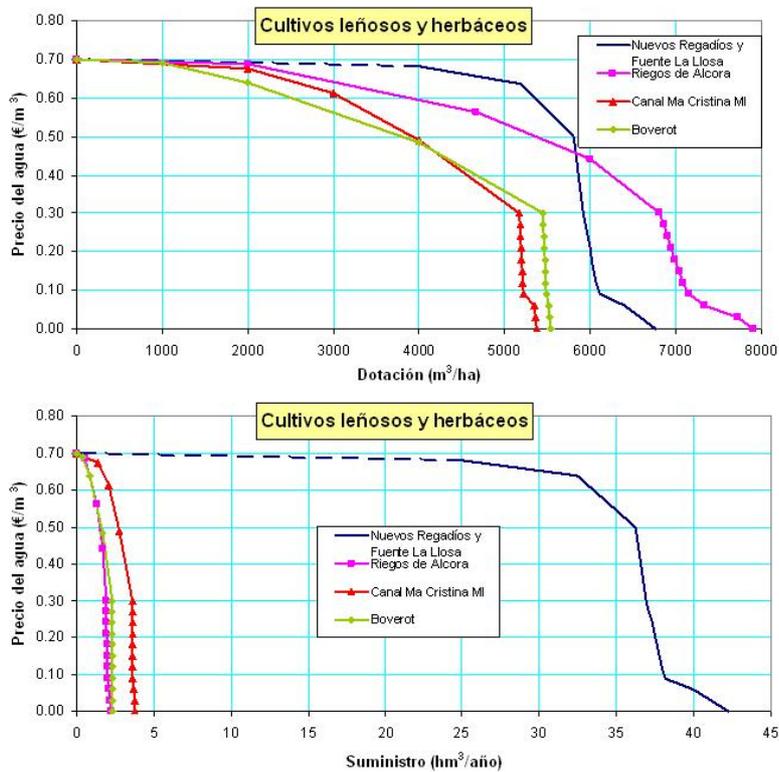


Figura 57 Curvas de demanda. Cultivo de Cítricos



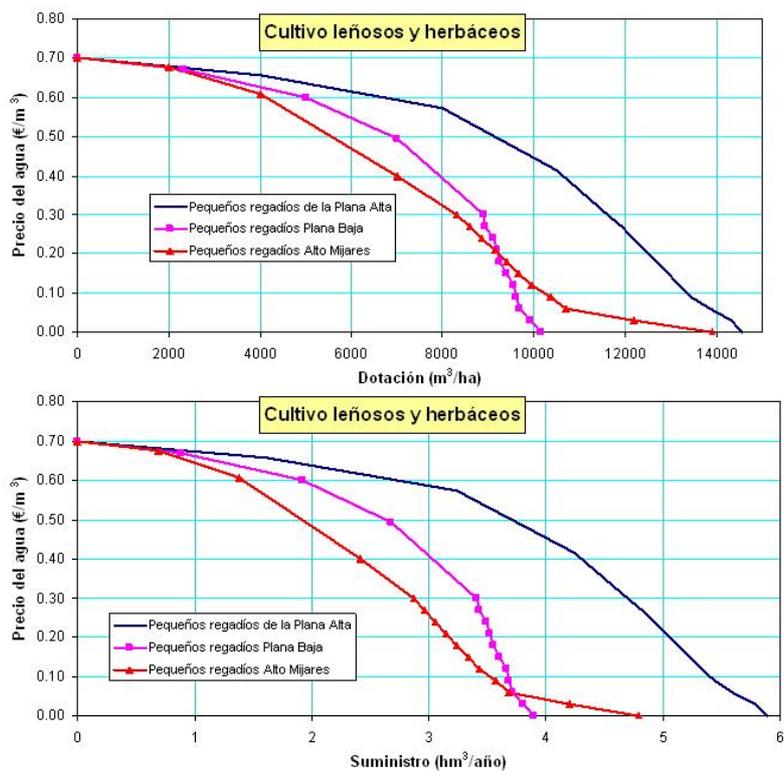


Figura 58: Curvas de demanda. Cultivos leñosos y herbáceos

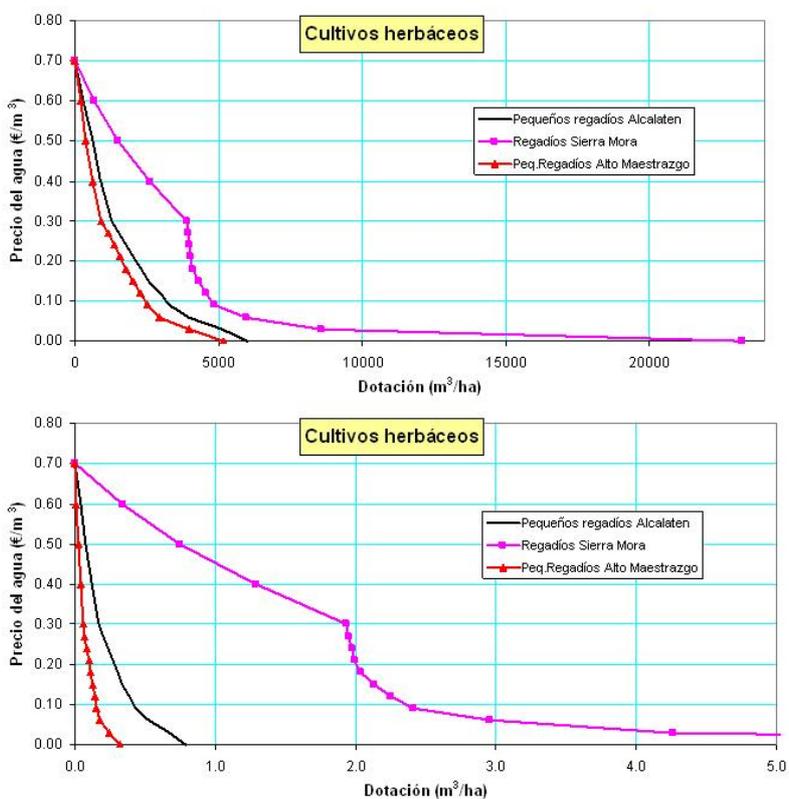


Figura 59 Curvas de demanda Cultivos herbáceos

Demanda urbana. En los modelos empleados para el estudio del coste del recurso se ha optado por caracterizar la demanda de abastecimiento urbano mediante funciones de pérdidas económicas en función del déficit en el suministro, de acuerdo con las curvas de demanda económica de agua urbana. Las curvas de demanda aproximan lo que los usuarios finales del agua están dispuestos a pagar por cada unidad adicional de agua, variable en función del volumen suministrado. La pérdida o coste de escasez viene dada por el área (integral) bajo la curva de valor marginal económico del agua entre el punto de no déficit y el nivel de suministro en cuestión. Para obtener dichas curvas se parte de datos de suministro urbano en un año y precio medio observado para ese año (apartado II.5.2).

Los servicios de agua urbana en la DHJ se prestan a una población de 4.5 millones (año 2003), a los que hay que añadir 1.6 millones de habitantes equivalentes debidos al turismo, junto con otros consumos urbanos (industria, comercio y servicios públicos). El agua total suministrada ha sido estimada en 360 hm³/año, con una eficiencia media en la red del 80% (CHJ, 2005). Los servicios incluyen el suministro y tratamiento de agua potable (gestionados por los Ayuntamientos o a través de empresas mixtas o concesiones), y la recogida, transporte, depuración y vertido de aguas residuales (la mayoría gestionadas por la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas de la Comunidad Valenciana). La recuperación de costes de los servicios urbanos de agua en 2002 se estima en un 95% (MMA, 2005).

El coste total por habitante de estos servicios extrapolado al conjunto de población residente en la DHJ se estima en unos 119 € anuales, siendo la cantidad media anual pagada de 96 €. La mayor parte de las subvenciones se localizan en los servicios de tratamiento y depuración de aguas residuales. El coste unitario por metro cúbico facturado se establecería en 1.06 € (MMA, 2005), cifra que se ha adoptado como precio medio al nivel de consumo actual para las UDAs modeladas (figuras 60 a y b). En esta cifra no se incluye el coste del servicio de alcantarillado, 0.42 €/m³, ya que éste no es estrictamente un coste asociado al suministro de agua urbana.

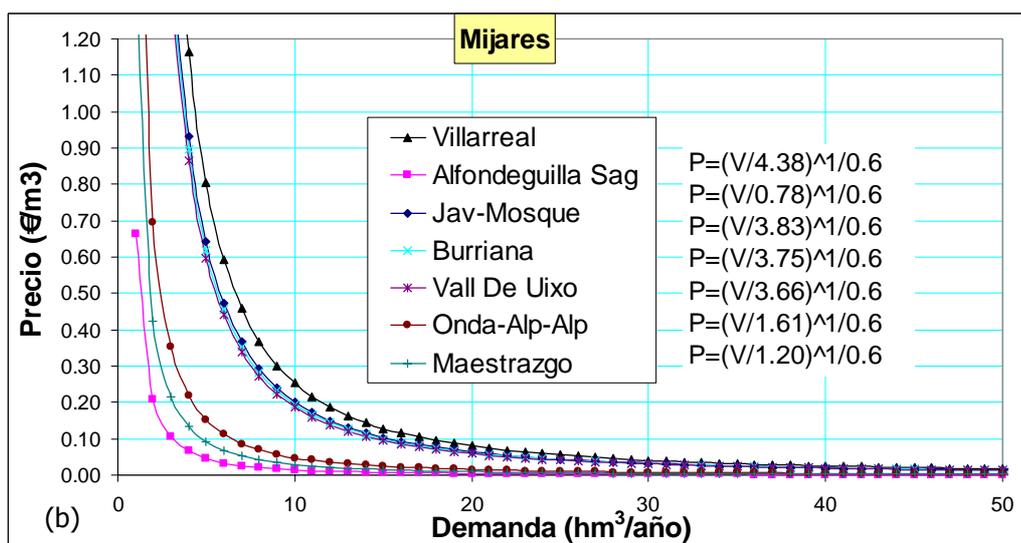
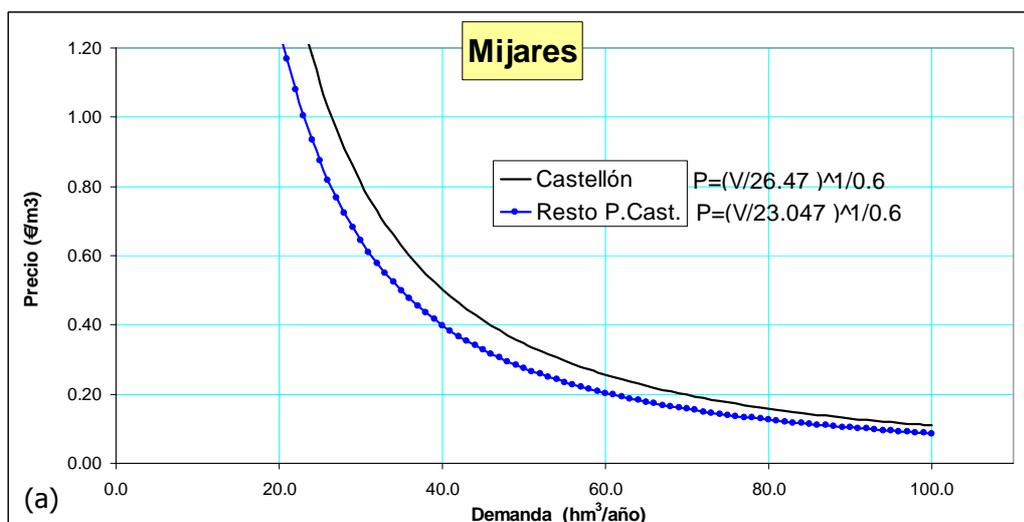


Figura 60: Curvas de demanda económica. Uso urbano

4.3.3 Costes de bombeo

Los costes de bombeo considerados para el análisis económico del Sistema del río Mijares, corresponden a los reportados en el informe técnico del coste de los usos de aguas subterráneas en España. Según dicho informe, la cuenca del Júcar es la que tiene el mayor grado de explotación de aguas subterráneas de todas las cuencas españolas, llegando a sobrepasar los 1580 hm³/año para las 41 unidades hidrogeológicas (UHG). Los costes de extracción del agua subterránea para las UHG del Sistema del río Mijares, se muestran en la tabla 23

Unidad Hidrogeológica		Coste (€/m ³)		Coste (Ptas/m ³)		Coste total (€/año)		
		Abast	Reg	Abast	Reg	Abast	Reg	Total
8.05	JAVALAMBRE	0.07		11		137.992		137.992
8.07	MAESTRAZGO	0.06	0.09	10	15	120.747	1.086.726	1.207.473
8.12	PLANA DE CASTELLÓN	0.05	0.08	8	13	2.017.598	7.413.501	9.431.099
8.13	ONDA	0.12	0.24	20	40	736.171	490.781	1.226.952
8.2	MEDIO PALANCIA	0.08	0.13	13	21	152.352	3.047.035	3.199.387
8.21	PLANA SAGUNTO	0.04	0.07	7	11	126.009	3.343.449	3.469.458

Tabla 23 Costes de extracción del agua subterránea

4.4 ANÁLISIS DEL COSTE DEL RECURSO

Para proceder a la simulación económica se ha considerado lo siguiente:

- Aunque la simulación hidrológica se hace a escala mensual, los resultados económicos se calculan mediante integración de las curvas de demanda anuales, considerando para cada año la suma de los flujos mensuales generados por el simulador.
- El periodo temporal está definido por la serie histórica de aportaciones actualmente disponible, que tiene una duración de 63 años, desde octubre de 1940 hasta septiembre de 2002. El empleo de series hidrológicas extensas permite considerar la variabilidad temporal en la disponibilidad del recurso.
- Se han elegido dos puntos de interés para el Sistema Mijares-Plana de Castellón que corresponden a los embalses de Arenós (nudo 1) y Sichar (nudo 4).

4.4.1 Coste de escasez vs. Suministro a las demandas

El coste de escasez de agua (o pérdidas de beneficio neto por suministro inferior a la demanda máxima; ver apartado II.5) está íntimamente ligado al déficit que se presente en el suministro a cada una de las demandas agrícolas. El mayor coste de escasez se presenta en las demandas de riegos tradicionales en las épocas críticas de sequía (Figura 61). El coste de escasez para los cultivos suministrados por el Canal de la Cota 100 presenta un valor mayor que el de la UDAs del Canal Cota 220 y de Ma. Cristina MI, pero inferior a los tradicionales. No se produce coste de escasez en las demandas urbanas y con riegos mixtos (superficiales y subterráneas), ya que pueden bombear hasta completar el suministro a la demanda. Sin embargo, sí que se cuantifican los costes de bombeo correspondientes.

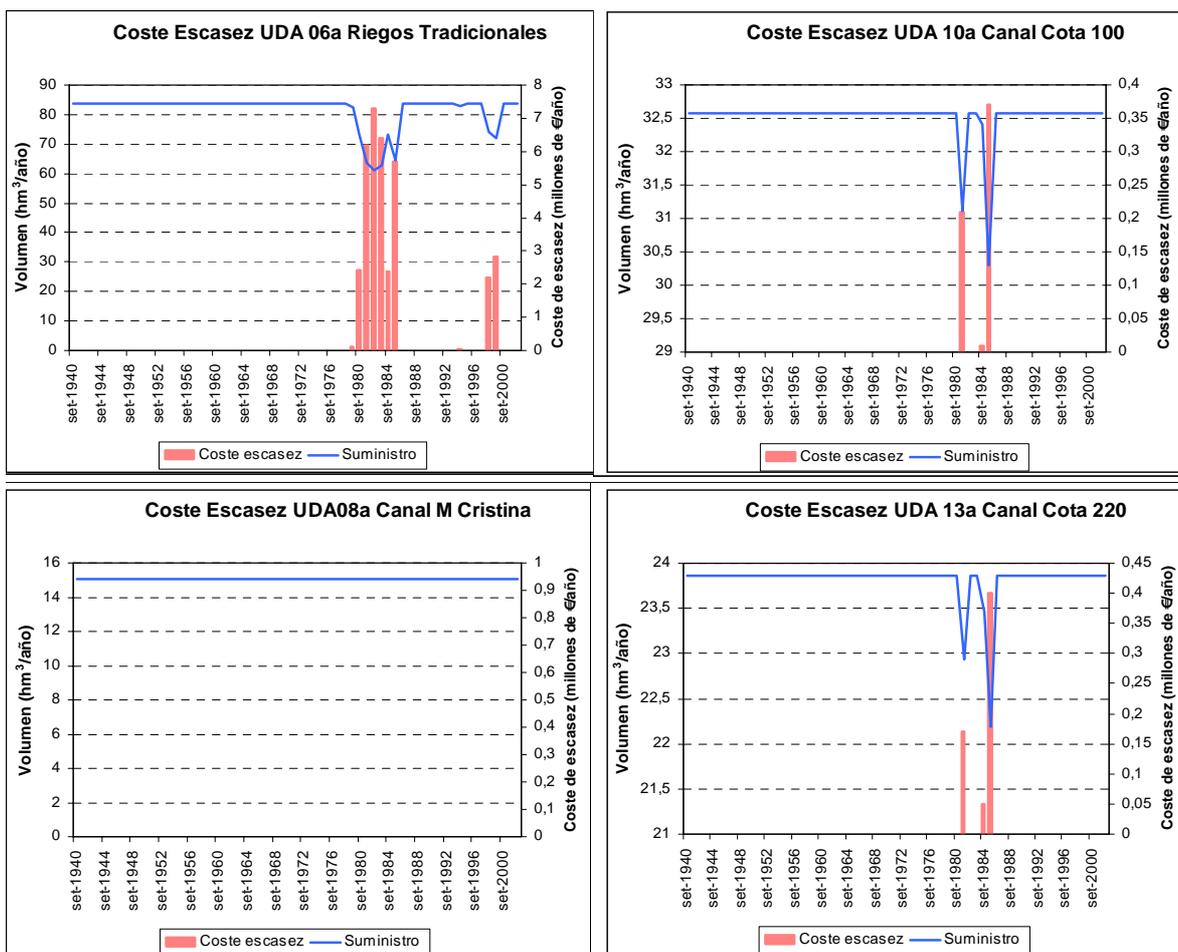


Figura 61: Coste de escasez del recurso

Como era de esperarse, los mayores costes de escasez se presentan cuando los volúmenes en los embalses de Sichar y Arenós se encuentran en o por debajo de los niveles mínimos (Figura 62). Las épocas de las grandes sequías (1982-88 y 1995-2000) son las que presentan un mayor coste de escasez del recurso.

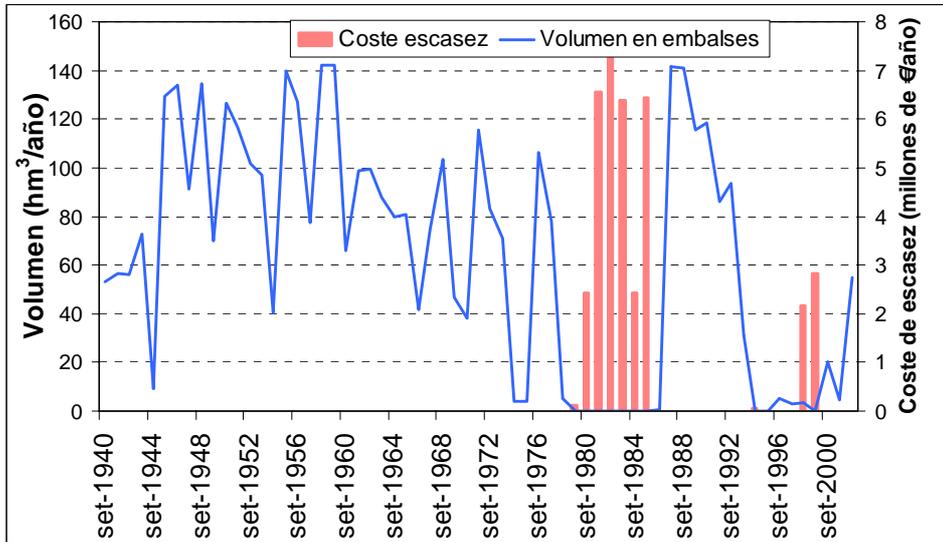


Figura 62: Coste de escasez vs. Volumen en los embalses (Arenós + Sichar)

Las figuras 63 a 65 muestran el coste de escasez del recurso en las UDAs clasificadas de acuerdo a los siguientes tipos de cultivo que se practican: cítricos, herbáceo y, por último, leñoso-herbáceo.

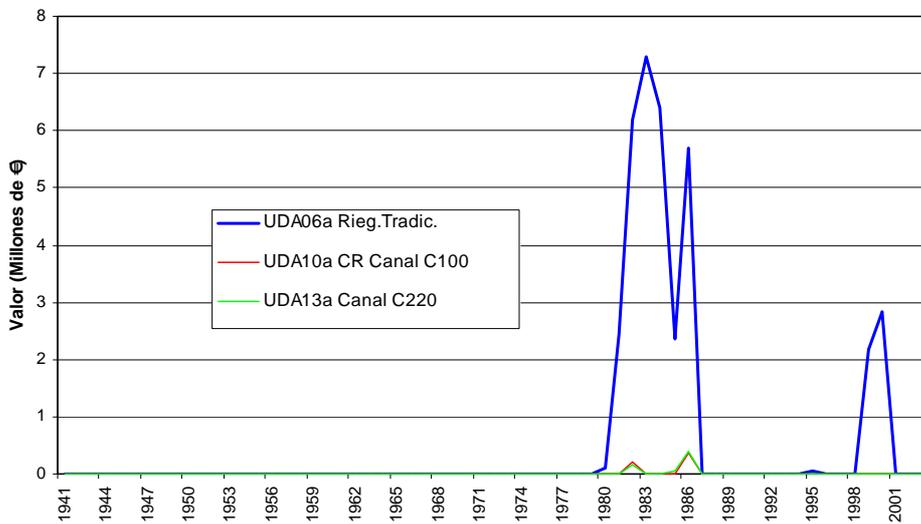


Figura 63: Coste de escasez en cultivos de cítricos

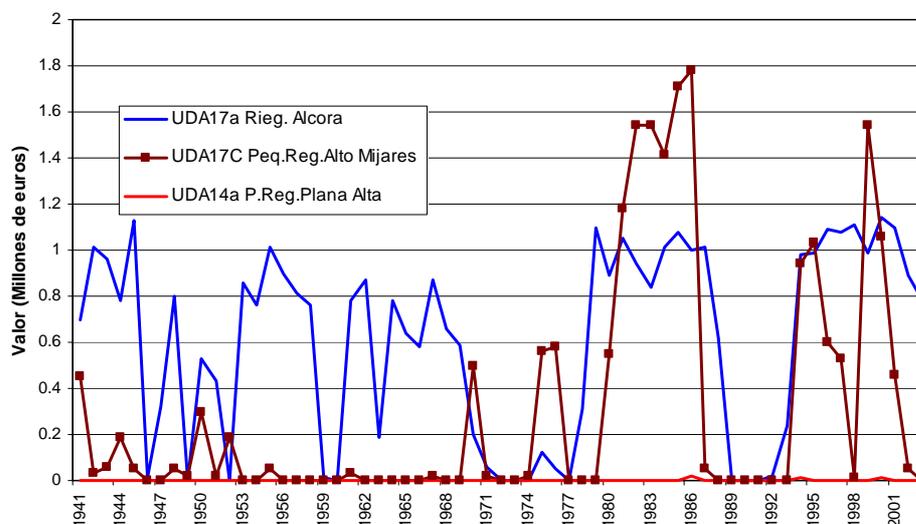


Figura 64 Coste de escasez en cultivos mixtos herbáceos y leñosos

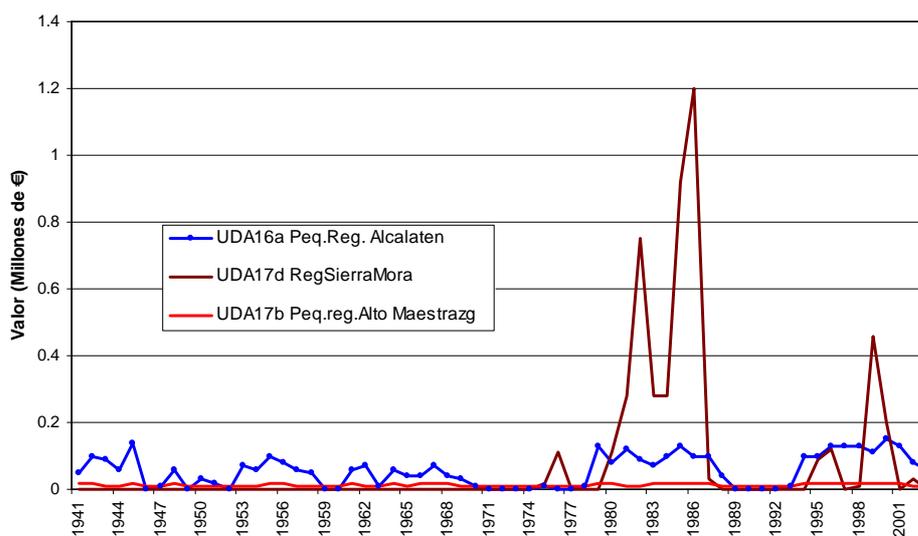


Figura 65 Coste de escasez en cultivos herbáceos

Los Riegos Tradicionales, fundamentalmente de cítricos, presentan mayor coste de escasez, del orden de los 7 M€ (millones de euros) durante el periodo 82-84, que el de los riegos de los Canales Cotas 100 y 220, mientras que los riegos del canal de María Cristina no presentaron coste de escasez pues no tienen déficit de agua durante todo el periodo simulado. Para el caso de los cultivos fundamentalmente conformados por herbáceos y leñosos, la Unidad de Demanda Agrícola de regadíos en el Alto Mijares presenta costes de escasez entre 0.5 y 1.8 M€ en el periodo 1975-1986, mientras que los regadíos de Alcora tienen un coste de escasez más uniforme en todo el periodo de análisis, con máximos de 1.1 M€. Cabe destacar que estos últimos regadíos, son abastecidos por un pequeño embalse considerado como azud en el

esquema SIMGES y presenta déficits de suministro de un orden máximo de 0.6 hm³. Por otro lado, para los cultivos fundamentalmente herbáceo, los riegos de la Sierra Mora presentan un contrastado coste de escasez, con picos de hasta 1.2 M€ anuales, en comparación a lo de Alcalatén y Alto Maestrazgo, cuyos picos máximos son menores a los 0.2 M€ anuales.

4.4.2 Coste del recurso en los embalses del sistema

Para determinar el CMOR en los embalses de Arenós y Sichar, se consideraron las curvas de demanda económica mostradas en el apartado IV.3.2, con los volúmenes de suministro dados por los resultados de la simulación de la gestión con SIMGES. En la Figura 66 se observa que el mayor valor marginal corresponde al periodo en donde hay menos reservas en los embalses, y por tanto más escasez del recurso. En los períodos de coste de recurso alto, los déficits en las demandas y por consiguiente los costes de escasez son elevados. Cuando los volúmenes embalsados son altos, no hay déficit de suministro y por tanto el valor marginal del agua en el embalse es nulo (el disponer de una unidad más no aporta ningún beneficio adicional al sistema).

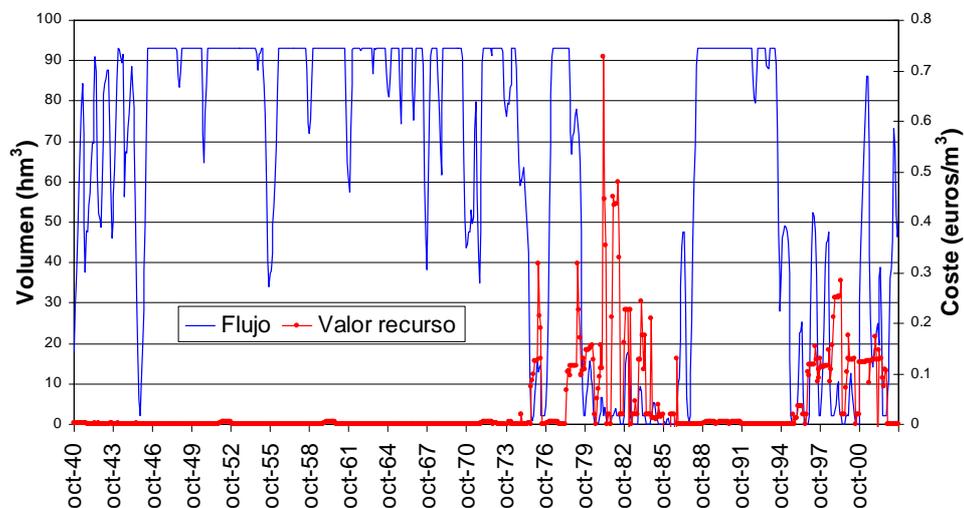


Figura 66. Valor del recurso para todo el período de análisis

En la figura 67 se muestra el valor del recurso en el embalse de Arenós para el periodo de mayor déficit de suministro, de 1972-1990.

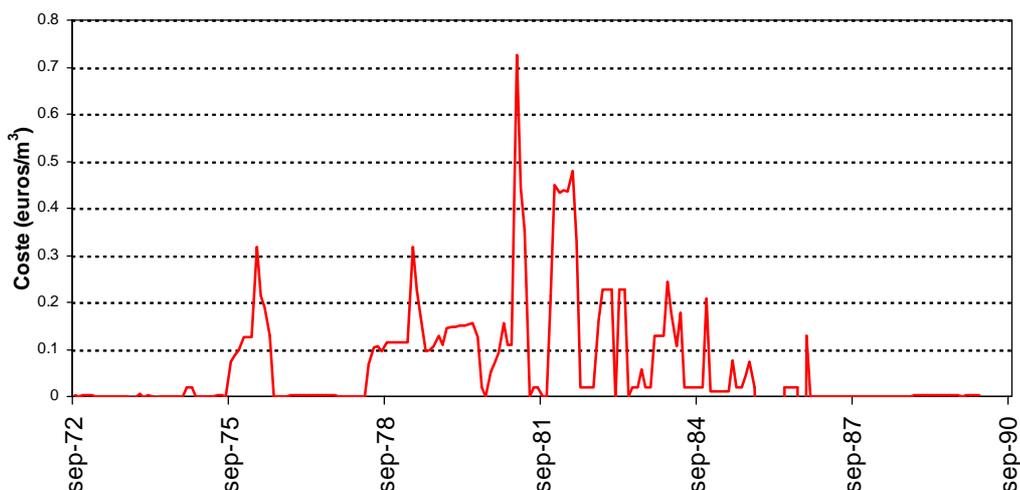


Figura 67. Valor del recurso para el periodo 1972-1990

Durante el primer período crítico (desde 1978 hasta 1986), el valor medio del coste del recurso es de 0.1 €/m³, con un máximo de 0.7 €/m³.

El CMOR en los dos embalses principales del sistema es prácticamente igual, excepto para el periodo 1995-2002 en que se presentan pequeñas diferencias (Fig. 68).

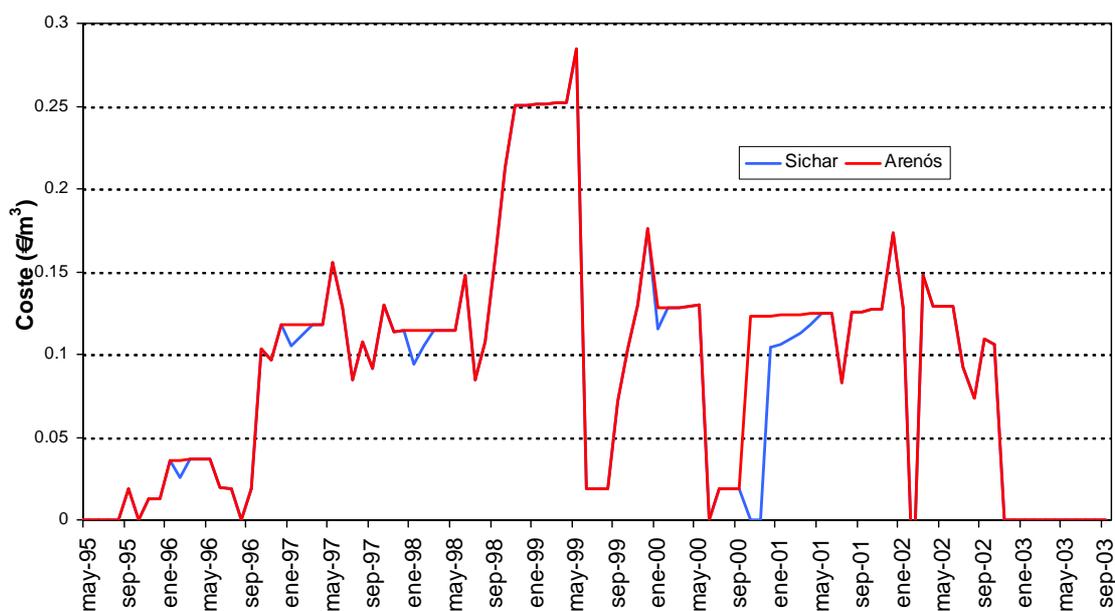


Figura 68: Coste del recurso en embalses

En la figura 69 se puede observar la descomposición del coste del recurso en el embalse de Arenós, considerando únicamente las cuatro UDAs principales. Es evidente que la mayor parte del costo del recurso en el embalse Arenós corresponde a los Riegos Tradicionales.

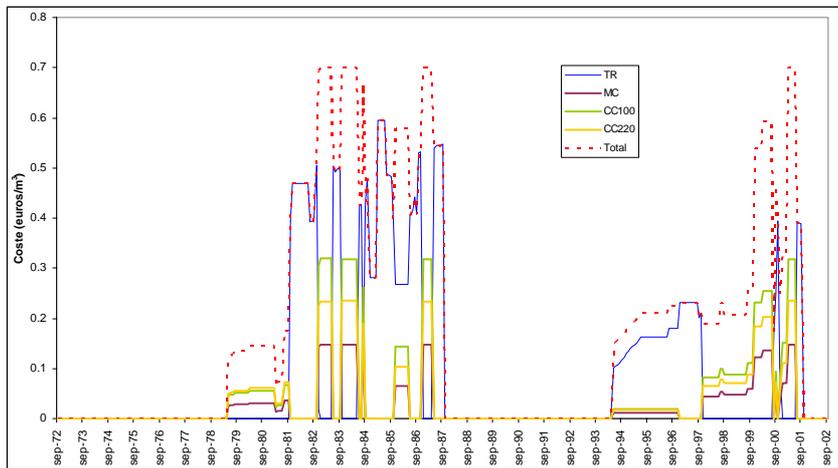


Figura 69: Descomposición del coste del recurso en Arenós.

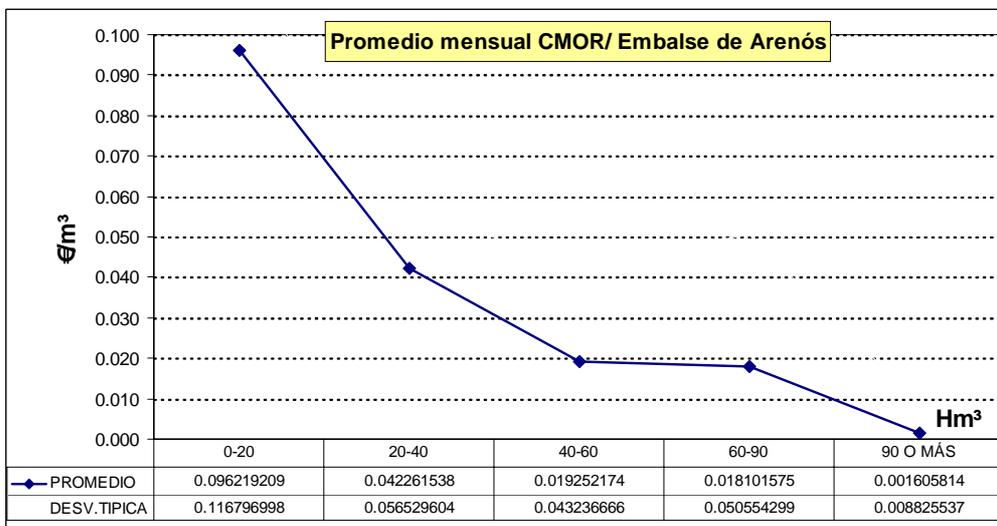


Figura 70: Valores promedio del CMOR mensual para distintos rangos de volumen en el Embalse de Arenós.

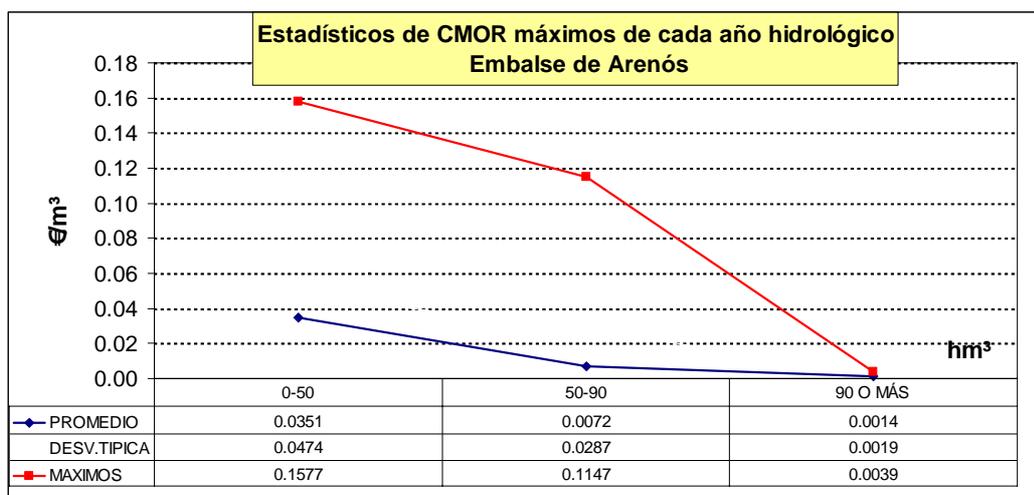


Figura 71: Valores promedio máximos del CMOR máximo anual para distintos rangos de volumen en el embalse de Arenós

4.4.3 Coste Marginal en caudal mínimo.

De conformidad con el Plan Hidrológico del Júcar (artículo 22), el caudal medioambiental del tramo aguas abajo del embalse de Sichar hasta el punto donde retorna el caudal derivado para la Central Hidroeléctrica de Colmenar, se fija en 200 l/s.

Al evaluar el CMOR que se tiene en la conducción aguas debajo del embalse de Sichar (figura 72), se observa que el mayor coste marginal, entre 0.15 y 0.7 €/m³, se presenta cuando hay poco volumen de agua circulando por las conducciones. Además, coincide también con el periodo en el que el CMOR es mayor en el embalse Sichar (1973-1985).

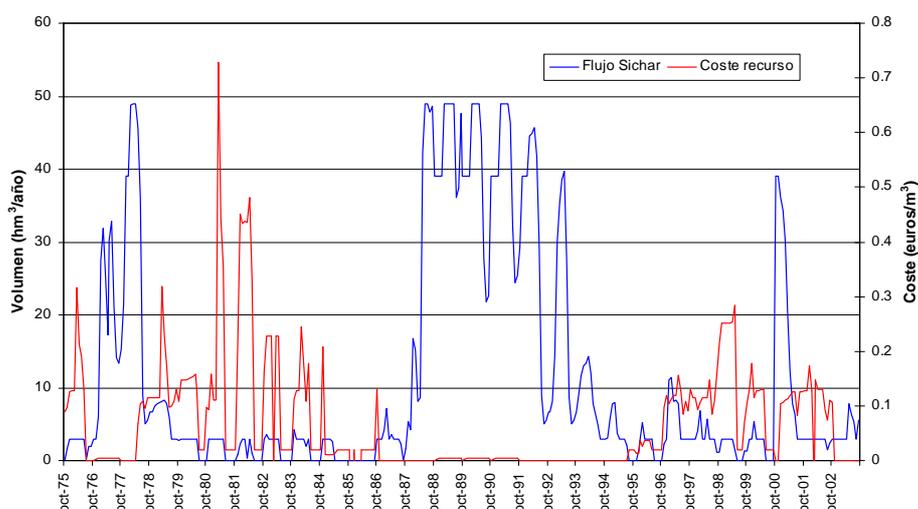


Figura 72: Coste Marginal del recurso para Caudal Mínimo en la conducción aguas abajo del embalse Fichar.

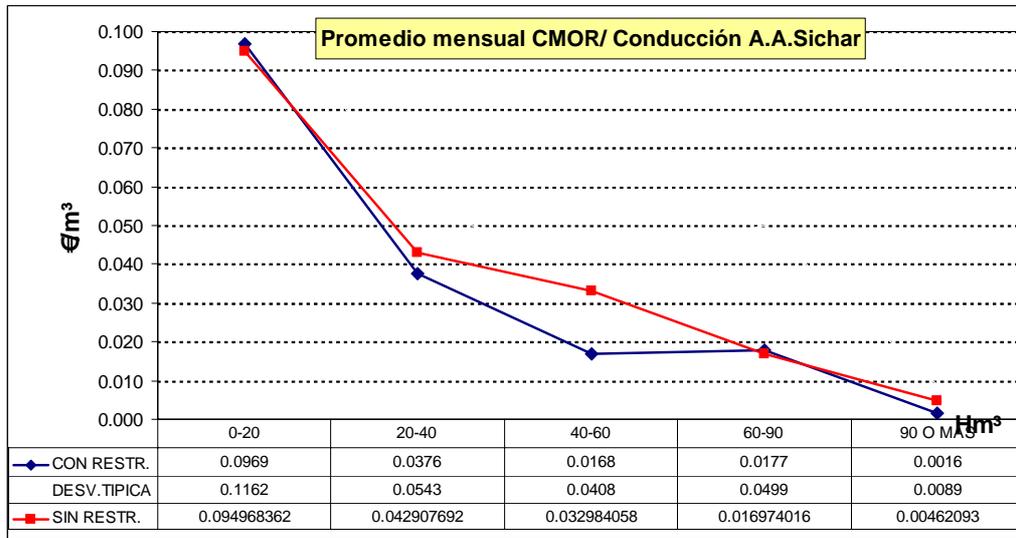


Figura 73: Valores promedio del CMOR mensual para distintos rangos de volumen en el Embalse de Arenós con y sin restricción de caudal mínimo

4.4.4 Análisis de sensibilidad del coste del recurso

Se ha hecho un análisis para comprobar la sensibilidad de los cálculos del CMOR a las curvas de demandas. Para las variaciones en las curvas de demanda en las 4 UDAs principales (Riegos Tradicionales, Canal Cota 100, Canal Cota 220 y Maria Cristina) mostradas en la Figura 74

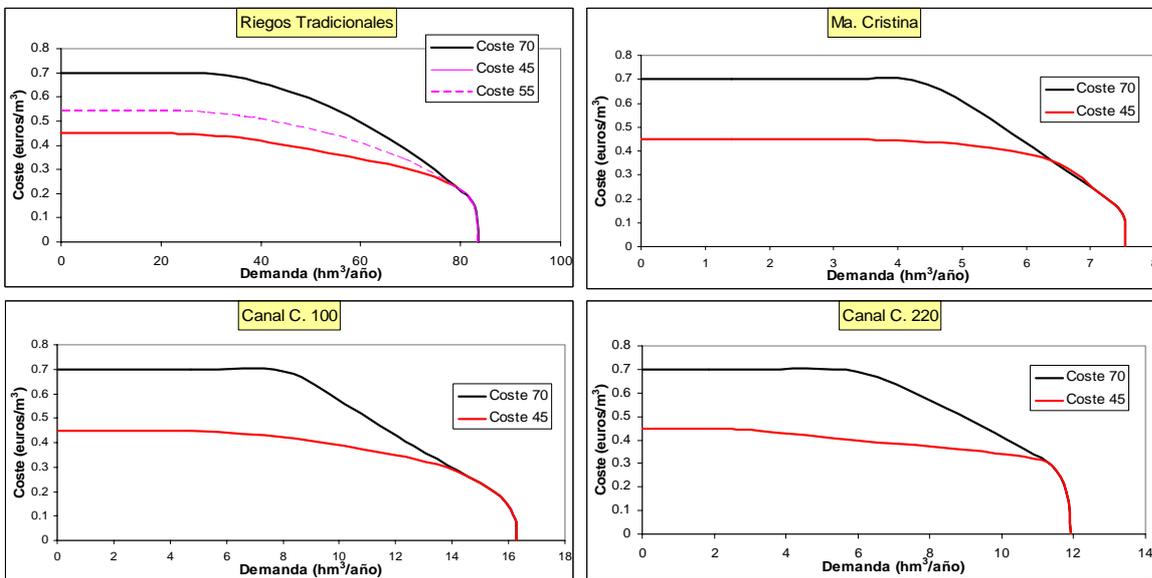


Figura 74: Variación del CMOR para diferentes curvas de demanda

se obtiene la variación del CMOR de la Figura 75.

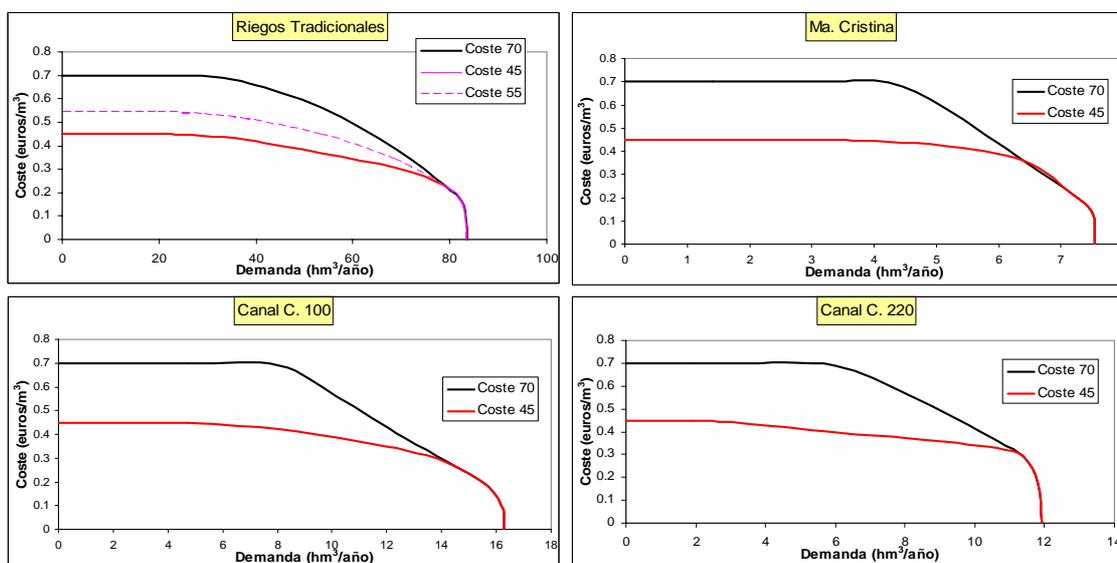


Figura 74: Variación del CMOR para diferentes curvas de demanda

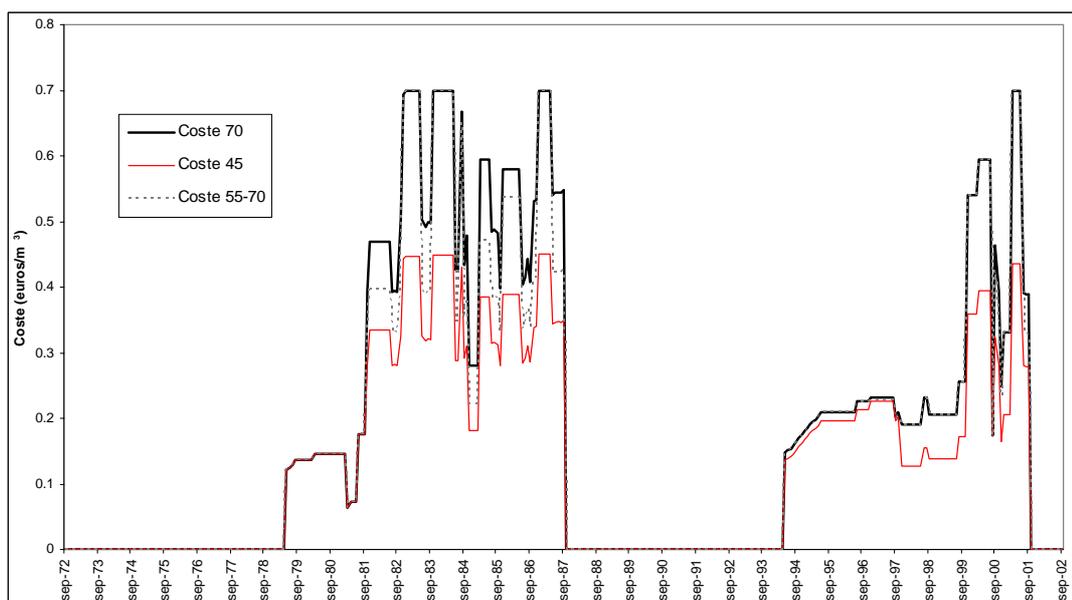


Figura 75: Sensibilidad a la pendiente en curva de demanda

Se observa que para el periodo 1981-1987 el resultado del CMOR resulta bastante sensible al cambio en la curva de demanda (25 céntimos/m³), ya que se alcanza déficit mayores de suministro, mientras que para el periodo final las variaciones en el coste del recurso presentan una menor variabilidad (10 céntimos/m³),

5. **SISTEMA DEL TURIA**

5.1 **DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DEL TURIA**

El río Turia se encuentra ubicado en la vertiente oriental de la Península Ibérica. Comprende la cuenca propia del río Turia en su totalidad, delimitada por el sur con las cuencas del río Júcar y de la rambla del Poyo, y por el norte con las cuencas de los ríos Mijares, Palencia y el Barranco del Carraixet. Toda su extensión pertenece al ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar, siendo su superficie total de 6,394 Km².

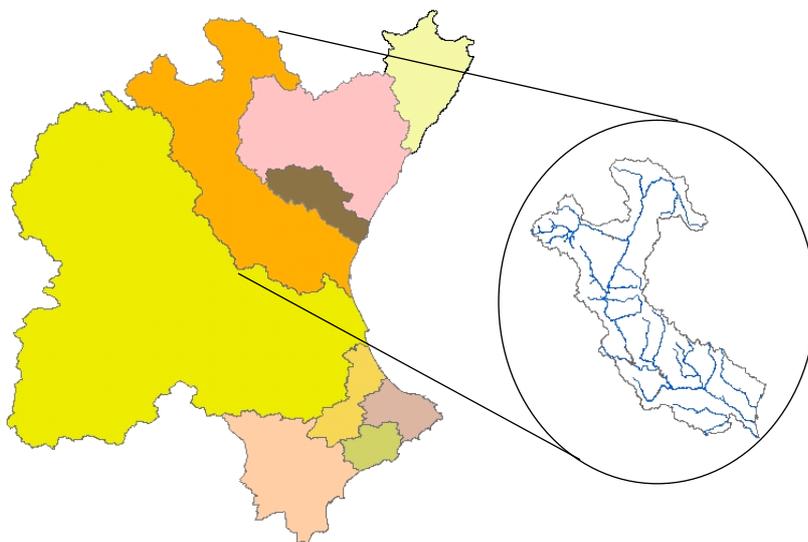


Figura 76: Ámbito de la cuenca del río Turia

El nacimiento del río Turia se produce a cota 1,842 m.s.n.m. en la muela de San Juan, donde recibe el nombre de río Guadalaviar, aunque mayor altitud se alcanza en el nacimiento del río Alfambra (2,024 m.s.n.m.). En la confluencia de ambos ríos (875 m.s.n.m.), en la ciudad de Teruel, cambia de nombre y pasa a llamarse río Turia.

La población total en la zona asciende a 1,549,027 habitantes, según datos del año 2000 de los censos del Instituto Nacional de Estadística. Esta población registra un incremento del 36% en la temporada estival, debido al flujo turístico. La mayor parte de los municipios del sistema se abastecen mediante la explotación de pozos y/o manantiales, a excepción de la población de la ciudad de Valencia y de los núcleos próximos a ella que se produce generalmente a partir de aguas superficiales, al igual que la ciudad de Teruel que dispone de las aguas del embalse de Arquillo de San Blas.

La superficie total cultivada asciende a 214,700 ha, de las cuales 49,887 ha (23%) corresponden a regadíos, mientras que el resto (77%) son de secano. En la distribución por provincias, la mayor parte del regadío se localiza en la provincia de Valencia (46,255 ha), mientras que en Teruel solamente son de regadío 3,632 ha. La mayor parte del regadío se sitúa aguas abajo del embalse de Loriguilla, en la vega del bajo Turia (42%) y en el Camp del Turia (39%).

Elementos Naturales:

La forma de su cuenca es larga y estrecha, lo que hace que, a excepción del Alfambra, sus afluentes laterales no tengan una excesiva longitud. Sus afluentes son: Alfambra, Camarena, Riodeva, Arcos y Tuéjar por la izquierda y Ebrón, Vallanca y Sot por la derecha. El régimen del río es de tipo mediterráneo, con gran irregularidad. Son frecuentes las crecidas que han provocado, en ocasiones, grandes desastres. El río, a lo largo de su curso, discurre por zonas de distintos materiales lo que da lugar a infiltraciones del mismo (como en la sierra de Albarracín, o a su paso por Guadalaviar), que alimentan los acuíferos adyacentes al río o los numerosos afluentes, produciendo variaciones importantes del caudal, alternando zonas secas con zonas más caudalosas.

5.2 MODELO DE SIMULACIÓN DE LA GESTIÓN DEL TURIA

5.2.1 Antecedentes

En este estudio se ha utilizado el modelo de simulación hidrológica realizado en SIMGES mediante el convenio entre la UPV y MS Ingenieros SL, "*Estudio de utilización conjunta de los recursos hídricos superficiales y subterráneos en las cuencas media y baja de los ríos Júcar y Turia*" (2002). Para la definición de las curvas económicas de demanda de agua en la agricultura se ha utilizado como información de partida las proporcionadas por el Grupo de Análisis Económico de la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente.

5.2.2 Esquema de SIMGES

El esquema de gestión básico del sistema de recursos hídricos del Turia es el representado en la que se incluyen:

- Las infraestructuras fundamentales (presas, representadas con triángulos, y conducciones)
- Las demandas existentes (cuadrados)
- Las aportaciones hidrológicas (flechas gruesas)

- Los acuíferos considerados en el análisis del sistema (octógonos)

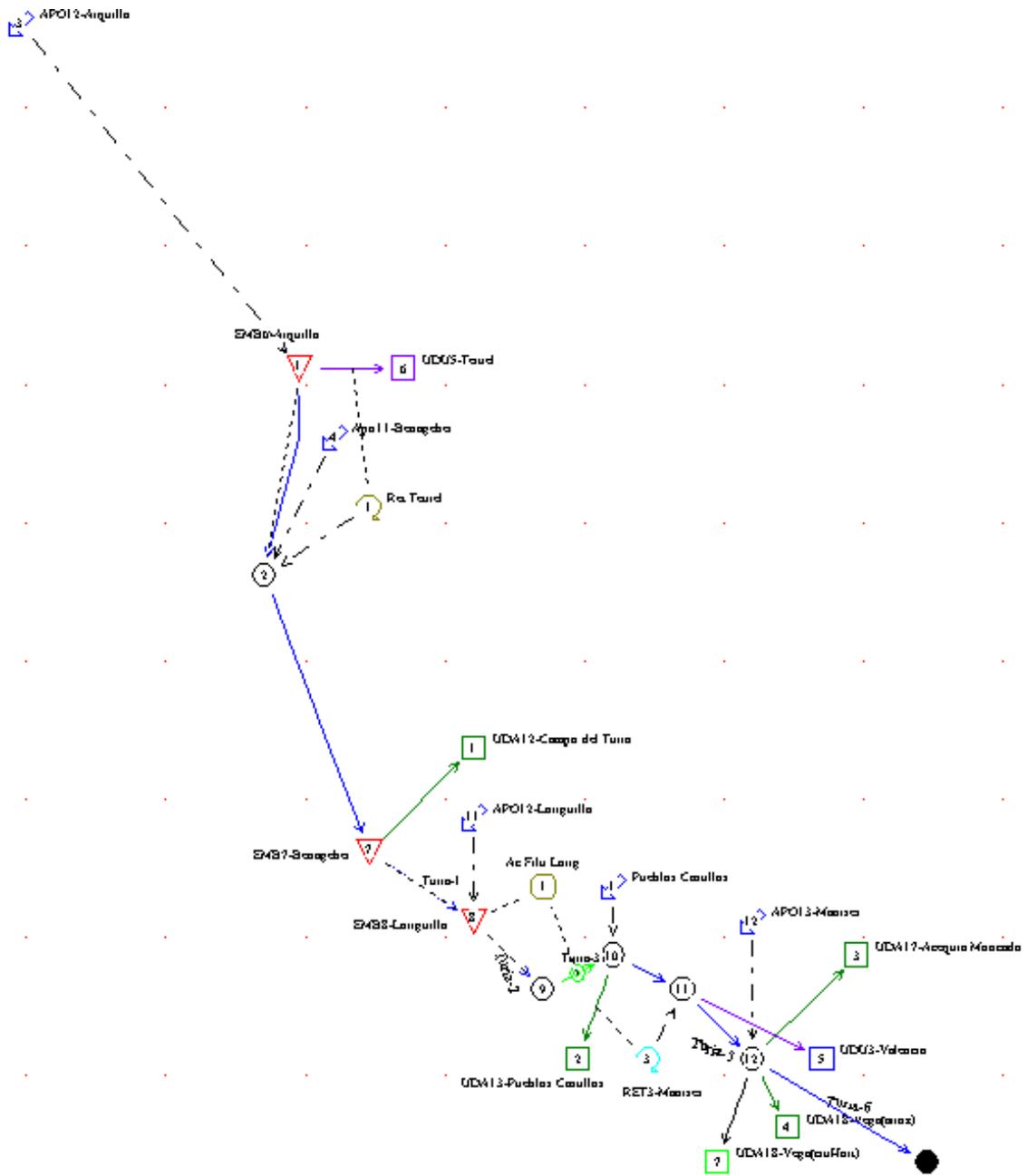


Figura 77: Esquema del Turia en SIMGES

En este primer esquema no se consideran los bombeos, sino únicamente el sistema superficial.

V.2.2.1 Descripción general del sistema:

- En la cabecera de este río se sitúa el Embalse de Arquillo de San Blas (EMB6-Arquillo), al cual le llega la aportación superficial del río Guadalaviar correspondiente a la cuenca aguas arriba del mismo (APO12-Arquillo). De este embalse parte la demanda urbana de Teruel, la cual retorna sus aguas residuales depuradas hacia aguas abajo.

- Posteriormente, ya en el río Turia, se sitúa el Embalse de Benagéber (EMB7-Benageber) al cual le llegan las aportaciones superficiales correspondientes a las cuencas aguas arriba del mismo no incluidas en la aportación anterior (APO11-Benageber). De este embalse parte la demanda agraria del Canal Campo de Turia.
- Desde el embalse de Benagéber se inicia la conducción de tipo 1 (tramo de río o canal sin pérdidas) "Turia 1" representando una conducción natural con un caudal mínimo, por motivos ecológicos, de 0,5 m³/s.
- Esta conducción finaliza en el embalse de "Loriguilla" (EMB8-Loriguilla), donde se incorpora la aportación que considera la entrada hidrológica superficial de la intercuenca entre Benagéber y Loriguilla (APO12-Loriguilla). Se supone que el embalse tiene pérdidas por filtración, que se consideran, y que van a parar al acuífero "Ac.Filtr.Loriguilla". Dicho acuífero, en realidad, es un mecanismo para incorporar las pérdidas aguas abajo del embalse.
- De las filtraciones del embalse y del propio embalse, parte la toma de la demanda agraria "Pueblos Castillos" y se incorpora la aportación de "Pueblos Castillos" correspondiente a la aportación superficial de la intercuenca entre Loriguilla y la derivación de los riegos de Pueblos Castillos.
- En el siguiente nudo se presenta el retorno de las demandas agrarias de aguas arriba, mediante el retorno "RET3-Manises". De este nudo (11) parte la toma de la demanda urbana "UDU3-Valencia".
- Aguas abajo se disponen, finalmente, las tomas de las demandas agrarias "UDA17-Acequia de Moncada", "UDA18-Vega(arroz)" y "UDA18-Vega(citrHort)" que toman recurso superficial.

5.2.3 Infraestructura

Embalses

La capacidad de almacenamiento de aguas superficiales del sistema, a efectos del modelo, se asocia únicamente a los embalses de Arquillo de San Blas, Benagéber y Loriguilla, teniendo una capacidad útil conjunta de 286.5 hm³. El valor de sueltas del embalse, por motivos ecológicos, es el que se refleja en la tabla siguiente.

Embalse	Capacidad útil (hm ³)	Caudal ecológico (m ³ /s)
Arquillo	21.0	0
Benagéber	211.3	0.5
Loriguilla	5.2	0
Total	286.5	0.5

Tabla 24: Capacidad de almacenamiento del Sistema Turia

Las filtraciones existentes en el embalse de Loriguilla han sido estimadas según lo indicado en el estudio "Modelos de evaluación y gestión de recursos hidráulicos del Júcar, incluyendo el análisis del comportamiento del acuífero de La Plana" (DIHMA,1997), en el cual se propone la siguiente expresión:

$$F_L = 0.15 * V_L^{0.85} \text{ donde}$$

F_L = filtración mensual (hm³/mes) en el embalse de Loriguilla

V_L = volumen medio mensual (hm³) almacenado en el embalse

Canales:

El sistema cuenta con los siguientes canales:

CANALES	CAUDAL (m ³ /s)	LONGITUD kKm)
Canal Campos del Turia	25.0	62.0
Canal Júcar-Turia	32.0	60.0

Tabla 25: Canales del Sistema Turia

Aprovechamientos Hidroeléctricos:

El sistema cuenta con numerosos aprovechamientos hidroeléctricos como puede ser la Central de Chulilla, de Gestalgar, de Bugarra, etc. Al no ser consideradas estas centrales en el esquema general de SIMWIN no se describirán en este estudio.

Infraestructuras de abastecimiento:

- Abastecimiento a Teruel desde el embalse de Arquillo de San Blas (90 l/s)
- Planta potabilizadora de Manises, capacidad de tratamiento 2.000 l/s, toma agua del Turia y del canal Júcar-Turia.

- Planta potabilizadora de Picassent, capacidad de tratamiento de 3,000 l/s, toma el agua en la actualidad del canal Júcar-Turia.
- Se encuentra en fase de proyecto la conexión entre ambas potabilizadoras en la dirección Manises-Picassent.

Elementos de Retorno

Existen dos elementos de retorno en el sistema. El primero se corresponde con los retornos de los regadíos de la demanda de Pueblos Castillos, con un coeficiente de retorno del 30% del suministro efectuado pudiendo ser utilizados por las demandas de aguas abajo. El segundo se corresponde con el retorno superficial del abastecimiento urbano de Teruel, al cual se ha asignado un retorno del 80% del suministro realizado. En las demás demandas del sistema no se consideran retornos debido a que estos no se reincorporan al sistema de forma útil.

5.2.4 Demandas

Las demandas consideradas en la modelación del sistema del río Turia son:

- Demandas urbanas:
 - o Abastecimiento de la ciudad de Teruel
 - o Abastecimiento de la ciudad de Valencia y su área metropolitana
- Demandas agrícolas:
 - o Riegos Tradicionales de la Vega de Valencia (separando la demanda de arroz de la de cítricos y hortalizas)
 - o Acequia de Moncada
 - o Pueblos Castillos (Acequias de Benaguacil, Lorca y Villamarchante)
 - o Canal Campo de Turia

Los valores medios de las demandas superficiales, adoptadas en la modelización, se resumen en la tabla siguiente:

DEMANDA	Demanda (hm ³ /año)	Tipo	Prioridad	Coefficiente de Consumo	Coef. de Retorno
Urbana Teruel	3.17	Urbana	1	0.2	0.8
Urbana Valencia	31.53	Urbana	1	1	0
Pueblos Castillo	51.88	Agrícola	2	0.7	0.3
Acequia Moncada	80.85	Agrícola	2	1	0
Tradicional Turia	80.15	Agrícola	2	1	0
Campo Turia	85.00	Agrícola	3	1	0
Total	332.6				

Tabla 26: Valores anuales de la demanda superficial

5.2.4.1 Demanda Urbana:

En el sistema Turia se tienen dos demandas urbanas: el abastecimiento a la ciudad de Teruel desde el embalse de Arquillo y el de Valencia desde su toma en Manises. La ciudad de Teruel tiene un abastecimiento de 90 l/s mediante una concesión de 1964. La demanda urbana de Valencia y su área metropolitana desde el río Turia queda fijada en el Plan Hidrológico de Cuenca del Júcar (CHJ, 1997) en 1 m³/s, teniendo un valor anual de 31.5 hm³.

En las siguientes gráficas podemos observar el volumen suministrado a ambas demandas urbanas:

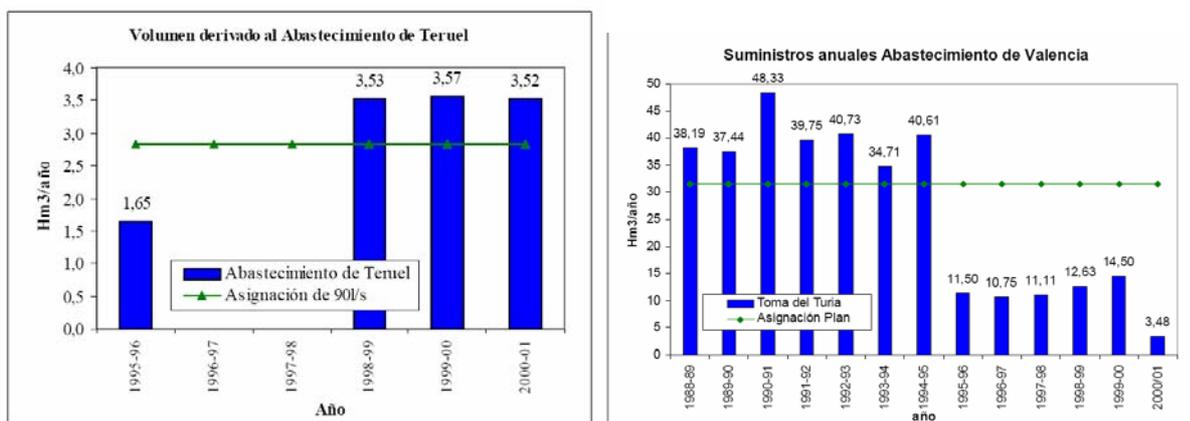


Figura 78: Suministro a UDU de Teruel y Valencia

5.2.4.2 Demanda agrícola:

Las demandas agrícolas del sistema del Turia son en su mayoría riegos tradicionales con eficiencias bajas (entre 0.3 y 0.5) debido al sistema de riego por gravedad. Frente al carácter tradicional destaca la falta de datos de suministro en algunas de las acequias existentes. En las tablas siguientes se muestran los valores de superficies, dotaciones, eficiencias y evolución mensual.

Nombre	Superficie estudios ha	Superficie ⁽¹⁾ regada 2000 ha	Dotación Neta m ³ /ha/ año	Demanda Bruta hm ³ /año	Eficiencia	Suministro
Campo del Turia	18.905	20.861	4118	125.1	0.75	Mixto
Pueblos Castillos	3.900	6.626	4118	51.88	0.31	Mixto
Ac. de Moncada	5.496	5.398	5086	80.85	0.34	Mixto
Riegos Tradicionales.	5.358	6.597	5086	80.15	0.34	Superficial

(1) según OPH de CHJ.

Tabla 27: Características demandas agrícolas

Nombre	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Campo del Turia	5.14	3.38	3.13	2.89	2.88	5.34	6.35	9.75	10.3	13.56	13.93	8.34
Pueblos Castillos	4.02	2.49	2.81	2.59	2.61	4.88	3.93	5.29	5.14	5.97	6.24	5.91
Acequia de Moncada	3.54	2.02	3.54	3.14	3.16	7.11	7.69	8.65	9.21	11.24	11.24	10.31
Riegos Tradicionales	3.02	0.74	1.66	1.34	2.54	5.62	6.17	9.72	13.5	17.18	13.4	5.29

Tabla 28: Evolución mensual de las demandas agrícolas (hm³/mes)

Resumen de las características de cada una de las demandas:

1. La demanda del Canal Campo de Turia corresponde a riegos de la margen izquierda del río Turia con toma en el embalse de Benagéber. Estos riegos comenzaron el 1970.
2. La demanda de Pueblos Castillos, corresponde a una zona ubicada en la margen izquierda del río con sus tomas aguas abajo del embalse de Loriguilla. Está compuesta por las acequias de Villamarchante, Benaguacil y Lorca.
3. La demanda de la Acequia de Moncada toma sus aguas en Manises y se tienen datos desde enero de 1970.
4. Los riegos tradicionales de la Vega de Valencia están suministrados por las acequias de Quart, Favara, Rascanya, Tormos, Mislata, Mestalla y Rovella.

5.2.4.3 Reglas de operación

Indicadores de alarma y restricciones.

Se le ha aplicado un indicador de alarma (restricción) a los riegos del Canal Campo del Turia. Tiene la función de reducir el suministro de agua a dicha demanda en aquellos periodos de tiempo de escasez de recursos hídricos, dependiendo de la situación de reservas en los embalses.

Prioridades:

Las prioridades en la gestión del agua en el sistema de recursos hídricos son las siguientes:

- Primeramente se intentará respetar en lo posible las prioridades entre demandas y los caudales mínimos.

U.D.U. Teruel: prioridad 1

U.D.U. Valencia: prioridad 1

U.D.A. Pueblos Castillos: prioridad 2

U.D.A. Acequia de Moncada: prioridad 2

U.D.A. Tradicionales del Turia: prioridad 2

U.D.A. Campo del Turia: prioridad 3

- Seguidamente, el agua sobrante se conserva en los embalses, de forma que se soltará agua antes de Loriguilla que de Benagéber y del Arquillo de San Blas. Estas descargas se harán de forma que todos los embalses estén vacíos o llenos en las mismas zonas según los límites de $V_{max,min}$ y objetivo.
- Se intentan mantener en lo posible los caudales mínimos ecológicos
- Se utilizarán unos indicadores de alarma comentados posteriormente.

5.3 INFORMACIÓN ECONÓMICA

5.3.1 Curvas de demanda urbana

A continuación se presentan las funciones económicas (figuras 79 y 80) para las demandas urbanas de Valencia y Teruel. Las mismas han sido obtenidas una función de elasticidad-precio constante (ver apartado II.5.2), que tiene un valor de -0.6 .

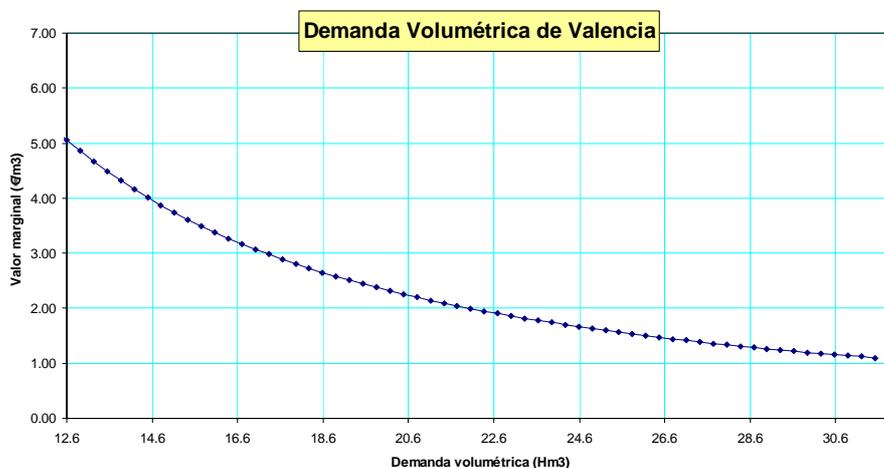


Figura 79: Función económica para la ciudad de Valencia

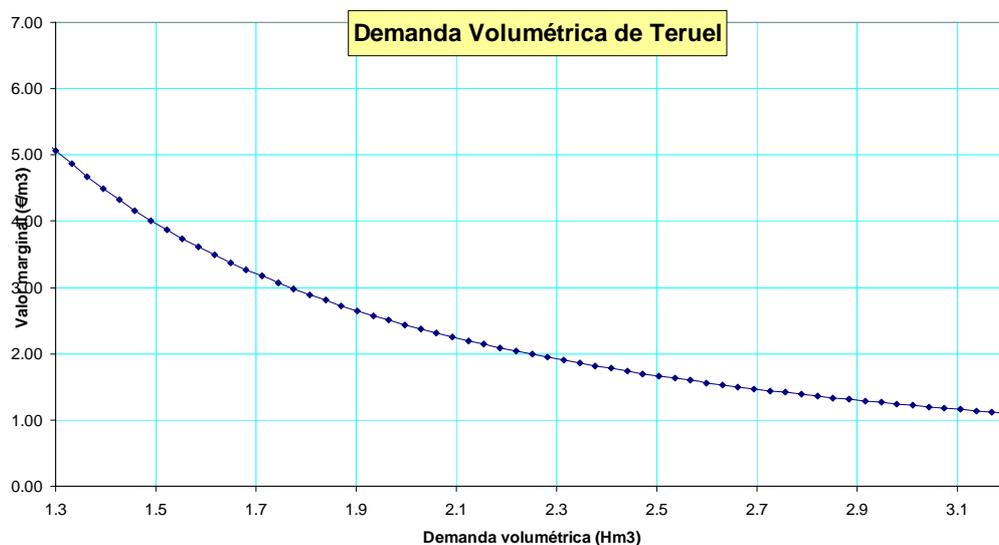


Figura 80: Función económica para la ciudad de Teruel

5.3.2 Curvas de demanda agrícola

A continuación se presentan las distintas funciones económicas (figuras 81 a 85) consideradas en el estudio.

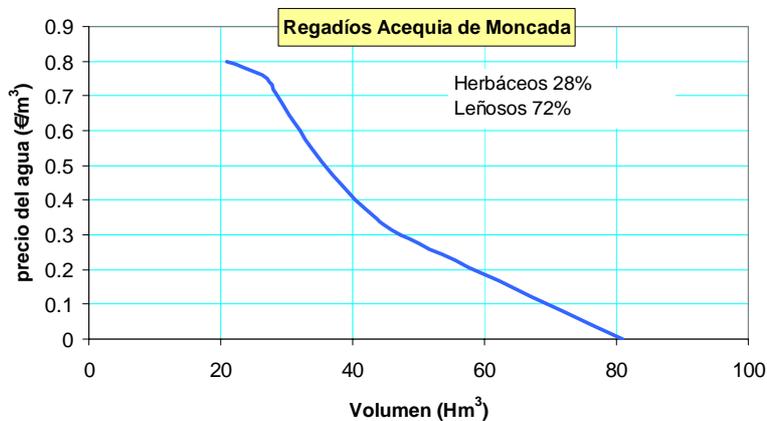


Figura 81: Función económica para Acequia de Moncada

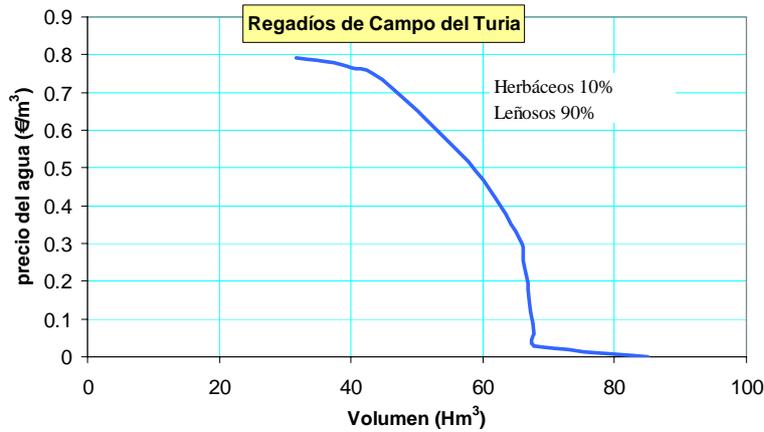


Figura 82: Función económica para Campo del Turia

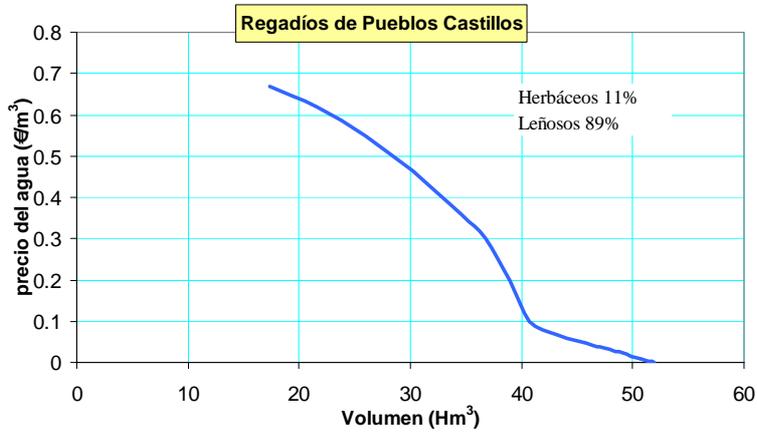


Figura 83: Función económica para Pueblos Castillos

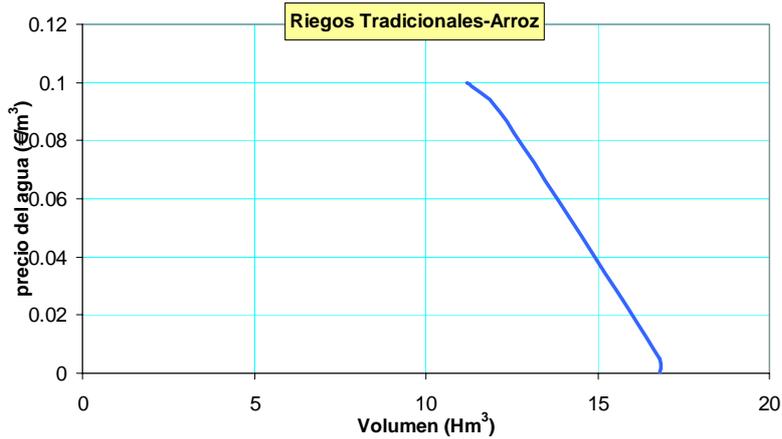


Figura 84: Función económica para Riegos Tradicionales (Arroz)

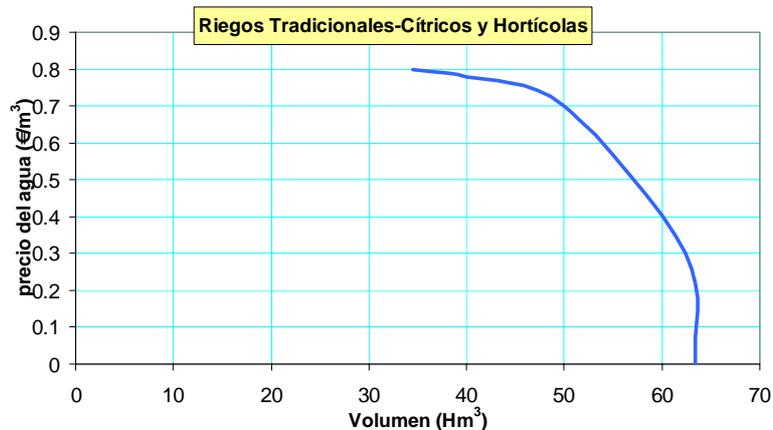


Figura 85: Función económica para Riegos Tradicionales (cítricos y hortalizas)

5.4 ANÁLISIS DEL COSTE DEL RECURSO

5.4.1 Coste de escasez vs. suministro a las demandas

En las figuras 86 a 90 se compara el suministro superficial anual a cada demanda con el coste de escasez (pérdida económica debida al déficit de agua) asociado. Éste vendrá dado por la integración de las curvas de demanda desde los niveles de suministro obtenidos con SIMGES hasta el punto de demanda máxima o corte con el eje de abscisas (ver apartado II.5).

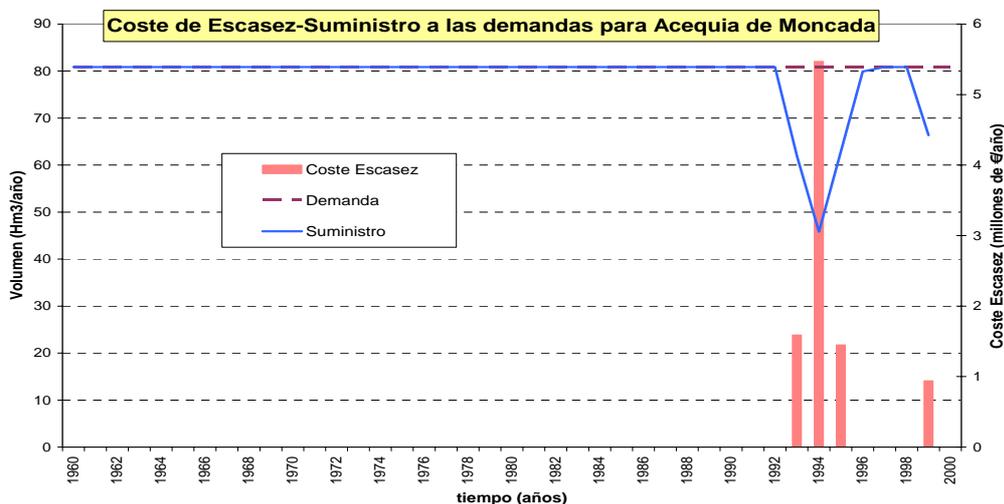


Figura 86: Coste de escasez/Suministro en Acequia de Moncada

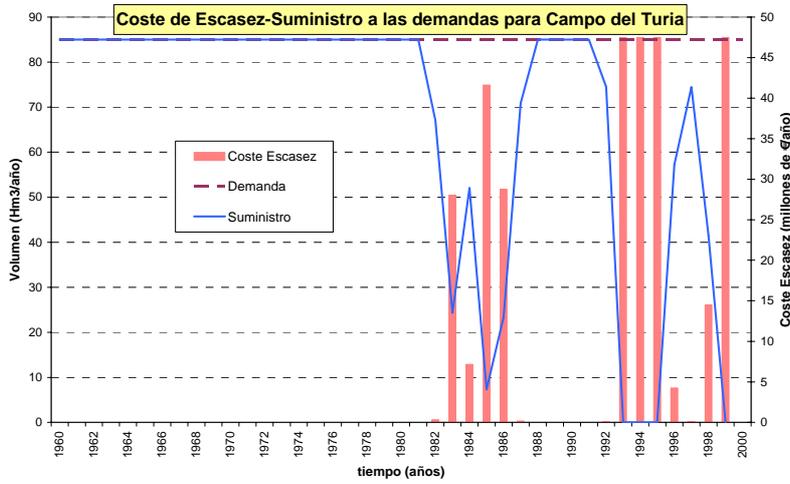


Figura 87: Coste de escasez/suministro en Campo del Turia

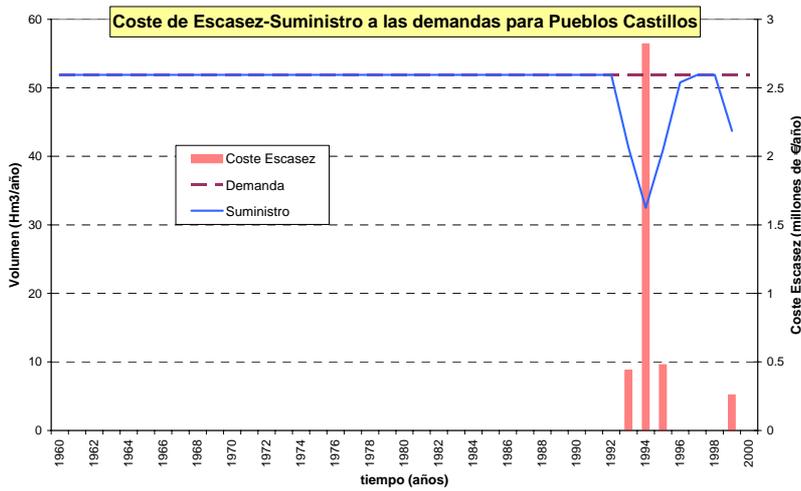


Figura 88: Coste de escasez/Suministro en Pueblos Castillos

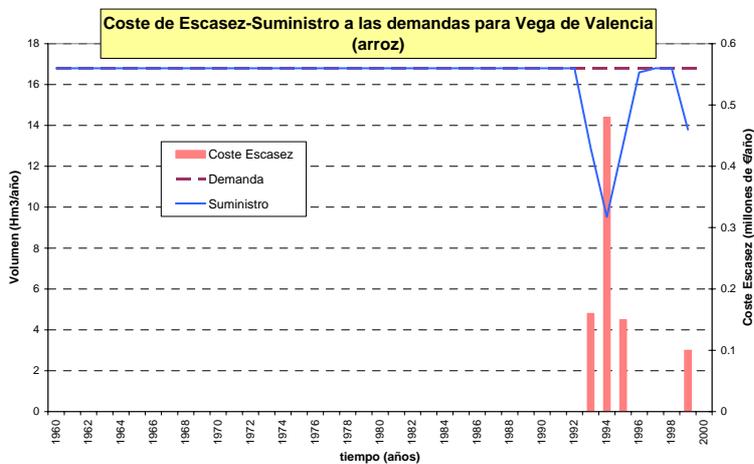


Figura 89: Coste de escasez/suministro en Vega de Valencia (arroz)

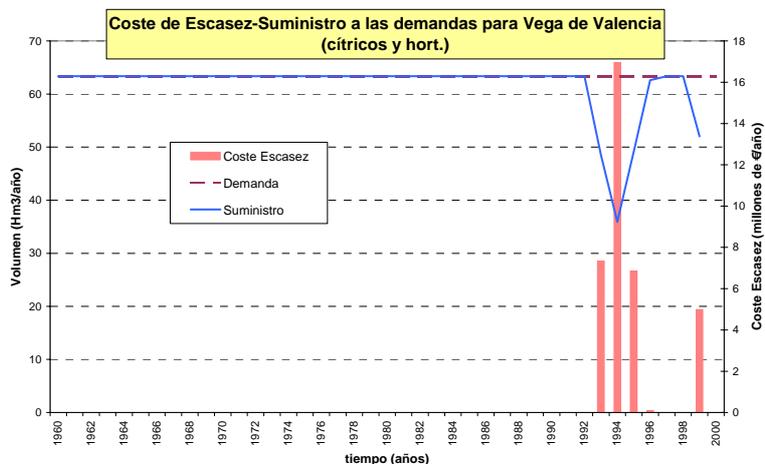


Figura 90: Coste de escasez/Suministro en Vega de Valencia (cítricos y hortícolas)

Del análisis de estos resultados se desprende que el mayor déficit y mayores costes de escasez se presentan en el suministro a la demanda Campo del Turia. Estos valores no se corresponden con el déficit real de suministro a la demanda, debido a que en la práctica los regantes bombean para completar el suministro en periodos de escasez. En el apartado V.4.4. se incorpora el uso conjunto y se analiza su influencia en los resultados.

5.4.2 Coste del recurso en los embalses del sistema

En la figura 91 se representa la variación mensual del coste de recurso en todos los embalses.

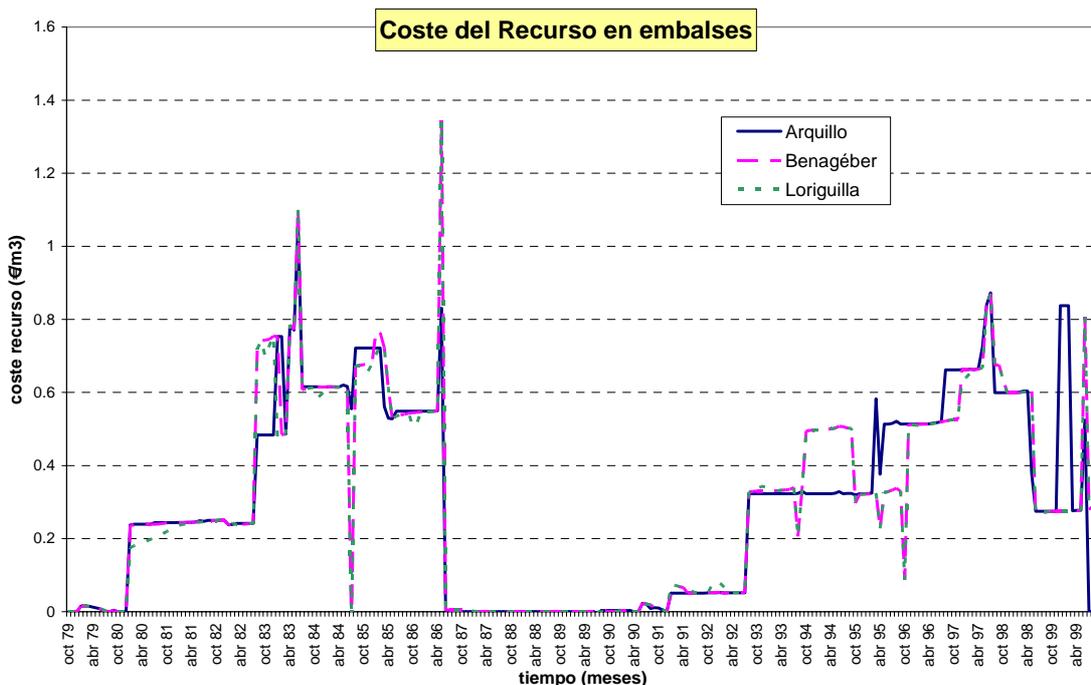


Figura 91: Variación del CMOR (proxy del coste del recurso) e n el período con mayor déficit

Se aprecia que para los embalses de Benagéber y Loriguilla la evolución del coste del recurso es prácticamente coincidente, lo cual es lógico pues son dos embalses en serie que alimentan a un número de demandas similar (Benagéber suministra a una demanda más que Loriguilla, la del Campo del Turia). No ocurre lo mismo con Arquillo en el que observamos un ligero desplazamiento con los otros dos embalses y sus picos no son tan altos; esto es debido, seguramente, a la menor capacidad de este embalse, la cual es prácticamente utilizada para el abastecimiento urbano de Teruel, que no sufrirá déficits.

Esta gráfica la podemos descomponer en el coste del recurso asociado a cada una de las unidades de demanda y conocer así que proporción de coste corresponde a cada una de ellas. En los gráficos de la figura 92 se presenta la desagregación con el coste asociado al embalse de Benagéber.

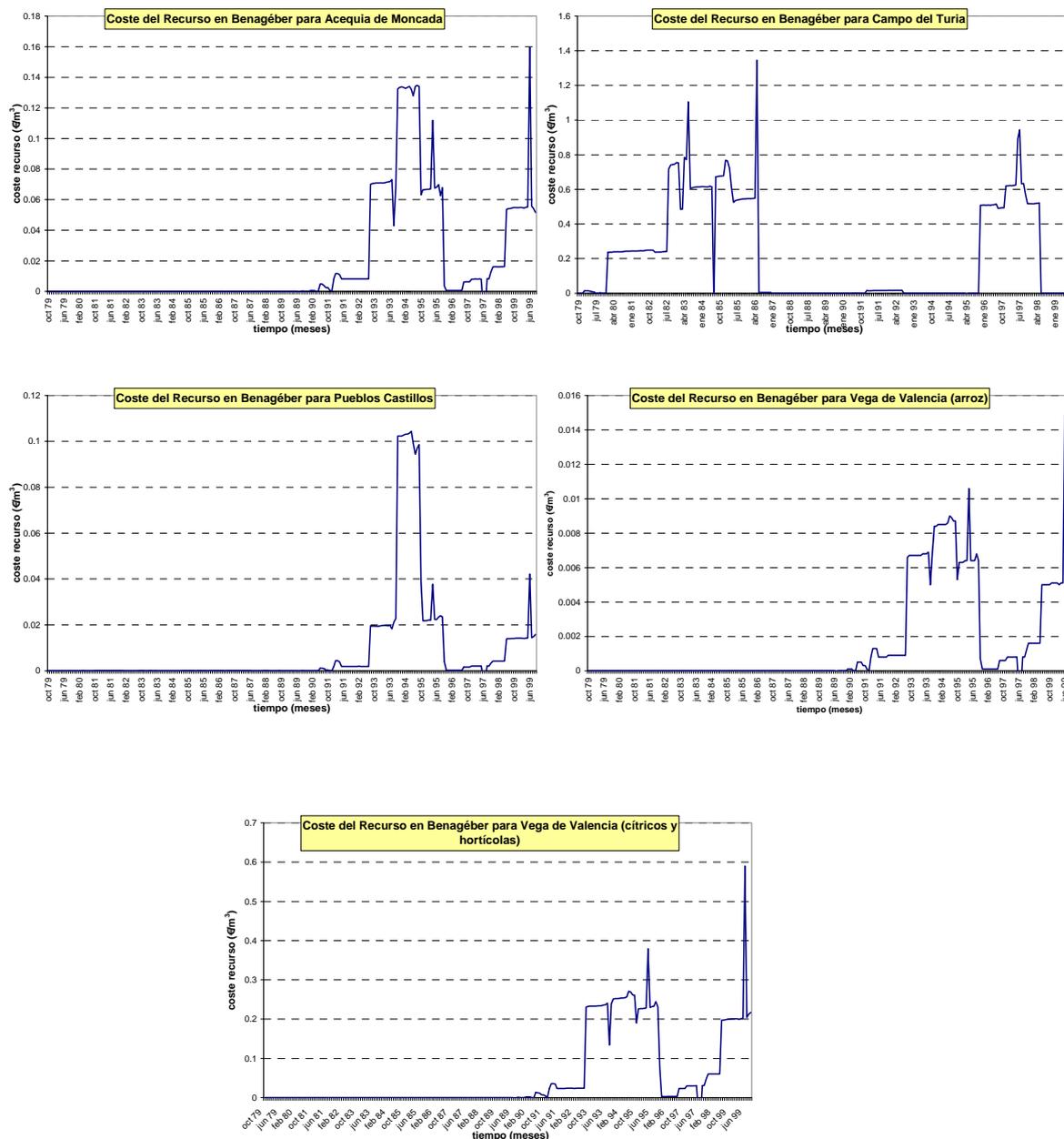


Figura 92: CMOR desagregado en cada una de las demandas

Se observa como en la unidad de demanda "Campo del Turia" se alcanzan los mayores valores y en un número de años mayor, por lo que tiene mayor peso sobre el coste total.

5.4.3 Análisis de sensibilidad del coste del recurso

Se ha hecho un análisis para comprobar la sensibilidad de los cálculos del CMOR a las curvas de demandas. Para las variaciones en las curvas de demanda en las 4 UDAs principales (Riegos Tradicionales, Canal Cota 100, Canal Cota 220 y Maria Cristina) mostradas en las Fig. 93 a 96 se obtiene la variación del CMOR mostrada en la Fig. 97 y 98.

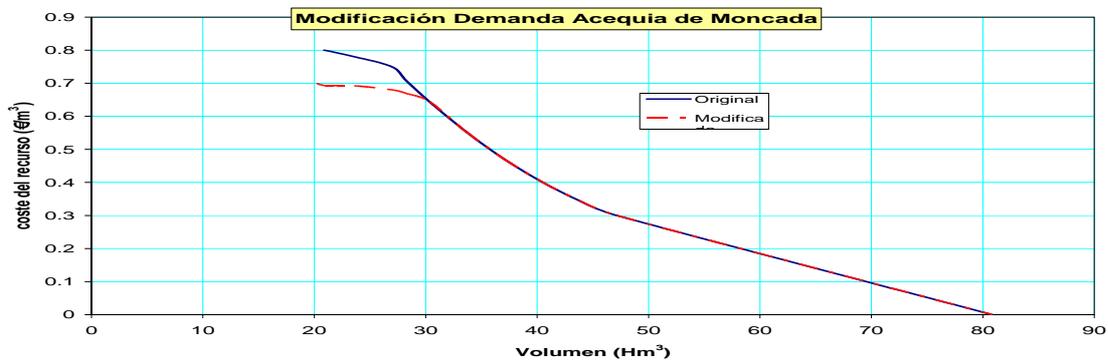


Figura 93: Nueva función económica para Acequia de Moncada

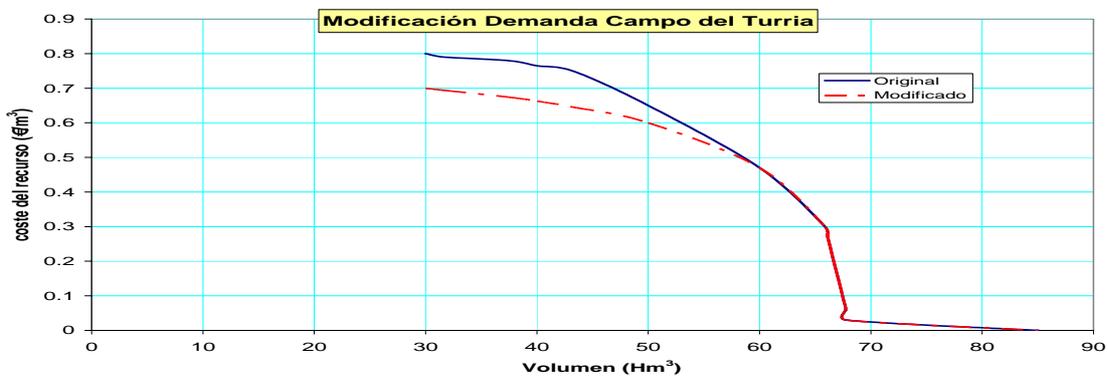


Figura 94: Nueva función económica para Campo del Turia

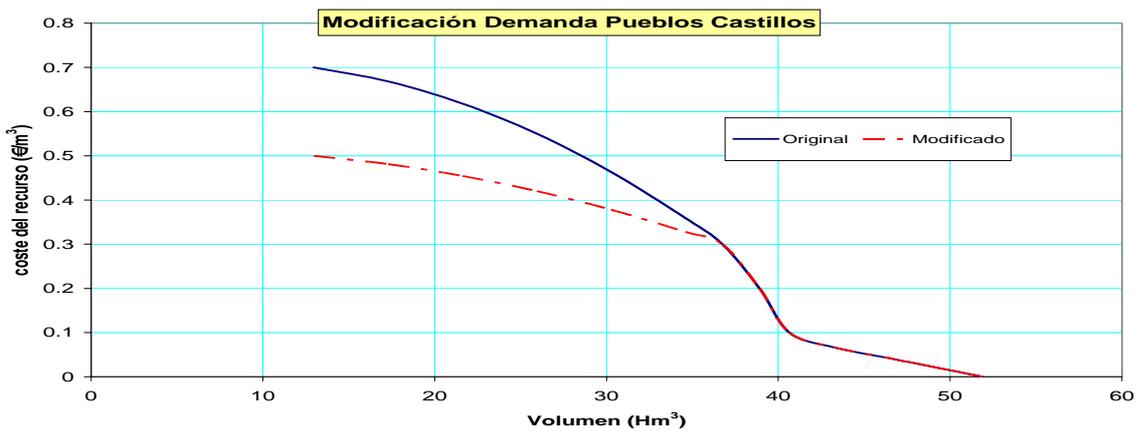


Figura 95: Nueva función económica para Pueblos Castillos

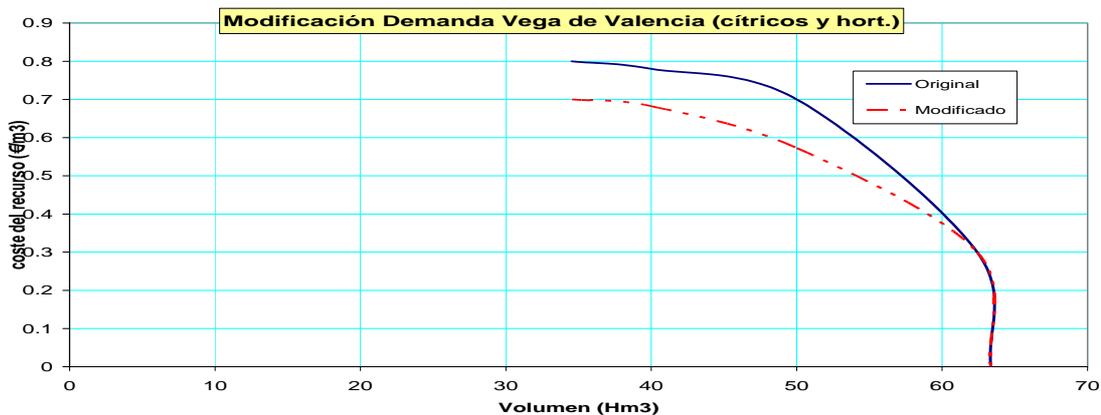


Figura 96: Nueva función económica para Vega de Valencia (cítricos y hort.)

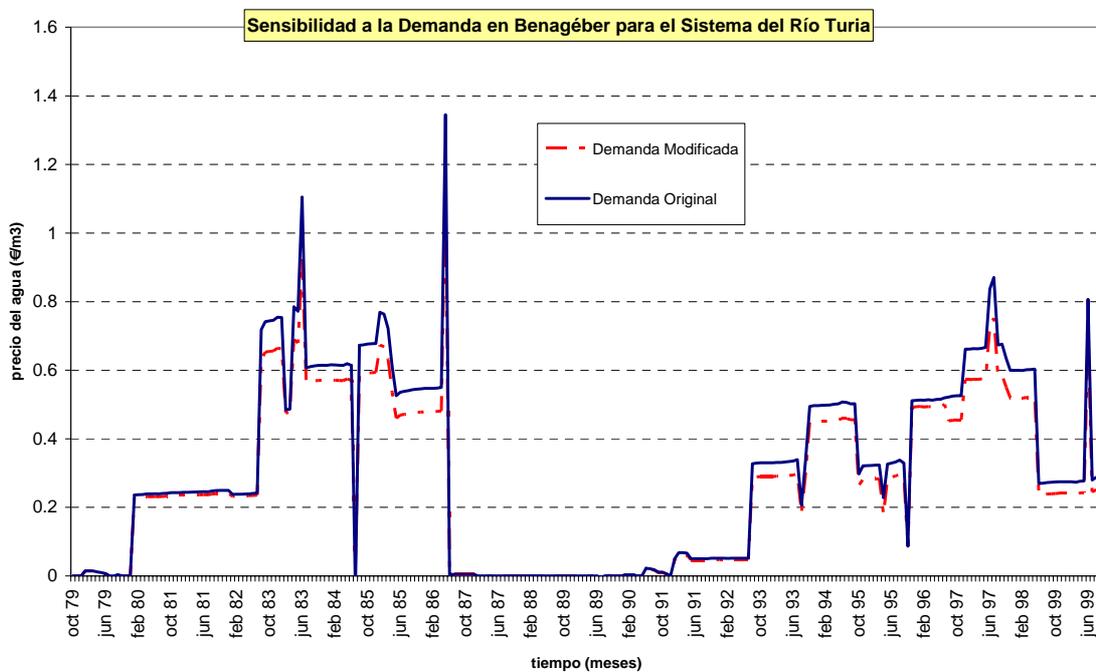


Figura 97: Análisis de demanda para el Sistema del Turia

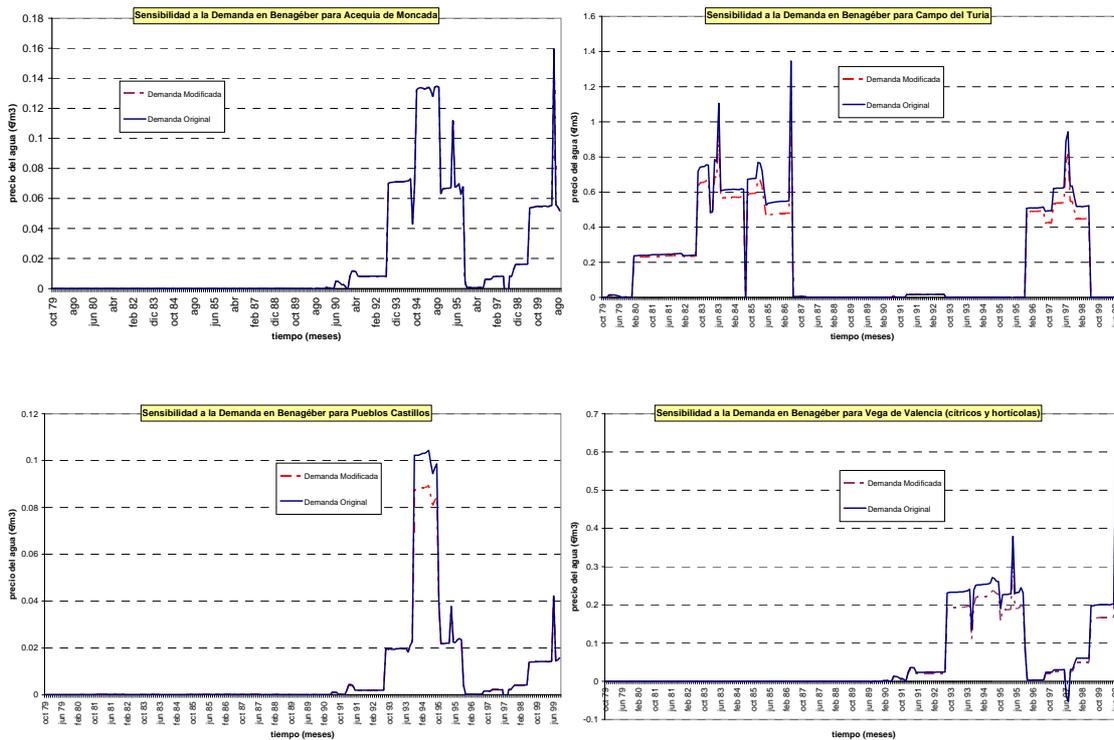


Figura 98: Análisis de demanda de forma desagregada

Como vemos, las variaciones en los resultados no son muy grandes para los cambios adoptados en las curvas de demanda. De forma agregada la variación es algo mayor pero los valores siguen siendo similares.

5.4.4 Variación de resultados ante cambios en el esquema.

En la realidad de la gestión del sistema se suele recurrir al uso conjunto de recursos superficiales y subterráneos, de forma que, dependiendo de las características de los acuíferos y de los aportes superficiales, se logran abastecimientos mixtos para lograr la completa satisfacción de la demanda. Para ver cómo afecta en el análisis la incorporación de aportaciones subterráneas a las demandas, se ha realizado un nuevo esquema basado en el anterior pero añadiéndole algunas unidades hidrogeológicas (UHG), como se muestra en la figura 98.

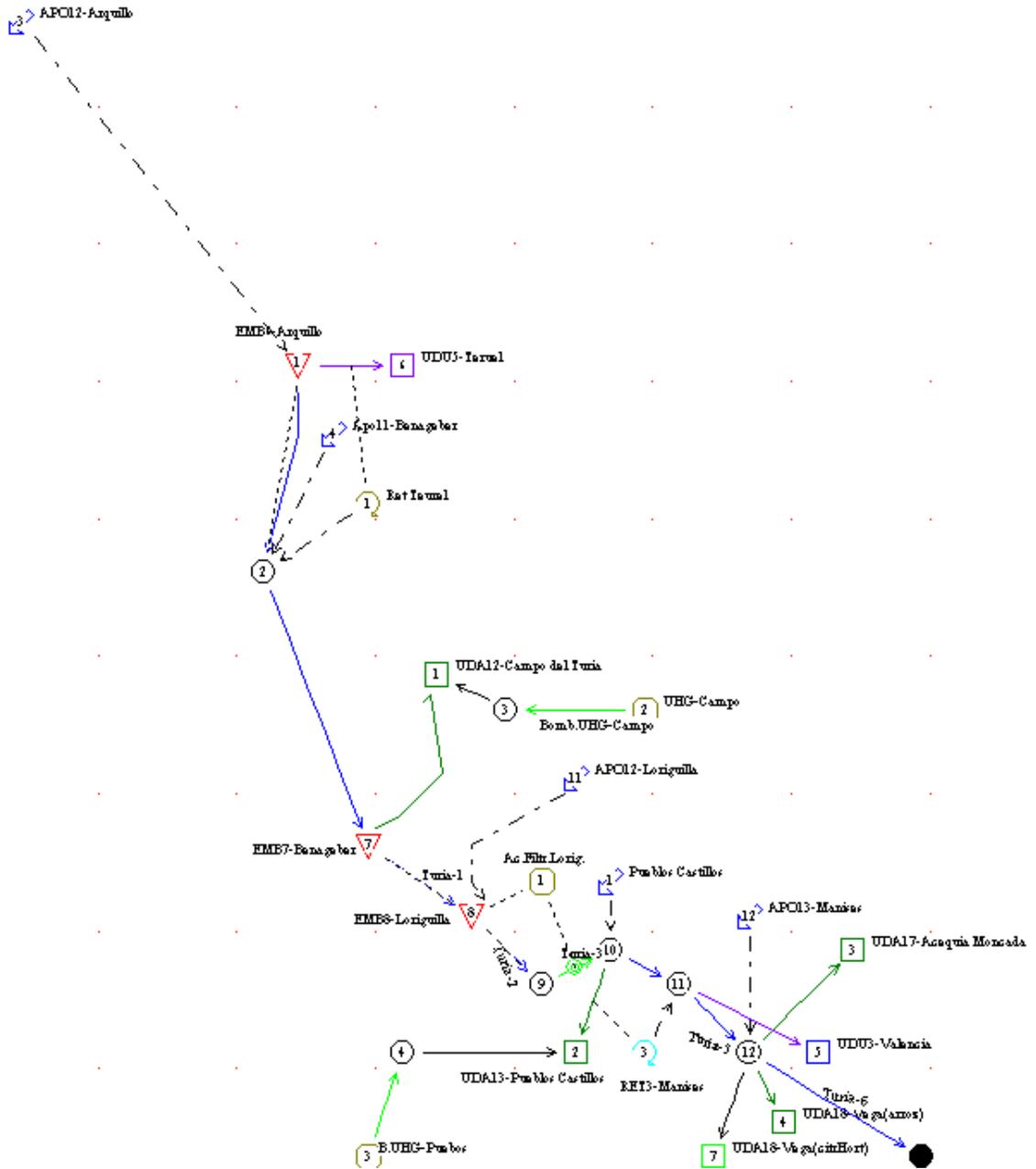


Figura 99: Esquema del Turia con acuíferos

Al esquema se le han añadido dos unidades hidrogeológicas, que se representan para mayor detalle.

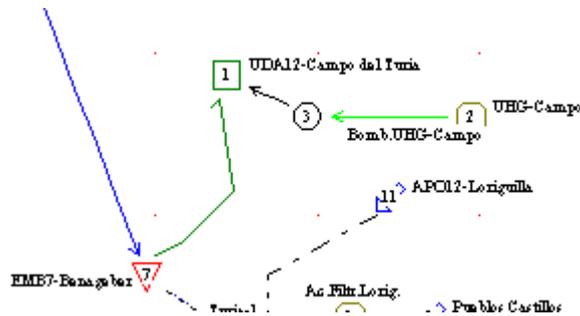


Figura 100: Detalle UHG Campo del Turia

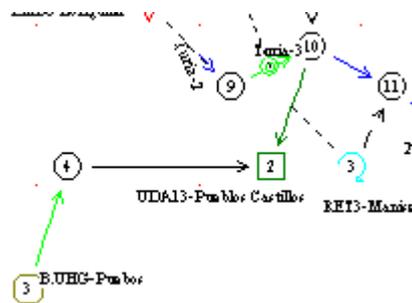


Figura 101: Detalle UHG Pueblos Castillos

5.4.4.1 Unidades Hidrogeológicas añadidas.

Como se puede observar las unidades añadidas lo son para las demandas de Campo del Turia y Pueblos Castillos. Los acuíferos se han incorporado mediante un modelo "depósito" (simple balance), y se ha añadido la conducción "bombeo adicional" para conectarlos a la toma de las demandas. Las limitaciones de los bombeos son las que corresponden a como están funcionando actualmente. Las Unidades representadas resultan de la agregación de las UHG según de las que bombean las demandas de Campo del Turia y Pueblos Castillos (Tabla 3). Los costes unitarios de bombeo se han obtenido de la media de los costes unitario de bombeo para cada UHG, información facilitada por la Oficina de Planificación Hidrológica de la CHJ.

U.H.G. Campo del Turia		
U.H.G	% Origen Subt.	Coste Unitario (€/hm ³)
8.18	3.42	180
8.20	16.9	130
8.22	73.63	120
8.23	73.63	140
U.H.G.		117

Tabla 29: Composición de U.H.G. Campo del Turia.

U.H.G. Pueblos Castillos		
U.H.G	% Origen Subt.	Coste Unitario (€/hm ³)
8.18	0.69	180
8.22	31.71	120
8.23	67.59	140
U.H.G.		133.92

Tabla 30: Composición de U.H.G. Pueblos Castillos.

Descripción de las U.H.G.

- U.H.G. 8.18, Las Serranías: en la provincia de Valencia, presenta una superficie aflorante de alta permeabilidad de 1,100 Km², y está constituida por formaciones acuíferas del Jurásico-Cretácico. La alimentación del sistema proviene de la infiltración del agua de lluvia, estimándose en unos 142 hm³/año. La descarga se produce por drenaje hacia los ríos Turia y Magro, existiendo una transferencia (30 hm³) a las UU.H.GG. 23 (Buñol-Cheste) y 24 (Utiel-Requena). El uso del agua subterránea se destina al abastecimiento de la población del sistema, con un volumen anual medio de bombeos de 2 hm³.
- U.H.G. 8.20, Medio Palancia: cuenta con una superficie aflorante de alta permeabilidad de 480 hm², con materiales pertenecientes al Jurásico-Cretácico. La mayor parte de su superficie se encuentra en la cuenca del río Palancia. La alimentación por infiltración de agua de lluvia y cauces asciende a 70 hm³, mientras que la procedente de otras Unidades Hidrogeológicas, principalmente la 14, Alto Palancia, asciende a 30 hm³. La descarga se produce fundamentalmente por extracciones mediante bombeos (40 hm³), salidas por emergencias (San José, Quart, La Llosa y Almenara) y transferencia lateral (40 hm³) a las Unidades nº 12, Plana de Castellón, y nº 21, Plana de Sagunto. Los recursos de la unidad presentan problemas de calidad para el abastecimiento, y elevadas concentraciones de nitratos en algunas zonas.
- U.H.G. 8.22, Liria-Casinos: tiene una superficie aflorante de alta permeabilidad de 475 Km², con materiales de variada edad (Jurásico, Cretácico, Terciario y Cuaternario). Las entradas al acuífero proceden de la infiltración de lluvia (50 hm³), infiltración de excedentes de riego (35 hm³) y transferencias de otras unidades (10 hm³). Las salidas se producen por descarga lateral (20 hm³), drenaje al río Turia y salidas por emergencias (manantial de San Vicente), y extracciones (30 hm³), fundamentalmente para usos agrícolas y urbanos. Los recursos de la Unidad presentan problemas de calidad para abastecimiento, y elevadas concentraciones de nitratos en algunas zonas.

- U.H.G. 8.23, Buñol-Cheste: cuenta con una superficie aflorante de alta permeabilidad de 450 Km², de formaciones acuíferas de variada edad. La alimentación del sistema procede de la infiltración del agua de lluvia (60 hm³) y aportes laterales procedentes de la U.H.G. 18 (20 hm³). La descarga se produce a través del cauce del Turia, transferencia de 60 hm³/año a la U.H.G. 25 (Plana de Valencia-Norte) y bombeos (15 hm³), fundamentalmente con usos urbanos y agrícolas. Los recursos de la Unidad presentan problemas de calidad para el abastecimiento, y elevadas concentraciones de nitratos en algunas zonas.

Curvas económicas para los bombeos.

Al igual que se asocia a las demandas sus propias curvas de demanda (curvas económicas), se hace lo mismo para los bombeos. En este caso las funciones económicas serán de la forma:

$$y = (a + b \cdot Pc + c \cdot Pc^2) \cdot Q$$

donde:

Pc: es un parámetro de control.

Como en este caso los acuíferos utilizados son tipo depósito, el parámetro de control por utilizar es el volumen, que habría que relacionar con la altura de bombeo para obtener el coste de bombeo unitario. Dado que no disponemos de dicha relación, como simplificación, suponemos coste de bombeo unitario constante. De esta forma los parámetros *b* y *c* quedarán nulos, y el valor *a* será:

U.H.G.	a
Campo del Turia	117
Pueblos Castillos	133.92

Tabla 31: Función económica de los bombeos.

5.4.5 Coste de escasez vs. suministro a las demandas, caso con acuíferos

En este apartado se analiza cómo han cambiado los resultados del coste de escasez al agregar los suministros subterráneos.

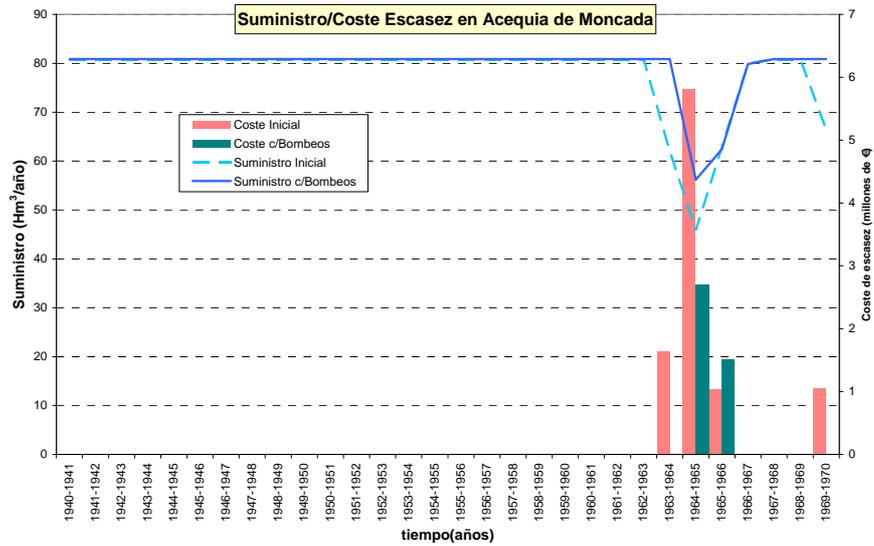


Figura 102 Comparación del coste de escasez al añadir acuíferos en Acequia de Moncada

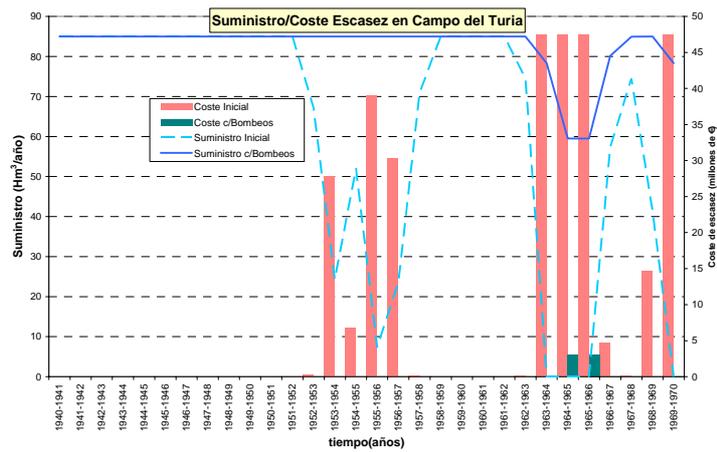


Figura 103: Comparación del coste de escasez al añadir acuíferos en el Campo del Turia

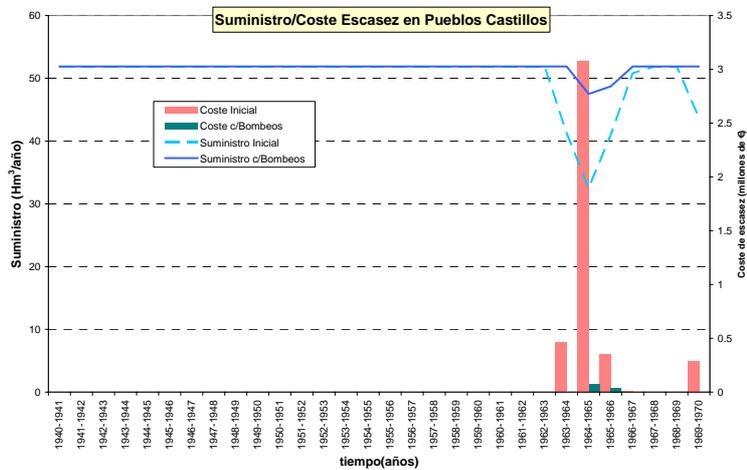


Figura 104: Comparación del coste de escasez en Pueblos-Castillos.

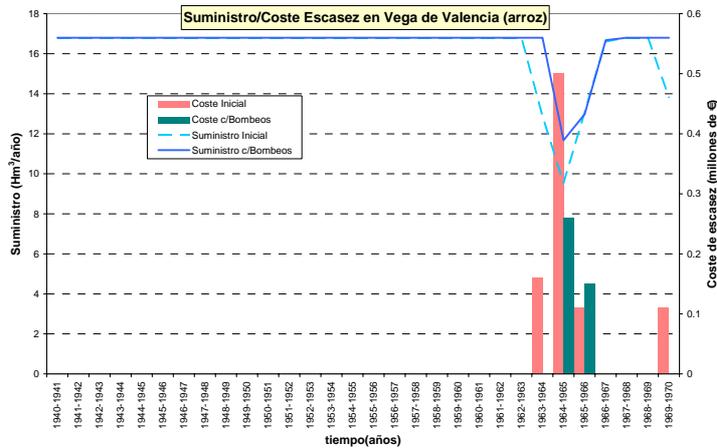


Figura 105 Comparación del coste de escasez en Vega de Valencia (arroz)

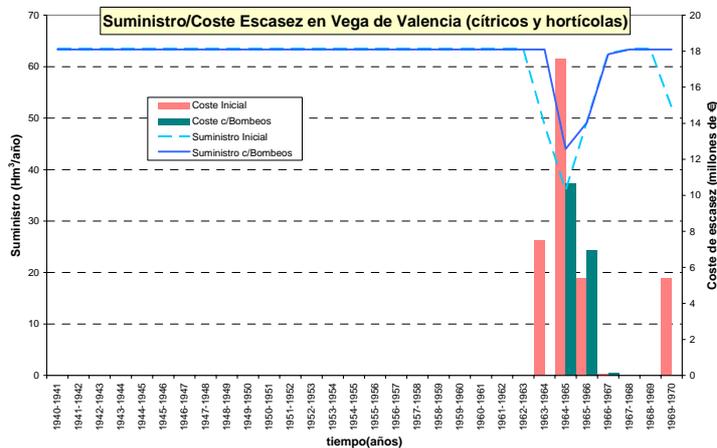


Figura 106 Comparación del coste de escasez en vega de Valencia (citr. y hort.)

Tal y como era de esperar, los acuíferos dotan de agua subterránea a las demandas como complemento del suministro superficial. De esta forma disminuye el déficit de suministro sobre el resto de las demandas, aunque no tengan asociadas ningún acuífero. Al aumentar los suministros en las demandas, las integraciones de las curvas de demanda son inferiores, dando con ello valores de coste inferiores de coste de escasez. En conclusión, al incluir acuíferos en el esquema (aportaciones subterráneas), o al incluir cualquier suministro externo, se produce una reducción de los costes, aumentando las garantías de satisfacción de las demandas.

5.4.6 Coste del recurso (con acuíferos)

Al cambiar los suministros a las demandas cambiará, con ello, el indicador del coste del recurso o CMOR. En la siguiente figura se puede observar el cambio producido en el CMOR para el embalse de Benagéber.

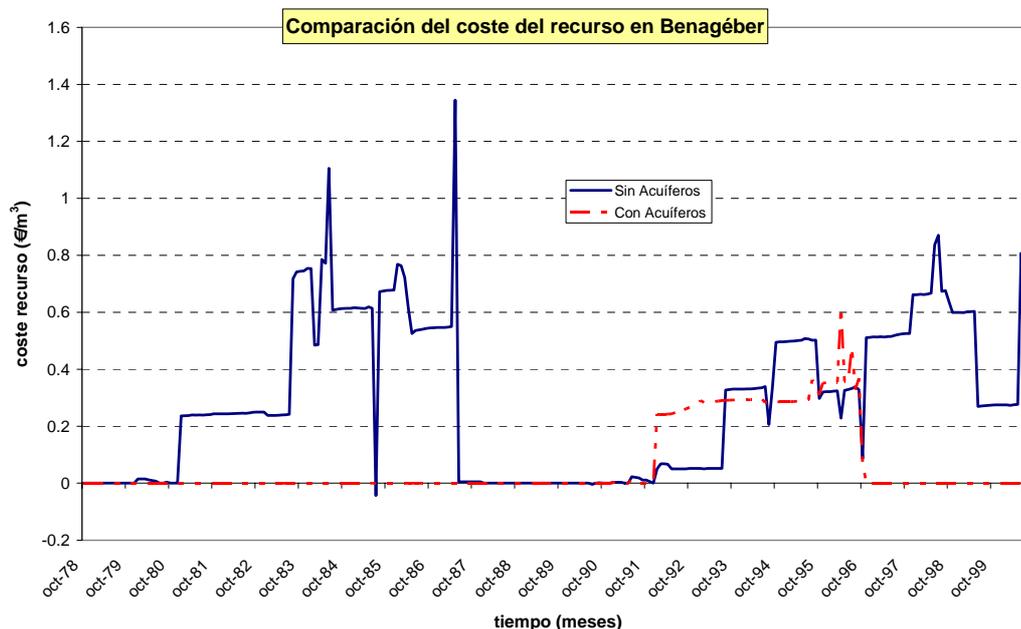


Figura 107: CMOR con acuíferos/sin acuíferos en Benagéber

Efectivamente, el coste del recurso se ha visto reducido enormemente. El promedio en el caso sin acuíferos es de 0.11€/m^3 alcanzando un máximo de 1.34 y una varianza de 0.05 . En el caso del esquema con acuíferos estos valores se reducen a 0.02 en el caso del promedio, 0.6 para el máximo y 0.006 para la varianza. Además, mientras en el caso inicial el recurso toma valor a partir del año 1978 hasta el 2000, para el caso con acuíferos el agua sólo toma valor a partir del año 1992 (años anteriores contienen meses con algún valor despreciable) hasta enero de 1997.

Por tanto, el uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas disminuye considerablemente el valor (coste) marginal del recurso en los embalses.

6. CONCLUSIONES

En la Memoria del presente informe se ha presentado la metodología y herramientas desarrolladas por el Grupo de Ingeniería de Recursos Hídricos (GIRH) del Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) para la estimación sistemática del coste del recurso, componente del coste de los servicios del agua a estimar de acuerdo con el art. 9 de la Directiva Marco del Agua (DMA). Se ha descrito la aplicación de dicha metodología a los sistemas del río Júcar, Turia y Mijares, mostrando la

información económica utilizada y los resultados económicos obtenidos, y discutiendo la aplicabilidad de dichos resultados a la DMA. En los Anexos se incorporan los Ecos de Datos.

La metodología se basa en el cálculo del CMOR (Coste Marginal de Oportunidad del Recurso). El CMOR en un punto del sistema y en un instante del sistema se calcula como el coste que supone para el sistema el disponer de una unidad menos de recurso en ese punto y en ese instante. Este valor es un indicador de la escasez de agua en el sistema y de la disposición de pago del sistema productivo y de los usuarios finales del agua para mitigar esa escasez. Este valor varía de forma dinámica en el espacio y el tiempo. La estimación del CMOR se hace mediante simulación hidro-económica de la gestión del sistema, empleando para ello 2 módulos del Sistema de Apoyo a la Decisión AQUATOOL: el módulo de simulación (SIMGES) y el de evaluación económica (ECOWIN). El enfoque de simulación aplicado consta de 4 fases: preparación de los modelos hidrológicos de simulación, puesta a punto del evaluador económico de la asignación del recurso realizada por SIMGES, incorporación de funciones de valor económico del agua en los distintos usos, y de los costes de operación en el sistema (fundamentalmente bombeos), y comparación de los resultados del caso base con la simulación de una perturbación que depende de la variable a estimar (caso modificado).

Para el análisis económico en cada sistema se han completado las siguientes etapas:

- Análisis del modelo de simulación
- Análisis de la información económica disponible, discutiendo las curvas de demanda finalmente adoptadas en el modelo
- Análisis del coste de escasez (pérdida de beneficio por déficit) en el suministro a las distintas demandas (individual y agregado)
- Determinación de las gráficas de evolución del CMOR en los embalses principales del sistema
- Análisis de los resultados del CMOR, incluyendo estadísticas del mismo y descomponiendo el efecto del suministro a las demandas del sistema
- Análisis de sensibilidad del CMOR a las curvas de demanda utilizadas
- Cálculo del coste de oportunidad de restricciones ambientales de caudal mínimo.

Los resultados económicos son sensibles a las curvas de demanda utilizadas, con lo que esta información, exógena a los modelos desarrollados, resulta muy relevante. Su determinación en

algunos casos requeriría de más datos, de modelos específicos y de un análisis más completo del que se ha podido emplear en el presente trabajo.

Desde el punto de vista de la gestión del agua como un bien económico el reto clave es conseguir que se tenga en cuenta el coste de oportunidad real del agua en la utilización del recurso. La eficiencia económica en la gestión del recurso exige que se conozcan e incorporen los costes de oportunidad del recurso en las decisiones. Además, las tarifas que incluyen el coste de oportunidad transmiten al usuario una señal de escasez del recurso, incentivando un uso eficiente del mismo. A pesar de la aparente simplicidad del concepto, su aplicación es muy compleja.

7. REFERENCIAS

AEAS, 1998. *Suministro de agua potable y saneamiento en España*. VI Encuesta Nacional. Asociación Española de Abastecimiento y Saneamiento.

Andreu, J., J. Capilla y E. Sanchís, 1996. AQUATOOL, a generalized decision support system for water-resources planning and management. *Journal of Hydrology*, 177, 269-291.

Andreu, J., Pulido-Velázquez, M., Collazos, G., Pérez, M.A., 2004. Metodologías y herramientas para el análisis económico de sistemas de recursos hídricos. Aplicación a la Directiva Marco europea del Agua. IV Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua. Tortosa (España), Dic. 2004

Arbués, F., M.A. García-Valiñas y R. Martínez-Espiñeira, 2003. Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review. *Journal of Socio-Economics*, 32(2003), 81-102. Elsevier.

Arbués, F., R. Barberán, y I. Villanúa, 2000. Water price impact on residential water demand in the city of Zaragoza. A dynamic panel data approach. Proceedings of the *40th European Congress of the European Regional Studies Association (ERSA)*, in Barcelona, Spain.

Baumann, D.D. y J.J. Boland, 1998. The case for managing urban water. In D.D. Baumann et al., eds., *Urban Water Demand Management and Planning*, p. 1-30. McGraw-Hill, Inc., NY.

Blanco Fonseca, M., 1999. *La economía del agua: análisis de políticas de modernización y mejora de regadíos en España*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, Spain.

Blanco, M.; E. Iglesias; J. M. Sumpsi, 2004. Environmental and socioeconomic effects on water pricing policies: Key issue in the implementation of the Water Framework Directive. 13th Annual EAERE Conference, Budapest (June 25-28th, 2004).

Brouwer, R., 2004. The concept of environmental and resource cost. Lessons learned from ECO2". In Brouwer, R. y P. Strosser (eds.), *Environmental and Resource Cost and the Water Framework Directive. An overview of European practices*. RIZA Working Paper 2004. 112x. Amsterdam, Holland.

Briscoe, J., 1996. *Water as an economic good. The idea and what it means in practice.* Proceedings of the World Congress of the International Commission on Irrigation and Drainage (ICID). Cairo, Egypt

CHJ, 2005. Informe para la Comisión Europea sobre los artículos 5 y 6 de la Directiva Marco del Agua. Abril de 2005. <http://www.chj.es/CPJ3/imagenes/imagenes.htm>

Martínez Paz, J., y Colino Sueiras, J., 2002. El agua en la agricultura del sudeste español : Productividad, precio y demanda. En: La agricultura mediterránea en el siglo XXI / coord. por José María García Álvarez-Coque, 2002, ISBN 84-95531-10-0, pags. 199-221

Collazos, G., M. Pulido Velázquez y J. Andreu, 2004. SSD para el análisis económico de sistemas de recursos hídricos. IV Congreso Ibérico Gestión y Planif. del Agua. Tortosa (España), Dic. 2004

DIHMA-UPV y CHJ, 2001. *Implantación en la Confederación Hidrográfica del Júcar de un Sistema Soporte de Decisión en materia de Recursos Hídricos.* Convenio realizado entre el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia y la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ).

DIHMA-UPV y INCISA, 1997. Modelos de Evaluación y Gestión de Recursos Hidráulicos del Júcar, incluyendo el Análisis del Comportamiento del Acuífero de la Plana. Convenio entre la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) e Ingeniería Civil S.A. (INCISA).

Dinar, A. y J. Letey, 1996. Modeling Economic Management and Policy Issues of Water in Irrigated Agriculture. Praeger Publishers. 239 pp. Dinar, A. y J. Letey, 1996. Modeling Economic Management and Policy Issues of Water in Irrigated Agriculture. Praeger Publishers. 239 pp.

García Mollá, M., 2000. Análisis de la influencia de los costes en el consumo de agua en la Comunidad Valenciana. Caracterización de las entidades organizativas para riego. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, Spain

García Valiñas, M. A., 2002. La demanda de agua en las ciudades: estimación comparada para tres municipios españoles. En L. del Moral (ed.), *III Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua. La Directiva Marco del Agua, realidades y futuros*, p. 232-253. Universidad de Sevilla,

García Valiñas, M. A., 2006. Demanda urbana en la región de Valencia. Un enfoque econométrico. En Pulido, M. y Andreu, J., International Workshop on "Hydro-Economic modelling and tools for the implementation of the EU Water Framework Directive". UPV, Valencia, 30-31 de enero, 2006.

Gibbons, D.C., 1986. *The Economic Value of Water*. Resources for the future. Washington, 101 p.

Hanemann, W.M., 1998. Determinants of urban water use. In D.D. Baumann et al., eds., *Urban Water Demand Management and Planning*, p. 31-75. McGraw-Hill, Inc., NY.

Hazell, P.B. y R.D. Norton, 1986. *Mathematical programming for economic analysis in agriculture*. MacMillan Publishing Company, NY, USA. 400 pp.

Maestu, J., J. Andreu y C. Mario (2004): "Practical experiences in Spain". In Brouwer, R. y P. Stosser (eds.), *Environmental and Resource Cost and the Water Framework Directive. An overview of European practices*. RIZA Working Paper 2004. 112x. Amsterdam, Holland.

Martínez-Espiñeira, R., 2002. Residential water demand in the Northwest of Spain. *Environmental and Resource Economics*, 21(2), 161-187.

MMA, 2000a. *Libro Blanco del Agua en España*. Ministerio de Medio Ambiente, España. 637 pp.

MMA, 2000b. Análisis Económicos. En *Plan Hidrológico Nacional*. Documentos técnicos. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, España

MMA, 2005. Informe de recuperación de costes de los servicios del agua en la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Grupo de Análisis Económico de la DMA. Direcc. General del Agua, Mto. Medio Ambiente, España.

M.S. Ingenieros, 2002. Estudio de utilización conjunta de los recursos hídricos superficiales y subterráneos en las cuencas media y baja de los ríos Júcar y Turia. Informe final, septiembre 2002, Valencia.

Pulido Velázquez, M., 2003. Optimización económica de la gestión del uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas en un sistema de recursos hídricos. Contribución al Análisis Económico propuesto en la Directiva Marco Europea del Agua. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, España.

Pulido Velázquez, M., Andreu, J., Sahuquillo, A., 2004. Optimización económica del uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas en sistemas de recursos hídricos. Aplicación a la Directiva Marco europea del Agua. IV Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua. Tortosa (España), Dic. 2004.

Renzetti, S., 2002. *The economics of water demands*. Kluwer Academic Publishers. 191 pp.

Sopeña M, F. *Análisis del sistema del río Mijares y diseño de un plan de gestión óptimo para la mitigación de sequías*. Ejercicio fin de carrera tipo III. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, febrero de 2002.

Sumpsi, J.M., Garrido, A., Blanco, M., Varela, C. y E. Iglesias, 1998. *Economía y política de gestión del agua en la agricultura*. Mundi-Prensa, Madrid, Spain.

Young, R.A., 1996. *Measuring Economics Benefits for Water Investments and Policies*. World Bank Technical Paper N. 338. World Bank, Washington DC, U.S.A.

WATECO, 2002. Economics and the Environment. The implementation challenge of the Water Framework Directive. A Guidance Document. Grupo de trabajo para estudios económicos de la DMA.