

ANEXO 2. DISEÑO DE POLÍTICAS ÓPTIMAS DE
PRECIOS DEL AGUA QUE INCORPOREN LOS
COSTES MARGINALES DE OPORTUNIDAD DEL
RECURSO (ACTIVIDAD 3-1)

3. Diseño de políticas óptimas de precios del agua que incorporen los costes marginales de oportunidad del recurso.

3.1. Se empleará el módulo ECOWIN del SAD AQUATOOL para desarrollar un modelo hidroeconómico del río Mijares, utilizar como caso de estudio. Para ello se partirá de la caracterización hidrológica y económica previa del sistema. La caracterización del valor económico del agua para los distintos usos se llevará a cabo mediante curvas económicas de demanda.

El módulo ECOWIN del SAD AQUATOOL

El módulo EcoWin del SAD AquaTool ha sido desarrollado por el Grupo de Ingeniería de Recursos Hídricos del IIAMA-UPV, partiendo del trabajo desarrollado por Collazos (2004) y Collazos et al. (2004), y permite calcular tanto los beneficios (y costes de escasez) que reportan a los usuarios una determinada asignación del recurso, como la serie temporal del CMOR en algún punto del sistema.

Para la aplicación del programa, se necesita tener un esquema (adecuadamente validado) del sistema modelado con SimGes. El uso del modelo de simulación es imprescindible para tener bien definido el comportamiento hidrológico de la cuenca como unidad y preservar las interrelaciones entre los distintos elementos del sistema hídrico.

El programa calcula el beneficio y/o el coste de escasez económico con la ecuación (1) para cada elemento del sistema y para cada periodo de tiempo considerado. Además se utiliza una función económica de tipo paramétrico que también puede definirse en forma discreta por medio de puntos, en el caso de que la función no pueda ajustarse o que resulte muy compleja en su estructura.

$$MAX \quad BA = \sum_{k=1}^{nT} \frac{1}{(1+i)^k} \left(\sum_{e=1}^{nE} \int_0^{x_{ke}} f_{ke} \cdot c_{ke} \, dx_{ke} \right) \quad (1)$$

Para evaluar la ecuación de beneficios o coste de escasez, se utilizan dos grupos de datos:

- La simulación de la gestión que se realiza con el modelo SimGes.
- Las funciones económicas (f.e.) declaradas para cada elemento del sistema. Esta función económica se representa como un polinomio de la forma siguiente:

$$f.e. = a + bx + cx^2 + \left(\frac{d}{x+e} \right) + fx^g \quad (2)$$

donde a, b, c, d, e, f, g son parámetros de la función económica y x es la asignación del recurso hídrico.

Las funciones económicas pueden ser de tipo polinomiales cuadráticas, exponenciales o de elasticidad constante para representar la curva de demanda o costes. El beneficio económico asociado para cada elemento del sistema se calcula como la integral de la función económica entre cero y la cantidad asignada en la simulación. Asociado al beneficio se encuentra el *coste de escasez*, en el caso que la demanda en el sistema no sea satisfecha, y se define como la integral entre la cantidad asignada en la simulación y el total demandado (figura 1).

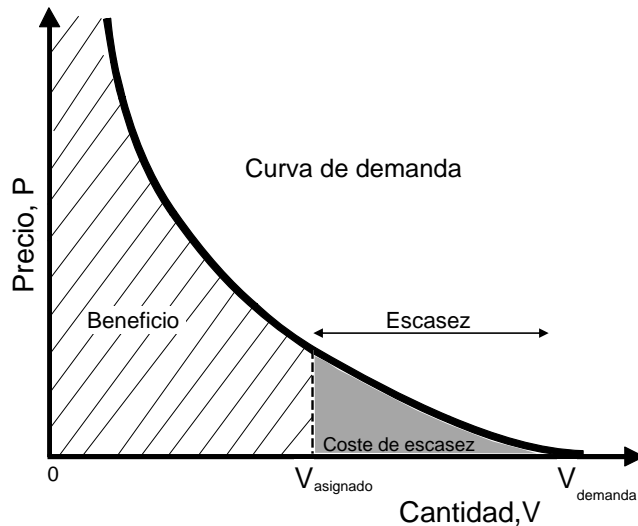


Figura 1. Beneficio y coste de escasez

El programa evalúa la función de beneficio (ecuación 1) en donde los valores de x_{ke} para cada paso de tiempo, son obtenidos por el modelo de simulación previamente empleado. La función económica no necesariamente deberá ser continua y derivable. Sin embargo, se puede adoptar la función paramétrica (2). EcoWin también permite introducir la función económica en forma discreta, proporcionando los datos de varios puntos en forma de valores ordenados x, y .

Para la ejecución de EcoWin se precisan los siguientes elementos:

1. Un esquema completo del sistema hídrico modelado con SimGes;
2. El archivo ejecutable;
3. El archivo con la información de la ruta del esquema a simular;
4. Los archivos con la información económica del sistema por analizar.

Para la caracterización económica del sistema se asocian funciones económicas a los distintos elementos modelados, que expresan el coste/beneficio marginal para el sistema de los distintos niveles de flujo o suministro a cada elemento. Para el cálculo del CMOR 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 extraer) 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.

La idea básica es calcular el coste marginal del recurso mediante un cociente de diferencias (figura 2) El numerador contiene la diferencia entre los beneficios económicos netos ($BA_{\text{caso modificado}} - BA_{\text{caso base}}$) y en el denominador se encuentra una diferencia de volúmenes de agua ($\Delta = V_m - V_b$).

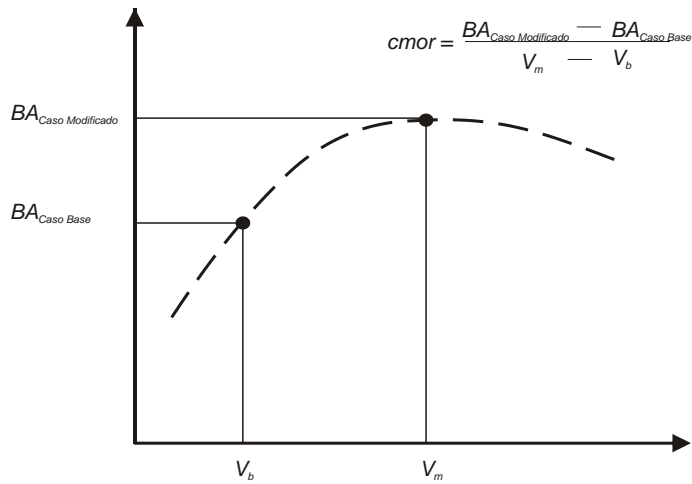


Figura 2. Aproximación del CMOR mediante simulación
Fuente: Collazos (2004)

El cociente entre la variación de beneficio económico y la variación de caudal es una aproximación al CMOR (sólo se puede hablar estrictamente de coste del recurso en un sistema optimizado económicamente), y se expresa:

$$CMOR = \frac{BA_{CasoModificado} - BA_{CasoBase}}{\Delta_{volumen}} \quad (3)$$

Conocida la asignación del recurso y conocidas las funciones económicas se calcula el beneficio asociado. El diagrama de flujo para el cálculo del CMOR en los nudos del sistema (Collazos, 2004) es el mostrado en la figura 3.

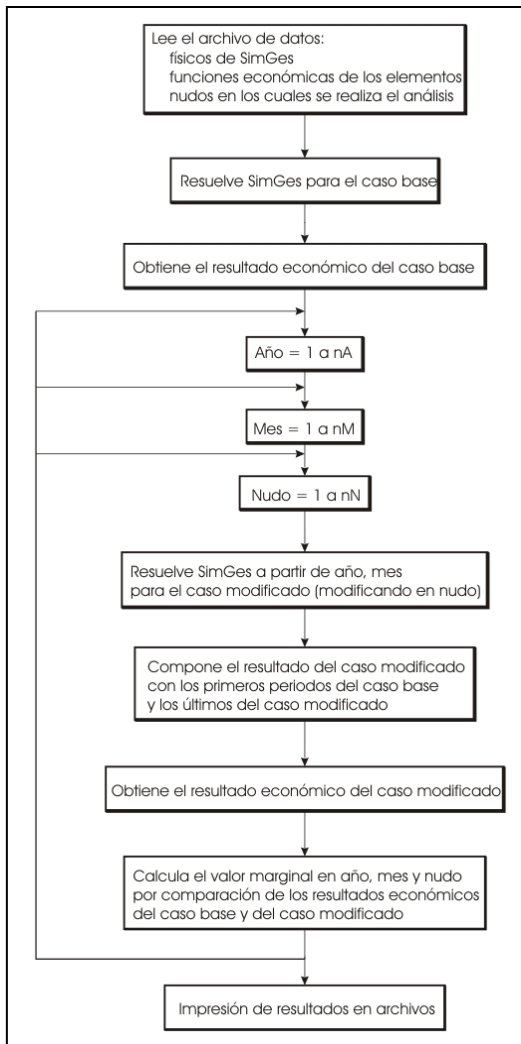


Figura 3. Diagrama de flujo para calcular el CMOR
Fuente: Collazos (2004)

EcoWin, está dividido en dos partes fundamentales: una parte matemática, encargada de realizar todas las operaciones lógicas y matemáticas, y otra parte de interacción con el usuario (interfaz gráfica) para la introducción de parámetros y visualización de resultados.

La parte matemática está escrita en lenguaje Fortran. La interfaz gráfica está escrita en lenguaje Visual Basic. Es natural haber elegido este programa ya que es un lenguaje orientado a objetos que permite crear formularios “amigables” para el usuario, con las clásicas ventanas, botones, cuadros de selección, etc. usuales en entorno Windows.

Las dos partes del programa comentadas anteriormente tienen un punto de conexión conformado por una serie de archivos, tanto de entrada de parámetros como de salida de resultados.

Generalmente el usuario utilizará la interfaz gráfica para la entrada de parámetros y visualización de resultados. Juntamente con ello, es necesario utilizar el módulo de cálculo, denominado “Evaluador Económico”. El Evaluador Económico es un programa que realiza la evaluación económica de los sistemas de recursos hídricos. Está compilado en Fortran 90 y se desarrolló en el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la UPV (Collazos 2004). El autor lo denominó en un principio Gestal y a la interfaz gráfica que utiliza, se le llama EcoWin.

Al iniciar la ejecución de EcoWin, aparece una ventana inicial vacía. Es necesario abrir el proyecto o esquema SimGes. Una vez abierto éste (figura 4) se abre la ventana de captura de los datos económicos (figura 5) en la cual se introducen los valores de las funciones de demanda, ya sea en forma escalonada o como función continua, previamente calculada por el usuario.

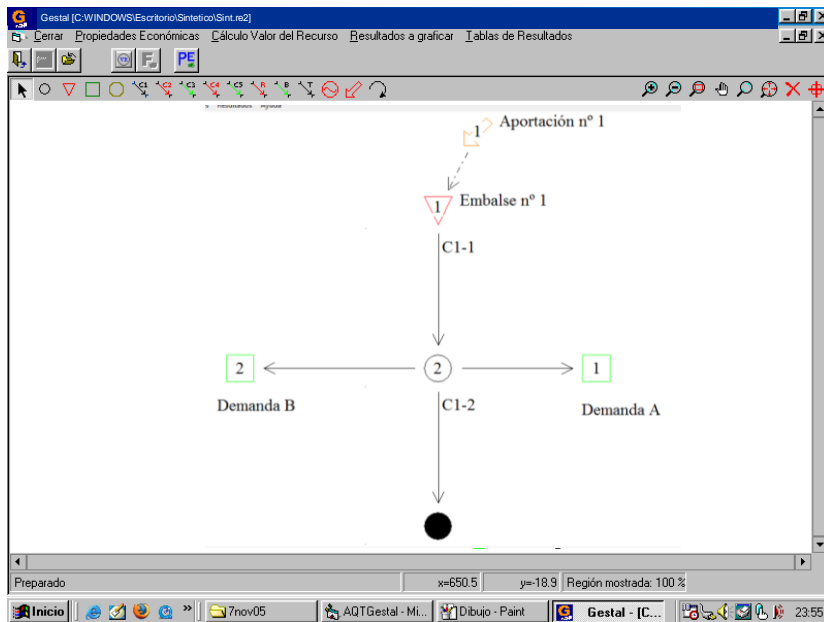


Figura 4. Ventana inicial de EcoWin

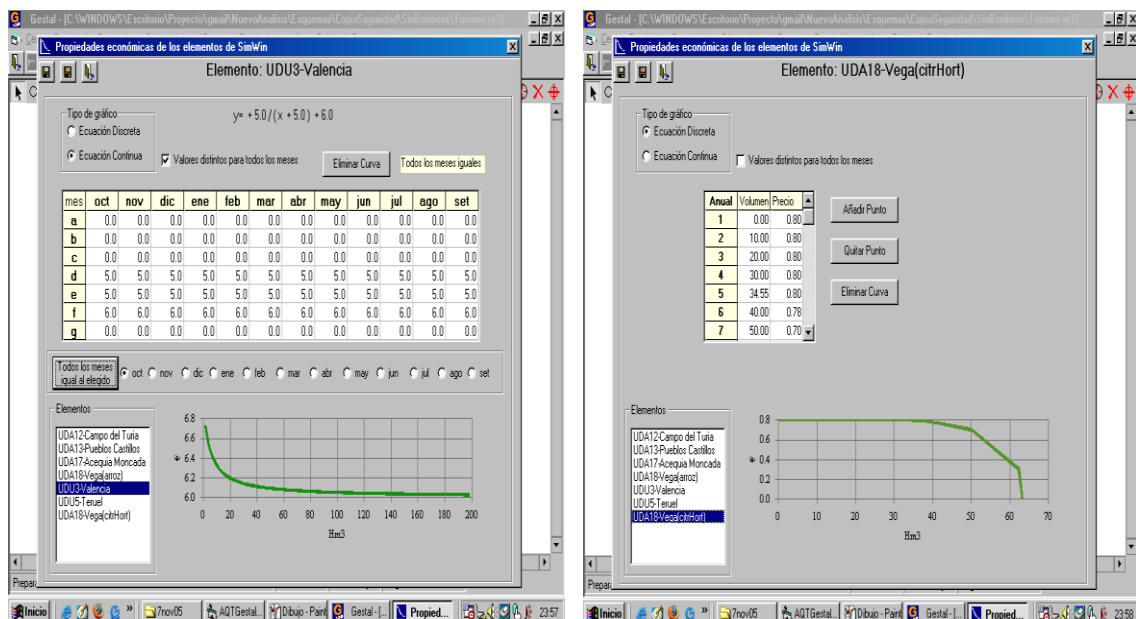


Figura 5. Ventana de captura de curvas de demanda.

Finalmente, los resultados se presentan en una tabla de resultados, los cuales pueden exportarse a formato de Excel para generar los gráficos correspondientes (figura 6).

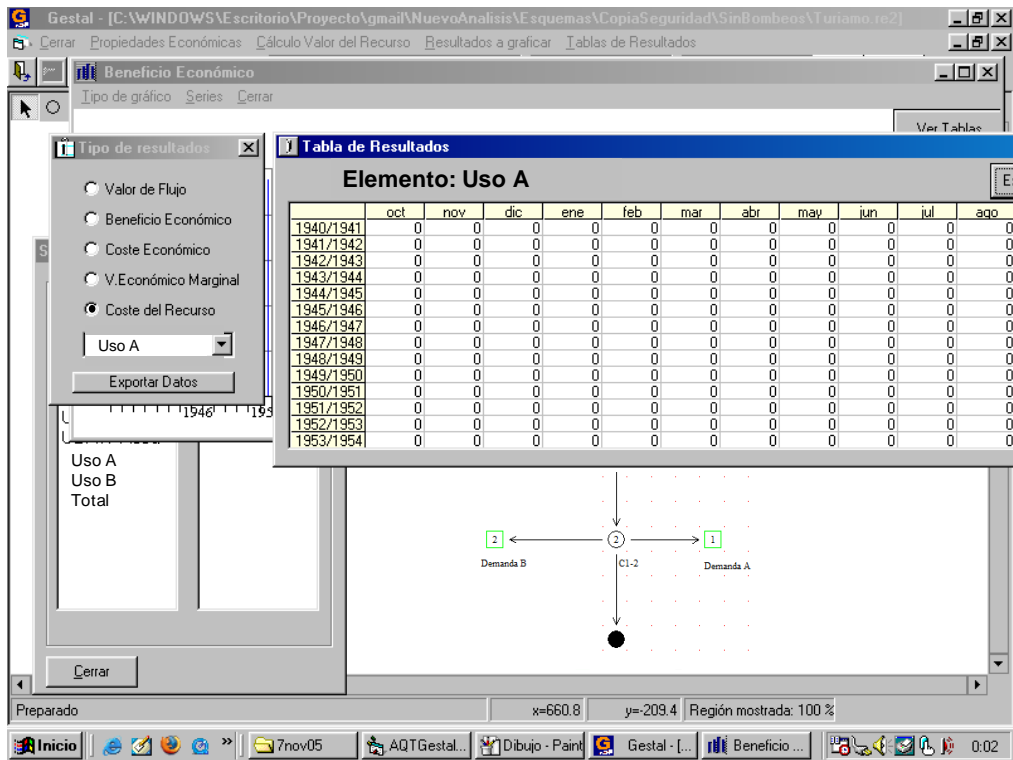


Figura 6. Ventana con los resultados del cálculo del CMOR

Desarrollo de un modelo hidroeconómico del río Mijares para la aplicación de la metodología descrita.

Descripción del sistema

Se presenta una breve descripción del sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón considerando los siguientes aspectos: extensión territorial, rasgos geográficos y climáticos, recursos hídricos, usos del agua y la infraestructura hidráulica.

Extensión territorial

El sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón se encuentra ubicado en la vertiente oriental de la Península Ibérica vertiendo al mar Mediterráneo, y pertenece al ámbito territorial de la CHJ (figura 7). Se encuentra situado en las provincias de Teruel y Castellón. No sólo 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 litorales comprendidas entre Benicasim (incluyendo su término municipal) y el límite provincial entre Castellón y Valencia. La superficie total comprendida por este sistema es de 5.466 km² (CHJ, 1997).

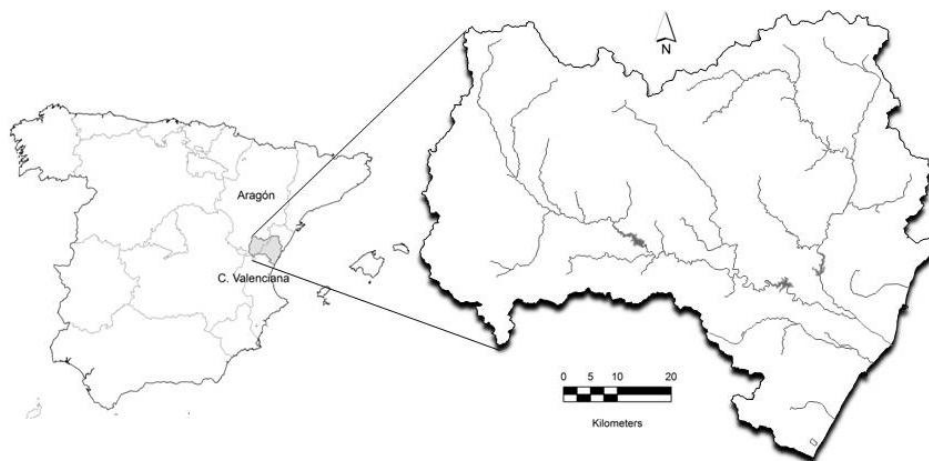


Figura 7. Ubicación geográfica del SRH del río Mijares
Fuente: CHJ (1997) y elaboración propia

Rasgos geográficos y climáticos

La altitud máxima del Sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón se alcanza en el nacimiento del río Albetosa (2024 msnm). El nacimiento de la Rambla de la Viuda también se produce a cotas elevadas (1814 msnm) estando la confluencia con el río Mijares a la cota 35 msnm (CHJ, 1997).

En el sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón se diferencian dos zonas geográficas climatológicamente distintas: una zona costera con un clima litoral mediterráneo y otra aguas arriba del embalse de Arenós, asimilable a un clima de transición al tipo continental. La precipitación media anual de la zona es de 505 mm y la temperatura media de 14,4 °C.

Recursos hídricos

La red hidrográfica del sistema del río Mijares (figura 8) está constituida por el cauce del propio río Mijares y sus afluentes, principalmente de los ríos Villahermosa y Rambla de la Viuda, además de una serie de ríos de menor importancia tributarios por su margen izquierda. Constituyen parte del sistema del río Mijares los ríos Seco, Veo y Belcaire. El río Villahermosa discurre durante su trayecto de 60 km paralelo al Mijares y encajonado al pie de Peñagolosa. Su pendiente es muy fuerte y recibe importantes aportaciones tanto superficiales como subterráneas. La cuenca de la Rambla de la Viuda, de gran extensión, se sitúa paralela a la costa y drena los valles interiores de la provincia de Castellón, presentando un régimen muy irregular con períodos muy secos y fuertes avenidas. Este régimen irregular se explica por estar situado el nivel freático regional por debajo del cauce, por lo que se produce una fuerte infiltración que deja el cauce seco salvo en los grandes temporales de otoño. Las aguas superficiales de la Rambla de la Viuda se regulan en el Embalse de María Cristina. Las aguas del embalse contribuyen a la recarga de los acuíferos de La Plana. Por este motivo, desde la presa de María Cristina hasta su desembocadura en el río Mijares, el cauce de la Rambla de la Viuda permanece seco (CHJ, 1997).

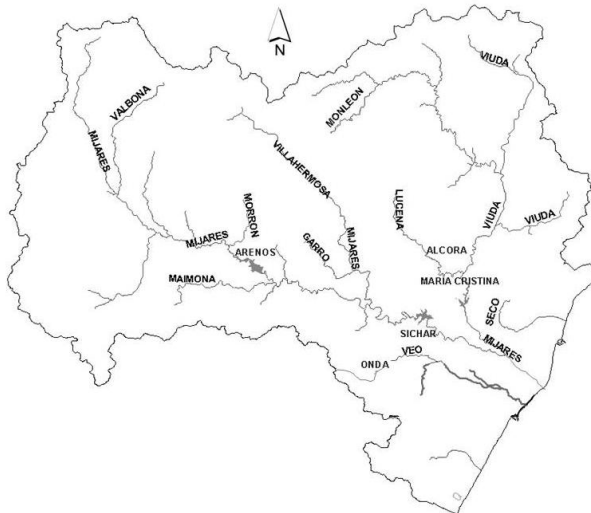


Figura 8. Red hidrográfica del sistema del Mijares
Fuente: CHJ (1997) y elaboración propia

Las características más importantes de los cauces que conforman al sistema Mijares-Plana de Castellón, se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 1 Características de los cauces del sistema Mijares-Plana de Castellón

CUENCA	LONGITUD (Km)	SUPERFICIE (Km²)	COTA MÁXIMA (msnm)	COTA MÍNIMA (msnm)
Río Belcaire	18,2	103,4	877	0
Río Seco	26,0	94,30	729	0
Río Veo	42,0	238,70	1103	0
Río Mijares	156,0	4028,20	2024	0
Villahermosa	59,0	449,90	1997	245
Rambla la viuda	81,0	1510,30	1814	35

El papel de las aguas subterráneas en el sistema de recursos hídricos de la cuenca del río Mijares es fundamental. Sin ellas sería imposible alcanzar el grado actual de aprovechamiento de los recursos. Aunque no existe conexión hidráulica entre el acuífero y el río, el uso conjunto es un elemento fundamental en la estrategia de gestión del sistema. Sin embargo hay que destacar la importancia del uso conjunto por dos grandes problemas que se han detectado en la zona: por un lado el conflicto existente entre los diferentes usos del agua, especialmente entre riego e hidroelectricidad, y por el otro la sobreexplotación del acuífero que se produce en la zona baja de La Plana de Castellón que ha provocado intrusión salina en diferentes pozos del acuífero costero (Andreu y Sahuquillo, 1987).

La explotación de las aguas subterráneas aumenta en los años más secos, mientras que en los años más húmedos se riega con aguas superficiales la mayor extensión posible de tierras dominadas por acequias y canales. En un estudio previo se dispone de un modelo del acuífero mediante diferencias finitas. Este modelo se ha transformado en un modelo de autovalores para su incorporación en el modelo global de simulación del sistema, y un modelo complementario para estudiar la intrusión marina en el acuífero de La Plana con mayor detalle. Se llegó a la conclusión de la necesidad de aumentar el uso de agua superficial para los riegos de la Cota 100, como forma de controlar las importantes salidas superficiales al mar, y aumentar los bombeos en los riegos tradicionales, al menos en determinados períodos y situaciones, para disminuir las salidas subterráneas al mar y aliviar los problemas de drenaje en la zona de Burriana.

Las Unidades Hidrogeológicas que se adscriben al Sistema de Explotación Mijares-Plana de Castellón (CHJ, 1997) son las siguientes, aunque no de manera exclusiva (figura 9):

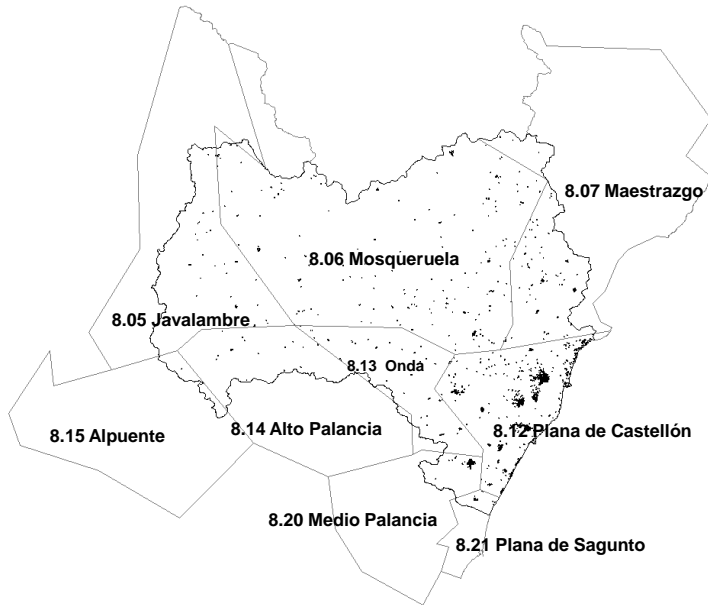


Figura 9. Unidades Hidrogeológicas en Mijares Plana de Castellón
Fuente: Confederación Hidrográfica del Júcar (1997) y elaboración propia

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

Tabla 2 Balances de las unidades hidrogeológicas

NOMBRE UNIDAD	ENTRADAS			SALIDAS	DIFERENCIA (hm ³)
	Recarga lluvia	Infiltración de riego	Transferencias laterales	Bombeos	
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
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

Fuente: CHJ, 1997

Usos del agua

La demanda global del sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón alcanza un valor de 305 hm³ anuales, de los que 232 corresponden al uso agrícola, 68 al abastecimiento urbano y 5 a la demanda industrial (CHJ, 1997). El uso agrícola representa el 76% de la demanda total. Le sigue en importancia el

uso urbano, el cual demanda el 22% del total del recurso, mientras que el uso industrial y de servicios demanda únicamente el 1,6% del total (figura 10).

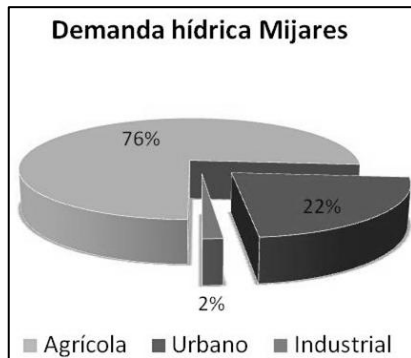


Figura 10. Demandas totales del sistema Mijares-Plana de Castellón
Fuente: Confederación Hidrográfica del Júcar (1997) y elaboración propia

Infraestructura hidráulica

La conexión entre los recursos y los usos se produce mediante un sistema de infraestructura hidráulica de: captación, transporte, almacenamiento, depuración, potabilización y defensa.

Los principales embalses del sistema Mijares-Plana de Castellón (figura 11), son los siguientes:

- Arenós (130 hm³) y Sichar (52 hm³), en el río Mijares;
- María Cristina (28 hm³), en la rambla de la Viuda;
- Alcora (2 hm³), en el río Lucena.

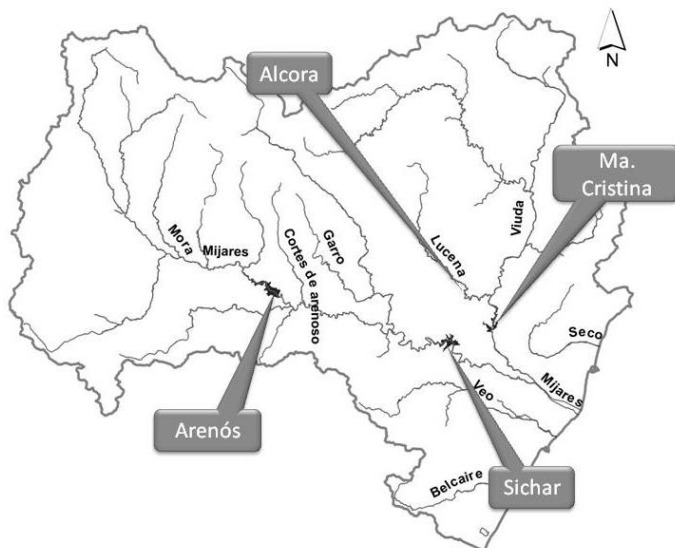


Figura 11. Principales embalses del sistema Mijares-Plana de Castellón
Fuente: CHJ (1997) y elaboración propia

Además de la infraestructura mencionada el Sistema Mijares-Plana de Castellón cuenta con pequeños embalses de poca capacidad que se utilizan para generación de energía hidroeléctrica y distribución de agua a las acequias de regantes. Otros elementos de la infraestructura son: una importante red de canales y azudes que suministran el agua a diferentes tomas de riego; campos de

pozos; piscifactorías; centrales hidroeléctricas; estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs) y redes de medida y control. La información detallada de esta información puede consultarse en la página web de la Confederación Hidrográfica del Júcar (<http://www.chj.es>).

Modelo de gestión del sistema

A continuación se presenta la descripción del modelo de la simulación de la gestión de la cuenca del río Mijares y se incluyen los aspectos siguientes: representación del sistema superficial; representación del sistema subterráneo; representación de las demandas; aportaciones; definición de prioridades en la gestión; y la descripción de escenarios de simulación de la gestión.

Sistema superficial.

El sistema superficial está representado, de acuerdo con los lineamientos del Sistema Soporte a la Decisión Aquatool, por diferentes tipos de conducciones: tipo 1, tipo 2 y tipo 3 (figura 12); embalses y azudes (Sopeña, 2002).

Conducciones tipo 1. Corresponde a una conducción simple, sin filtraciones. Este tipo de conducción se asignó a los siguientes tramos de ríos:

- Río Mijares, aguas abajo del embalse Arenós hasta la confluencia con el río Villahermosa.
- Río Mijares, aguas abajo del embalse Sichar por un corto tramo.
- Río Villahermosa.
- Río Lucena.
- Rambla de la Viuda.
- Río Mijares poco antes de su confluencia con la Rambla de la Viuda y hasta su desembocadura al Mediterráneo.

Conducciones tipo 2. Son aquellas que presentan pérdidas por filtración en el cauce. Este tipo de conducción se asignó al tramo del río Mijares aguas abajo del embalse Sichar (después del tramo con conducción tipo 1) y hasta un poco antes de la confluencia con la Rambla de la Viuda.

Conducciones tipo 3. Corresponde a una conducción que presenta conexión hidráulica con un acuífero. Este tipo de conducciones se asignó al tramo del río Mijares aguas abajo de la confluencia con el río Villahermosa y hasta el embalse Sichar.

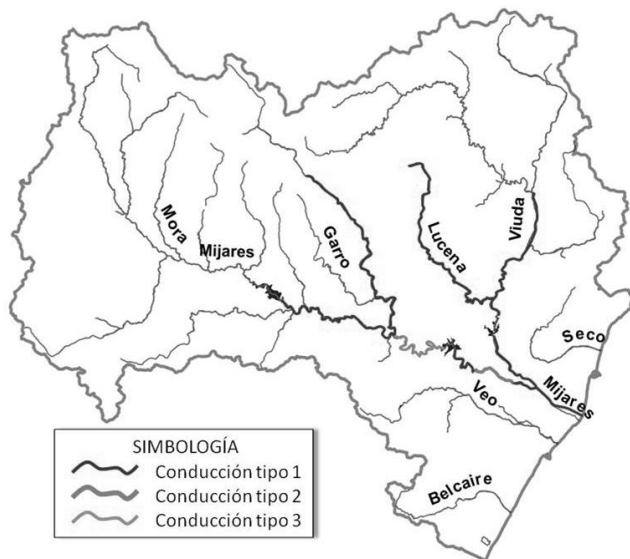


Figura 12. Definición del tipo de conducción en el modelo de gestión
Fuente: Confederación hidrográfica del Júcar (1997) y elaboración propia

En el tramo final, el río recarga al acuífero, produciéndose importantes pérdidas por filtraciones en el cauce. El primer tramo del río desde la salida del embalse Sichar presenta fuertes filtraciones; este hecho propició la construcción del denominado *Tramo Común* cuya toma se localiza inmediatamente aguas abajo del reintegro de la central hidroeléctrica de Colmenar. El *Tramo Común* es un canal artificial situado en la margen izquierda del cauce que permite alimentar el Canal de la Cota 100 y el Canal de enlace de los riegos de M^a Cristina sin que se produzcan pérdidas por filtraciones. 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 (figura 13). Las filtraciones en este primer tramo se estiman en unos 200 l/s (CHJ, 1997), unos 0,527 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.

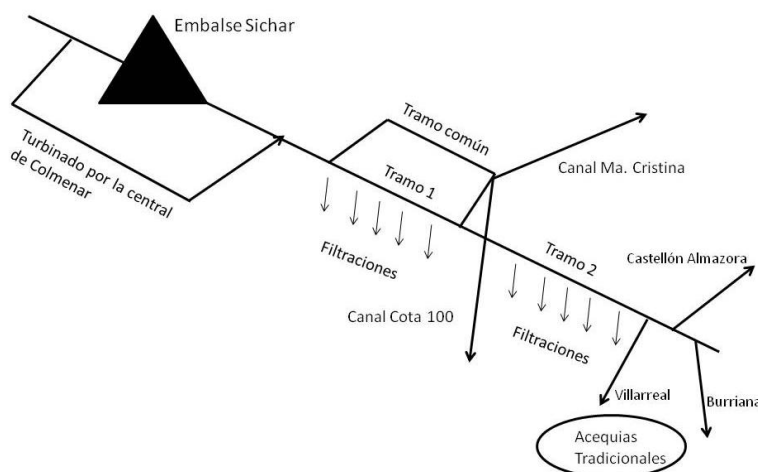


Figura 13. Esquema del tramo final del Mijares
Fuente: Confederación Hidrográfica del Júcar (1997) y elaboración propia

Embalses y azudes. Este tipo de infraestructura se corresponde a los elementos de regulación y almacenamiento del sistema, y en total son tres embalses y un azud (Alcora) los representados.

Sistema subterráneo.

Los acuíferos han sido considerados, en este caso, exclusivamente como depósitos de agua no conectados hidráulicamente con el sistema superficial, y cuyo objetivo es contar con una unidad de estado que indica el llenado y vaciado (volumen almacenado).

Demandas

Las principales demandas representadas en el modelo corresponden a los usos descritos anteriormente. Cada demanda se denomina como Unidad de Demanda (UD) relativa al uso que tiene: agrícola (UDA); urbana (UDU) e industrial (UDI). Sin embargo, para el análisis del sistema se consideraron exclusivamente las demandas principales: agrícola y urbana. El uso agrícola es el que demanda un mayor volumen del sistema hídrico superficial, mientras que el abastecimiento urbano en su totalidad se hace por medio de la explotación de aguas subterráneas.

Demanda agrícola. Las catorce UDAs que forman parte del ámbito del sistema de explotación del río Mijares (figura 14), se han agrupado de acuerdo a su ubicación geográfica, su sistema de explotación y el origen del recurso.

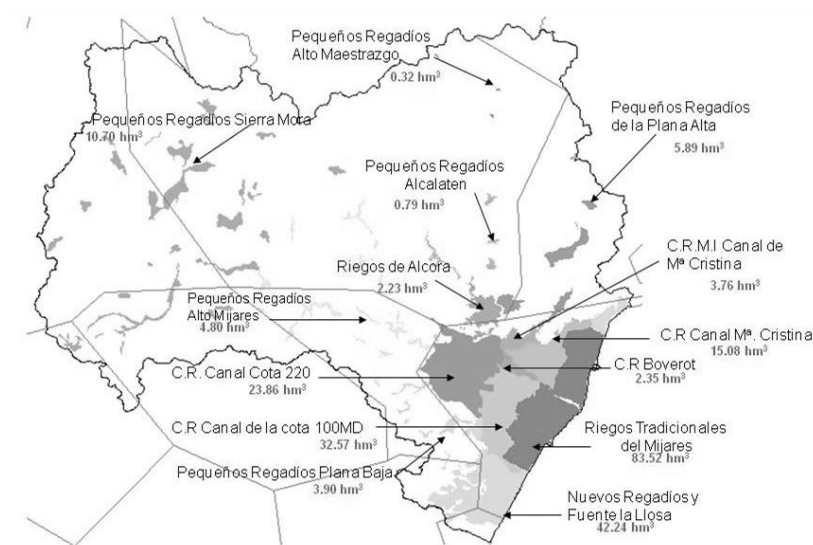


Figura 14. Unidades de demanda agrícola del sistema del río Mijares
Fuente: Confederación Hidrográfica del Júcar (1997) y elaboración propia

La distribución mensual de cada una de las demandas se estimó considerando una hectárea representativa y utilizando los porcentajes indicados en los informes del CEDEX (1991), (figura 15).

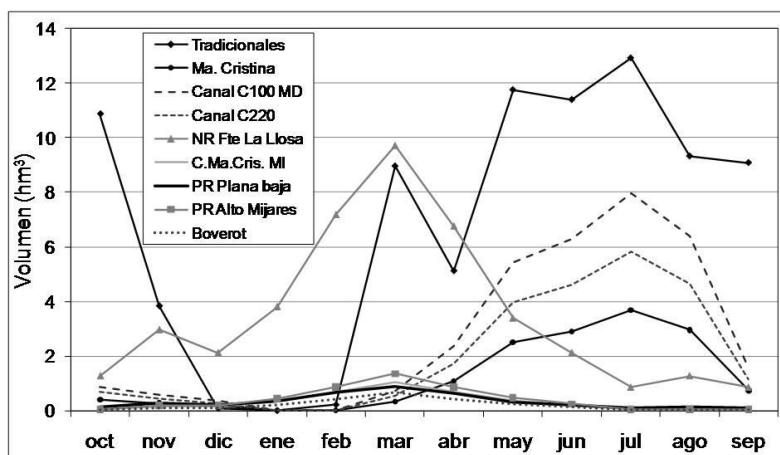


Figura 15. Distribución mensual de la asignación del agua en las demandas agrícolas

Demanda urbana. La demanda urbana fue considerada tomando 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 (UHG), se muestra en la tabla 3 y corresponde a la suma de demandas de los municipios que se encuentran en cada UHG.

Tabla 3 Demanda urbana anual por UHG

UHG	Demanda (hm ³)
8.05	0,27
8.06	3,35
8.07	1,13
8.12	57,00
8.13	1,39
8.14	0,13
8.15	0,01
8.20	3,56
8.21	0,63
TOTAL	67,47

Aportaciones.

Las series de aportaciones restituidas a régimen natural que se han utilizado para definir las aportaciones intermedias que se introducen en el modelo son las incluidas en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Júcar, ampliadas hasta el año 2002 con datos del seguimiento y revisión del mismo plan. De esta forma se cuenta con las series completas de los años hidrológicos 1940-1941 a 1999-2002 (Sopeña, 2002). Estas series proporcionan el caudal circulante a su paso por las estaciones de control, en hm³/mes, restituido al régimen natural. Las series de aportaciones fueron asignadas para: (1) las entradas al embalse de Arenós; (2) las aportaciones intermedias Arenós-Sichar; (3) las entradas al embalse de María Cristina y (4) las entradas al embalse de Alcora (figura 16).

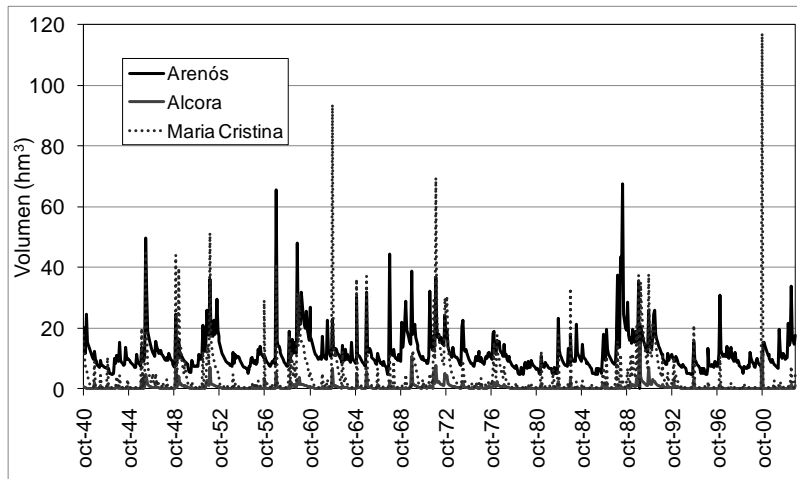


Figura 16. Series restituídas a régimen natural en escala mensual
Fuente: Sopeña, 2002

Reglas de operación.

Las aguas de la comarca de la Plana, especialmente las del río Mijares, han sido siempre objeto de disputa por parte de las diferentes poblaciones desde el siglo XIII hasta la actualidad. Las poblaciones de Burriana, Almazora, Castellón y Villarreal, desde el siglo XIII, después de la conquista cristiana del territorio, monopolizaron el uso de las aguas del río Mijares, al aprovechar buena parte del preexistente sistema musulmán de regadíos. Con el paso del tiempo otras poblaciones se consideraron con los mismos derechos para una utilización que la historia les había negado sistemáticamente. Esto fue motivo de disputa durante ocho siglos (Sopeña, 2002). Por tales circunstancias, se elaboró el *Convenio de bases para la ordenación de las aguas del río Mijares* en el año de 1970. Este documento marca un hito en la ordenación de la cuenca pues ha puesto fin a los litigios entre comunidades. El Convenio consta de una relación detallada de los distintos aprovechamientos con determinación de la clase y cuantía de los mismos, superficie regable de cada uno y otras características.

Como resultado de dicho Convenio, la gestión del sistema se realiza mediante una regla de explotación determinista (figura 17). 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 febrero de 36 hm^3 . 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 reserva 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 modificar la curva de reserva, adicionando 5 hm^3 durante todos los meses.

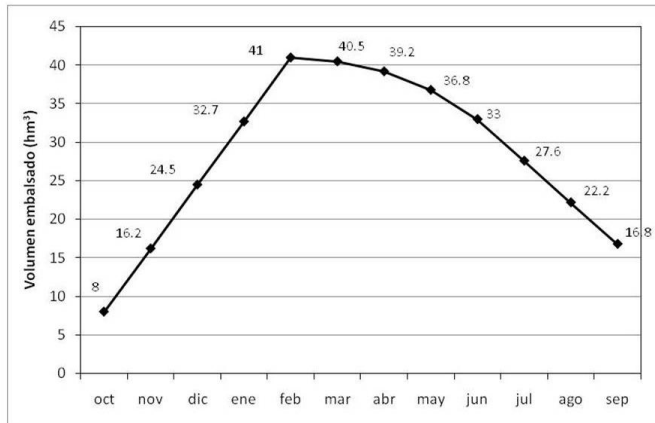
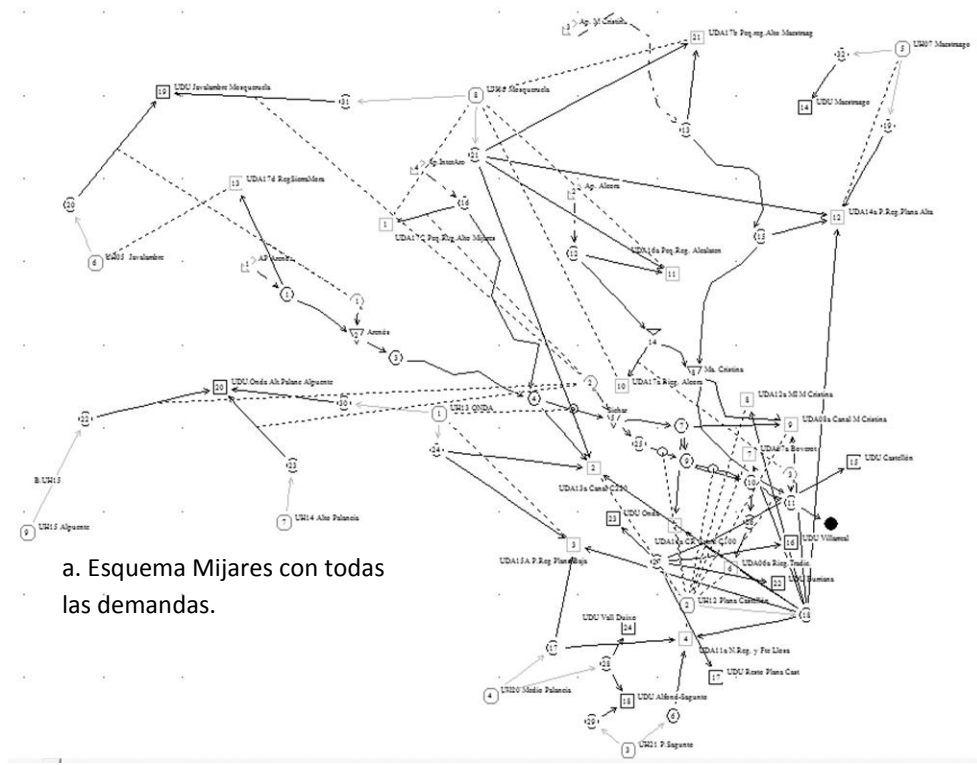
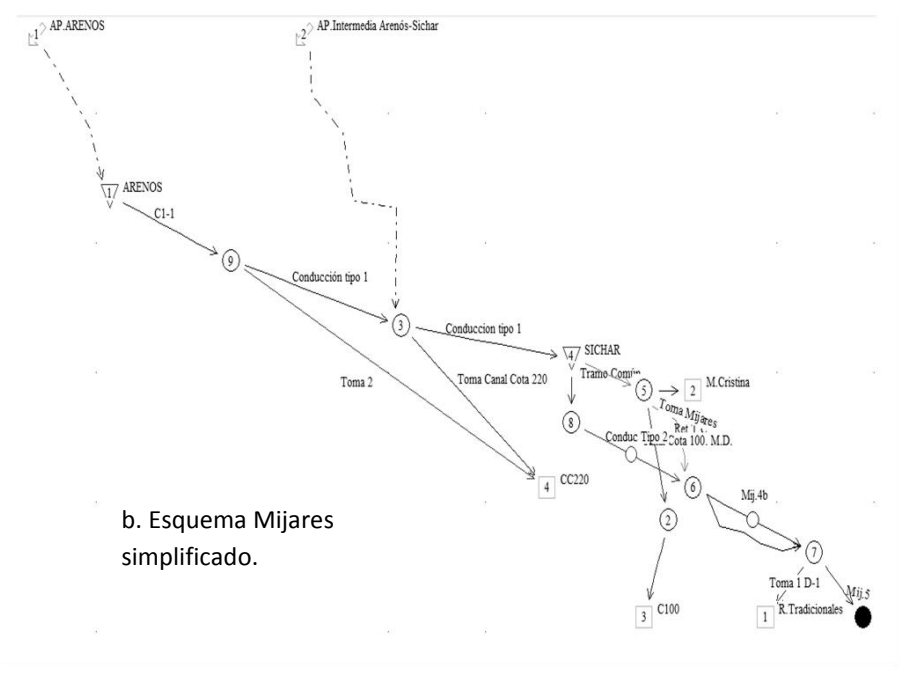


Figura 17. Curva de reserva del Convenio 1970
Fuente: CHJ (1997), modificada por Sopeña, 2002

La simulación de la gestión del sistema del Mijares se llevó a cabo para el total de las demandas indicadas anteriormente (figura 18a). Sin embargo, para realizar el análisis de políticas de precios se utilizó un esquema más sencillo con el fin de simplificar los cálculos (18b). Dicho esquema consistió en utilizar exclusivamente las demandas agrícolas de los riegos Tradicionales y la de los Riegos Mixtos que se dividen en las demandas de: M^a Cristina, Canal Cota 100 y Canal Cota 220 (Sopeña, 2002) actualizándose de acuerdo con los últimos datos disponibles en la Confederación Hidrográfica del Júcar (2006). Los valores de las demandas superficiales para el caso de los Riegos Mixtos, se consideraron como el 50% de la superficial, debido al tipo de concesión utilizado por la CHJ (las demandas hídricas para los riegos considerados en el esquema simplificado se pueden ver en la figura 15). Para no complicar el modelo durante el análisis de políticas de precios, tampoco se consideró el acuífero de la Plana pues no hay conexión directa entre el río y el acuífero. Únicamente se introdujo como filtraciones en el tramo final del modelo. De igual manera no se incluyen las centrales hidroeléctricas, ya que las sueltas de agua están supeditadas a los riegos. Tampoco se han incluido las demandas urbanas ya que éstas son abastecidas por el acuífero de la Plana.



a. Esquema Mijares con todas las demandas.



b. Esquema Mijares simplificado.

Figura 18. Esquemas correspondientes al modelo de simulación de la gestión del sistema del río Mijares

Caracterización económica del sistema.

A continuación se presenta la descripción de las curvas de demanda económica y el resumen de los costes variables de operación que se tomaron en cuenta para el análisis económico.

Curvas de demanda económica.

Demanda agrícola.

El Plan Hidrológico Nacional (MIMAM, 2002) identificó cinco grandes zonas en España caracterizadas por: una estructura productiva común; (la especialización de cultivos; y una estructura socioeconómica similar. Entre ellas está la de Castellón. Los datos disponibles de precios por $m^3/ha/año$ y ponderados correspondientes a la provincias de Castellón, Vall d'Uxó y Onda Canal 220, se ajustaron a una curva LOWESS (Cleveland y Devlin, 1988) no paramétrica (Figura 19), con objeto de obtener una función que caracterice la región bajo análisis.

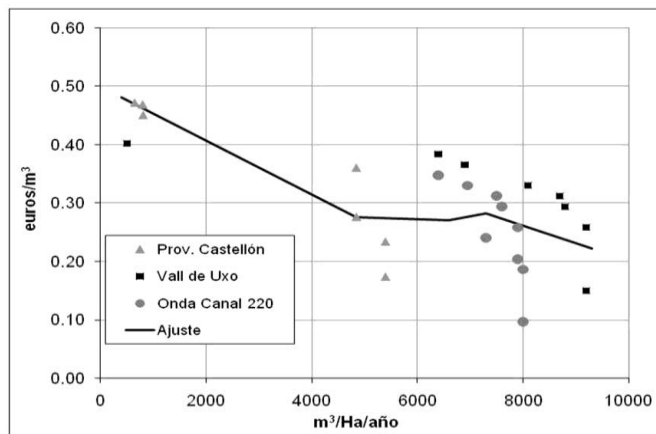


Figura 19. Curva de demanda ajustada para la zona de Castellón

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. Las curvas de la figura 20 realizadas para diferentes regadíos de la Comunidad Valenciana (Sumpsi et al, 1998) muestran los efectos sobre la renta agraria (miles de pts/ha) de imponer nuevas tasas del agua (pts/m^3) en algunas zonas regables de la cuenca del Júcar. En los tramos iniciales de la curva de demanda, que son totalmente inelásticos, la pérdida de renta del agricultor se debe exclusivamente a la dotación inicial de agua al suponer que nuevas tarifas se pagan por el volumen de agua consumida. Esto sucede porque los agricultores no siguen alguna estrategia para ahorrar agua, aunque pierden renta al pagar más por la dotación inicial. Se aprecia que las mayores pérdidas de renta agraria se producen en la Comunidad de regantes de la Acequia Real del Júcar.

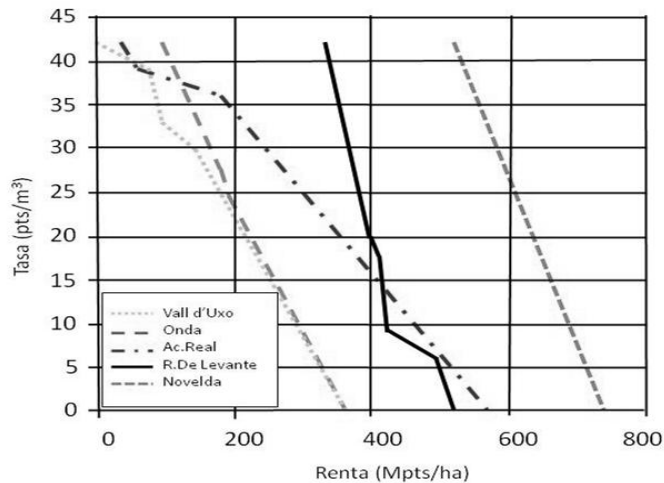


Figura 20. Efectos sobre la renta agraria
Fuente: Sumpsi et al. (1998)

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, y posteriormente en los trabajos de Blanco (2008) e Iglesias y Blanco (2008) han 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. Estas curvas se han obtenido mediante la técnica de Programación Matemática Positiva (PMP), desarrollada inicialmente por Howitt (1995). Este método supera algunas limitaciones importantes de la programación matemática tradicional. Una gran ventaja de este enfoque es que se rescata la información adicional de los datos observados en el comportamiento de los agricultores, lo que permite una interpretación teórica de los datos observados en una situación real. Además el método permite utilizar menor cantidad de datos con un modelo que considera los cambios graduales de las variables exógenas.

Como ejemplo, se muestra la curva correspondiente a los riegos tradicionales (figura 21). Según Sumpsi et al. (1998), en las UDAs del Mijares, tanto la existencia de prácticamente un monocultivo (cítricos) como 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 baja elasticidad en las curvas de demanda.

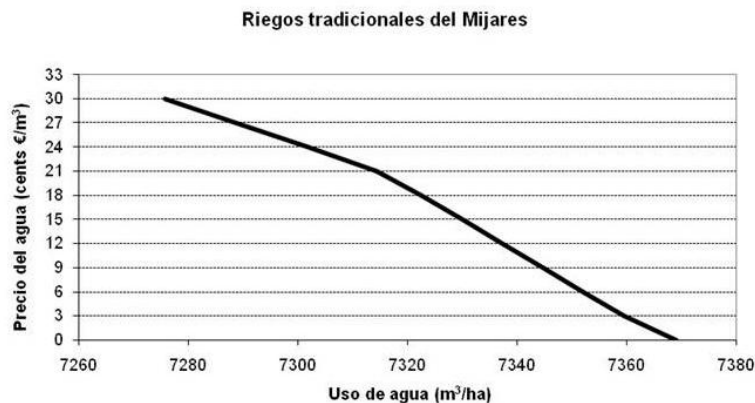


Figura 21. Ejemplo de una curva de demanda económica
Fuente: Ministerio del Medio Ambiente (grupo análisis económico, sin publicar)

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 del presente 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 22) con base a ciertas hipótesis.

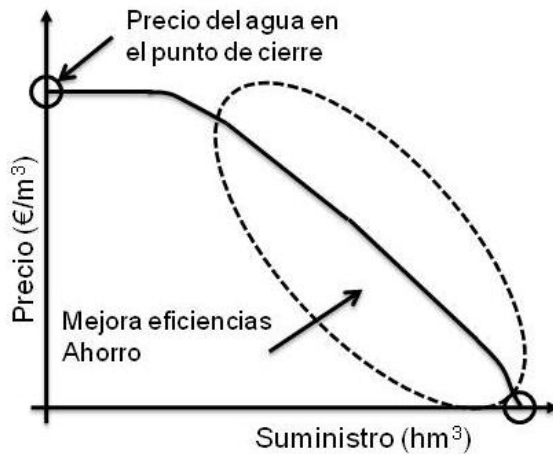


Figura 22. Consideraciones en las curvas de demanda

El punto de corte con el eje de abscisas corresponde a la dotación 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. Con eficiencias altas, aumenta el valor económico unitario del agua (mayor producción neta por m³ utilizado).

Se selecciona un precio del agua en el punto de cierre de la curva, que para los cítricos ronda los 0,70 €/m³ en la mayoría de las fuentes consultadas (ej. Colino y Martínez, 2002). El precio de cierre representa el nivel del precio del agua en el que, *ceteris paribus*, los costes 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).

Con lo anterior, las curvas de demanda utilizadas en el análisis económico toman la forma de la mostrada en la figura 23 como ejemplo. En esa figura se observa la curva de demanda en las modalidades de dotación (m³/ha-año) y demanda volumétrica (hm³/año).

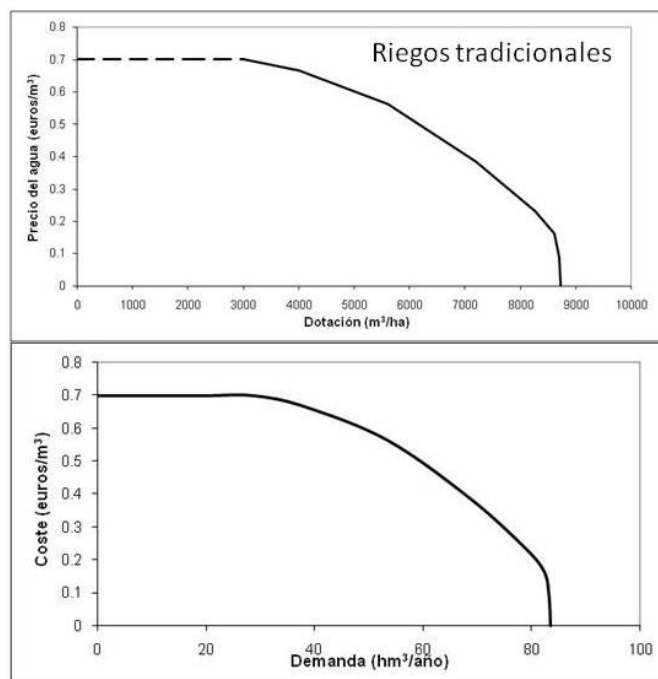


Figura 23. Ejemplo de curva de demanda económica completa
Fuente: MMA (2000) y elaboración propia

Demanda urbana.

Los servicios de agua urbana en la Demarcación Hidrográfica del Júcar (DHJ, en adelante) 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 2005 se estima en un 95% (CHJ, 2005).

El coste unitario por metro cúbico facturado de estos servicios se ha estimado en 1,06 € (CHJ, 2005), cifra que se ha adoptado como precio medio al nivel de consumo actual para las UDUs modeladas (figuras 24. 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.

Las curvas de demanda urbana para el sistema del río Mijares se determinaron con base en funciones de Cobb-Douglas usando una elasticidad-precio constante de -0,65.

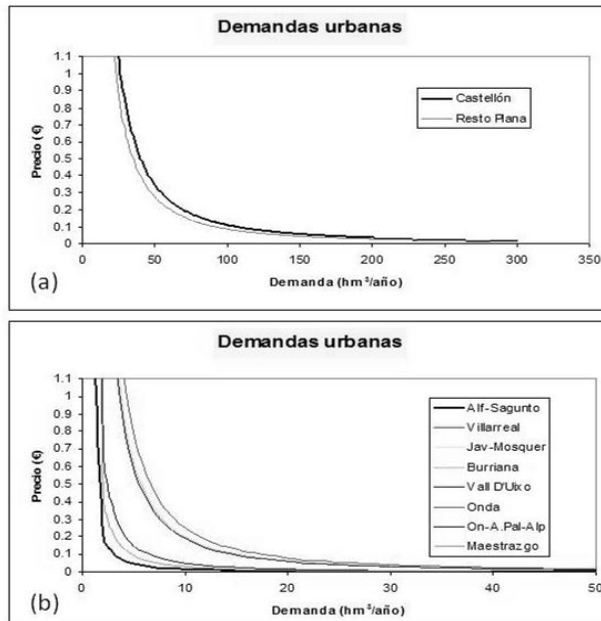


Figura 24. Curvas de demanda urbana
Fuente: CHJ y elaboración propia

En las curvas de la figura 24, se observa que la elasticidad-precio es negativa (disminuyen los consumos al aumentar el precio) y las demandas son inelástica en los rango de demanda menores a 50 hm^3 en las curvas de la figura 24a y 3 hm^3 en las curvas de la figura 24b.

Costes variables de operación del agua subterránea.

Los costes variables de operación corresponden a los costes de bombeo, los cuales corresponden a los reportados en el Informe Técnico del Coste del Uso de Aguas Subterráneas en España (DGHO, 2003). 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 $\text{hm}^3/\text{año}$ para las 41 unidades hidrogeológicas. Los costes de extracción del agua subterránea, para las Unidades Geohidrológicas que forman parte del Sistema del río Mijares, se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Costes de extracción del agua subterránea. Mijares

Unidad Hidrogeológica		Coste (€/m ³)		Coste total (€)		
		Abast.	Riego	Abast	Riego	Total
8.05	Javalambre	0,07		137,992		137,992
8.07	Maestrazgo	0,06	0,09	120,747	1.086,726	1.207,473
8.12	Plana de Castellón	0,05	0,08	2.017,598	7.413,501	9.431,099
8.13	Onda	0,12	0,24	736,171	490,781	1.226,952
8.20	Medio Palancia	0,08	0,13	152,352	3.047,035	3.199,387
8.21	Plana Sagunto	0,04	0,07	126,009	3.343,449	3.469,458