



Título del Trabajo Fin de Máster:

***ANÁLISIS HIDROECONÓMICO DE LA
ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO
EN SISTEMAS DE GESTIÓN DE
RECURSOS HÍDRICOS. APLICACIÓN
A LA CUENCA DEL JÚCAR.***

Intensificación:

RECURSOS HÍDRICOS

Autor:

ESCRIVÀ I BOU, ÀLVAR

Director/es:

DR. PULIDO VELÁZQUEZ, MANUEL

DR. PULIDO VELÁZQUEZ, DAVID

Fecha: **SEPTIEMBRE DE 2012**

Título del Trabajo Fin de Máster:

ANÁLISIS HIDROECONÓMICO DE LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN SISTEMAS DE GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS. APLICACIÓN A LA CUENCA DEL JÚCAR.

Autor: **ESCRIVÀ I BOU, ÀLVAR**

Tipo	A <input type="checkbox"/> B <input checked="" type="checkbox"/>	Lugar de Realización	VALENCIA
Director	PULIDO VELÁZQUEZ, MANUEL	Fecha de Lectura	SEPT. 2012
Codirector1	PULIDO VELÁZQUEZ, DAVID		
Codirector2			
Tutor			

Resumen:

A pesar de las incertidumbres, hoy en día existe bastante consenso en que estamos dentro de un ciclo de cambio climático en que la actividad del hombre es la causa principal del mismo. El último informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático no habla de certeza, pero sí de una probabilidad del 90% de que esto sea así (IPCC, 2007). Además, los últimos estudios sobre cambio climático proyectan importantes disminuciones de los recursos en las cuencas mediterráneas, con importantes impactos ambientales, económicos y sociales (Iglesias et al., 2007).

Aunque cada vez existen más trabajos que analizan los impactos y las consecuencias que producirá el cambio climático en los recursos hídricos y en sus sistemas de gestión, hay pocos trabajos en la bibliografía que aborden la definición de posibles estrategias de adaptación y su análisis posterior. Es por ello que en el presente trabajo se desarrolla una metodología completa para tratar de definir y analizar hidroeconómicamente las estrategias de adaptación al cambio climático en los sistemas de gestión de recursos hídricos y se realiza la aplicación de esta metodología a la cuenca del Júcar.

En primer lugar se han obtenido las variables climáticas de todos los Modelos Climáticos Regionales del proyecto ENSEMBLES para la cuenca del Júcar y se han comparado con las series históricas existentes, seleccionando únicamente aquellos modelos que presentan un buen ajuste de las variables históricas. Posteriormente, con las predicciones futuras de estos MCRs se han generado series futuras de las variables climáticas a partir de la perturbación de las series históricas mediante una técnica de reescalado estadístico (Pulido-Velázquez, 2011).

El siguiente paso es el de ajustar un modelo lluvia-escorrentía pseudo-distribuido con el que obtener las aportaciones de los escenarios a partir de los datos climáticos futuros. A continuación se han estimado las demandas futuras a partir de proyecciones estadísticas de población —para las demandas urbanas— y a partir del cálculo de las demandas netas para los cultivos agrícolas en función de los datos climáticos futuros. Con las aportaciones y las demandas de los escenarios futuros se implementa un modelo de gestión de recursos hídricos (AQUATOOL) que se simula para cada uno de los escenarios propuestos —histórico, de corto plazo (2011-2040), de medio plazo (2041-2070) y de largo plazo (2071-2100)—, obteniendo resultados del sistema para cada uno de ellos. Con estos resultados, y mediante la definición de las funciones económicas de demanda se realiza un análisis hidroeconómico mediante el cual se obtienen los resultados del coste de escasez asociado a los déficits en las demandas.

Finalmente, a partir de los indicadores del estado del sistema en cada uno de los escenarios obtenidos a partir de la metodología definida por Pulido-Velázquez et al. (2011), se diagnostica el estado del sistema y se considera la necesidad de definir unas estrategias de adaptación, sobre todo para el escenario largo plazo, planteándose unas medidas concretas que son simuladas mediante el sistema de gestión de recursos hídricos y analizadas hidroeconómicamente.

ABSTRACT:

Despite the uncertainties, there is plenty of consensus today that we are inside a climate change cycle in which the human activity is the main cause of itself. The last report of the Intergovernmental Panel on Climate Change does not talk about certainty, but of a probability of 90% that it happens this way (IPCC, 2007). Moreover, the last studies on climate change project relevant reductions on resources in the Mediterranean basins, with important environmental, economic and social impacts (Iglesias et al., 2007).

Although the increasing number of reports that analyse the impacts and consequences that the climate change will produce in the hydraulic resources and their management systems, there are few works in the bibliography that take into account the definition of possible adaptation strategies and their later analysis. That is why the present work develops a complete methodology that tries to define and analyse hydro-economically the adaptation strategies on climate change of the water resources management systems and uses the Júcar basin as case study.

First of all, the climate variables of every Regional Climate Model of the ENSEMBLES project have been obtained for the Júcar basin and they have been compared with the existing historical series, choosing only those models that present a good statistical fitting with the historic values. Later, with the future prediction of those RCM the future series of the climate variables have been generated from the perturbation with a statistical re-scaling technique of the historical series (Pulido-Velázquez, 2011).

Next, a pseudo-distributed rainfall-runoff model has been adjusted with the future climate data in order to obtain the different scenarios inputs. Then, the future demands have been estimated from statistical projections on population – for urban demands - and from the calculation of the net demands for the agricultural crops, according to the future climate data. With the inputs and the future scenarios demands a water resources management model (AQUATOOL) is implemented. The model is run for every proposed historic scenario – short term (2011-2040), medium term (2041-2070) and long term (2071-2100) –, getting system results for each of them. With these results, and through the definition of the demand economic functions, a hydro-economic analysis is carried out. As a result, the costs of scarcity associated to the demand shortages are obtained.

Finally, from the system status indicators of each of the scenarios obtained according to the methodology established in Pulido-Velázquez et al. (2011), the system status is diagnosed and the requirement to define some adaptation strategies is considered, especially for the long term scenario. In this case, concrete measures are settled and simulated with the water resources management system and hydro-economically analysed.

RESUM

Tot i les incerteses, actualment existix prou consens en que estem dins d'un cicle de canvi climàtic en que l'activitat de l'home és la causa principal del mateix. L'últim informe del Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic no parla de certesa, però sí d'una probabilitat

del 90% de que açò siga així (IPCC, 2007). A més a més, els últims estudis sobre canvi climàtic projecten importants reduccions dels recursos en les conques mediterrànies, amb importants impactes ambientals, econòmics i socials (Iglesies et al., 2007).

Encara que cada volta existixen més treballs que analitzen els impactes i les conseqüències que produirà el canvi climàtic en els recursos hídrics i en els seus sistemes de gestió, encara hi ha pocs treballs a la bibliografia que versen sobre la definició de possibles estratègies d'adaptació i el seu anàlisi posterior. És per això que en el present treball se desenvolupa una metodologia completa per a tractar de definir i analitzar hidroeconòmicament les estratègies d'adaptació al canvi climàtic en els sistemes de gestió de recursos hídrics i es realitza l'aplicació d'esta metodologia a la conca del riu Xúquer.

En primer lloc, s'han obtes les variables climàtiques de tots els Models Climàtics Regionals del projecte ENSEMBLES per a la conca del Xúquer i s'han comparat amb les sèries històriques existents, seleccionant únicament aquells models que presenten un bon ajust de les variables històriques. Posteriorment, amb les prediccions futures d'estos MCRs s'han generat sèries futures de les variables climàtiques a partir de la perturbació de les sèries històriques mitjançant una tècnica de reescalat estadístic (Pulido-Velázquez, 2011).

El següent pas és el d'ajustar un model pluja - escorrentia pseudo-distribuit amb el que obtenir les aportacions dels escenaris a partir de les dades climàtiques futures. A continuació, s'han estimat les demandes futures a partir de projeccions estadístiques de població —per a les demandes urbanes— i a partir de les demandes netes per als conreus agrícoles en funció de les dades climàtiques futures. Amb les aportacions i les demandes netes dels escenaris futurs s'implementa un model de gestió de recursos hídrics (AQUATOOL) que se simula per a cadascun dels escenaris propostos —històric, de curt termini (2011-2040), de mitjà termini (2041-2070) i de llarg termini (2071-2100)—, obtenint resultats del sistema per a cadascun d'ells. Amb estos resultats, i mitjançant la definició de les funcions econòmiques de demanda, es realitza un anàlisi hidroeconòmic mitjançant el qual s'obtenen els resultats del cost d'escasessa associat als dèficits de les demandes.

Finalment, a partir dels indicadors de l'estat del sistema en cadascun del escenaris obtesos a partir de la metodologia definida per Pulido-Velázquez et al. (2011), es fa un diagnòstic de l'estat del sistema i es considera la necessitat de definir unes estratègies d'adaptació, sobretot per a l'escenari de llarg termini, plantejant-se unes mesures concretes que són simulades mitjançant el sistema de gestió de recursos hídrics i analitzades hidroeconòmicament.

Palabras clave:

SISTEMAS DE GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS, ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN, CAMBIO CLIMÁTICO, JÚCAR, MODELOS HIDROECONÓMICOS

A marcieta, per tot el temps que li he furtat

Agradecimientos

Me gustaría agradecer sinceramente a todas las personas que de un modo u otro me han ayudado a realizar este trabajo, especialmente a mis tutores Manuel Pulido Velázquez y David Pulido Velázquez, por la dedicación que me han prestado en todo momento y por el interés demostrado en el trabajo.

También a María Consuelo Trillo por iniciarme en el análisis de los escenarios climáticos y a Antonio López por resolver todas mis dudas en el esquema de Aquatool del Júcar y en las funciones económicas.

A Luís Garrote por haberme mandado los artículos del proyecto ARCO.

Finalmente agradecer la ayuda de mi compañero de trabajo Pablo Blanco por estar ahí siempre que lo he necesitado.

Índice de contenidos

1.-	Introducción y objetivos	1
1.1	Introducción	1
1.2	Motivación	3
1.3	Objetivos del presente trabajo	3
1.4	Medios con los que se cuenta para la realización del trabajo.....	4
1.5	Estructura del documento	4
2.-	Estado del arte.....	6
2.1	Cambio climático.....	6
2.1.1	Introducción	6
2.1.2	Efecto invernadero y escenarios de emisión.....	7
2.1.3	Modelos de circulación global.....	12
2.1.4	Modelos Climáticos Regionales.....	14
2.1.5	El proyecto europeo ENSEMBLES.....	16
2.1.6	Escenarios regionalizados de cambio climático para España.....	20
2.1.7	Incertidumbres en la generación de escenarios de cambio climático	24
2.2	Evaluación de impactos en los sistemas de recursos hídricos	30
2.2.1	Introducción	30
2.2.2	Cambios a nivel global	30
2.2.3	Evaluación del impacto en España	34
2.2.4	Efectos del cambio climático en la cuenca del Júcar.....	40
2.2.5	Análisis hidroeconómicos	50
2.2.6	Estrategias de adaptación	52
3.-	Metodología	58
3.1	Introducción.....	58

3.2	Selección de escenarios climáticos	59
3.3	Obtención de datos climáticos futuros para la zona de estudio	61
3.4	Modelo hidrológico lluvia – escorrentía	64
3.5	Cálculo de las demandas futuras	66
3.5.1	Cálculo de las demandas urbanas	66
3.5.2	Cálculo de los requerimientos de los cultivos	66
3.6	Modelo de gestión de recursos hídricos.....	68
3.7	Análisis hidroeconómico	70
3.8	Estrategias de adaptación.....	71
4.-	Ámbito de estudio	74
4.1	Características generales	74
4.1.1	Introducción	74
4.1.2	Climatología	75
4.1.3	Cubierta vegetal, infiltración y escorrentía	77
4.1.4	La red fluvial	78
4.2	Descripción detallada del sistema	79
4.2.1	Tramo aguas arriba de Alarcón	79
4.2.2	Tramo Alarcón – El Molinar	81
4.2.3	El río Cabriel.....	85
4.2.4	Tramo El Molinar – Tous.....	86
4.2.5	Tramo aguas abajo de Tous.....	88
4.2.6	La Albufera de Valencia	91
5.-	Aplicación al caso de estudio.....	93
5.1	Introducción.....	93
5.2	Selección de escenarios climáticos	93
5.2.1	Introducción	93

5.2.2	Comparativa de las series históricas y de control	95
5.3	Obtención de las series de datos climáticos futuros	102
5.3.1	Análisis de la evolución futura de las principales variables climáticas ..	102
5.3.2	Generación de series de datos climáticos para escenarios futuros	110
5.4	Modelo lluvia – escorrentía	111
5.4.1	Introducción	111
5.4.2	Modelo de Témez	111
5.4.3	Modelos lluvia-escorrentía en ENSEMBLES	127
5.4.4	Comparación, conclusiones y discusión	131
5.5	Efectos sobre la demanda	138
5.5.1	Introducción	138
5.5.2	Demanda actual	138
5.5.3	Demandas futuras	150
5.5.4	Resumen de la evolución de las demandas	154
5.6	Modelo de gestión de recursos hídricos	156
5.6.1	Descripción del modelo conceptual	156
5.6.2	Datos de entrada	167
5.6.3	Resultados del modelo de gestión de recursos hídricos	169
5.7	Análisis hidroeconómico	177
5.7.1	Introducción	177
5.7.2	Obtención de las funciones económicas de demanda	177
5.7.3	Resultados del modelo hidroeconómico	192
5.8	Estrategias de adaptación	200
5.8.1	Introducción	200
5.8.2	Resultados de los indicadores	200
5.8.3	Propuestas de estrategias de adaptación	203

5.8.4	Evaluación hidroeconómica de las estrategias de adaptación	205
5.8.5	Conclusiones sobre las estrategias de adaptación.....	222
6.-	Conclusiones.....	224
6.1	Introducción.....	224
6.2	Síntesis y conclusiones del trabajo	224
6.3	Limitaciones	231
6.4	Aportaciones.....	232
6.5	Necesidades de investigación y líneas futuras	233
7.-	Referencias	235

Índice de tablas

Tabla 1: Desarrollo económico, tecnológico y demográfico de diferentes escenarios que figuran en el Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (SRES) (Nakicenovic, 2000).....	11
Tabla 2: Relación de variables climáticas simuladas por los MCRs del proyecto ENSEMBLES (ENSEMBLES, 2009).....	19
Tabla 3: Disminución en porcentaje de los recursos hídricos en las diferentes demarcaciones hidrográficas españolas y comparación con la disminución prevista en el Libro Blanco del Agua en España (CEDEX, 2011).....	39
Tabla 4: Escenarios AEMET de downscaling estadístico para el período 2011-2040 (Chirivella Osma, 2010).	47
Tabla 5: Simulaciones temporales de los distintos Modelos Climáticos Regionales del proyecto ENSEMBLES con una resolución de 25x25 km (ENSEMBLES, 2009).	60
Tabla 6: Problemas del sistema y estrategias de adaptación basadas en el valor de los indicadores (Pulido-Velázquez, D., et al., 2011).....	72
Tabla 7: Red fluvial del sistema de explotación Júcar.	79
Tabla 8: Índice I_d , representativo de la distancia entre las medias y las desviaciones estándar entre la serie histórica y las del escenario de control. En gris los modelos descartados.	98
Tabla 9: Índice I_d , representativo de la distancia entre las medias y las desviaciones estándar entre la serie histórica y las del escenario de control para los años húmedos. En gris los modelos que quedarían descartados.	101
Tabla 10: Índice I_d , representativo de la distancia entre las medias y las desviaciones estándar entre la serie histórica y las del escenario de control para los años secos. En gris los modelos que quedarían descartados.	101
Tabla 11: Resultados de los ajustes para Alarcón.	114

Tabla 12: Resultados de los ajustes para El Molinar.	115
Tabla 13: Resultados de los ajustes para Contreras.....	116
Tabla 14: Resultados de los ajustes para Tous.....	117
Tabla 15: Resultados de los ajustes para Sellent.....	118
Tabla 16: Resultados de los ajustes para Albaida.	119
Tabla 17: Resultados de los ajustes para Verde.....	120
Tabla 18: Resultados de los ajustes para Magro.....	121
Tabla 19: Tabla resumen de los resultados de los resúmenes para los modelos de Témez ajustados para todas las subcuencas del sistema Júcar.	122
Tabla 20: Variación de las aportaciones para el escenario de Corto Plazo respecto al escenario de Control a partir de los resultados de aportaciones extraídos con los Modelos de Témez.	134
Tabla 21: Variación de las aportaciones para el escenario de Medio Plazo respecto al escenario de Control a partir de los resultados de aportaciones extraídos con los Modelos de Témez.	134
Tabla 22: Variación de las aportaciones para el escenario de Largo Plazo respecto al escenario de Control a partir de los resultados de aportaciones extraídos con los Modelos de Témez.	135
Tabla 23: Población permanente y población total equivalente por sistema de explotación (Fuente: <i>Documento Técnico de Referencia: Metodología y Resultados de la Estimación de Demandas en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar, CHJ. 2005</i>).	140
Tabla 24: Estimación de dotaciones de agua suministrada en función del tamaño de la población y comparación con los valores de la IPH (Fuente: Documento Técnico de Referencia: Metodología y Resultados de la Estimación de Demandas en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar, CHJ. 2005).	142

Tabla 25: Demanda agraria en función de su origen y por sistema de explotación (Fuente: Documento Técnico de Referencia: Metodología y Resultados de la Estimación de Demandas en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar, CHJ. 2005).....	145
Tabla 26: Evolución anual de las demandas agrícolas brutas para la cuenca del Júcar.	146
Tabla 27: Distribución de la actividad hidroeléctrica (Fuente: Documento Técnico de Referencia: Metodología y Resultados de la Estimación de Demandas en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar, CHJ. 2005).....	148
Tabla 28: Demandas anuales y mensuales de las Centrales Hidroeléctricas consideradas en el presente estudio.....	149
Tabla 29: Caudal ecológico para la estación de aforo de Huerto Mulet, que se considera para todo el tramo aguas abajo de Tous (CHJ, 2008).....	150
Tabla 30: Población en la provincia de Valencia y variación porcentual estimada para los escenarios futuros.....	151
Tabla 31: Parámetros de desarrollo de los cultivos para la Mancha Oriental.	152
Tabla 32: Parámetros de desarrollo de los cultivos para la Ribera del Júcar.....	152
Tabla 33: Resultados de la variación de las demandas para los escenarios futuros. ...	153
Tabla 34: Demandas agrícolas brutas para el escenario de Corto Plazo (2011 – 2040).	153
Tabla 35: Demandas agrícolas brutas para el escenario de Medio Plazo (2041 – 2070).	153
Tabla 36: Demandas agrícolas brutas para el escenario de Largo Plazo (2071 – 2100).	154
Tabla 37: Variación de las demandas mensuales totales para los escenarios futuros.	155
Tabla 38: Resumen de las demandas y aportaciones para el escenario histórico.....	168

Tabla 39: Resumen de las demandas y aportaciones para el escenario de Corto Plazo (2011 – 2040).....	168
Tabla 40: Resumen de las demandas y aportaciones para el escenario de Medio Plazo (2041 – 2070).....	168
Tabla 41: Resumen de las demandas y aportaciones para el escenario de Largo Plazo (2071 – 2100).....	168
Tabla 42: Resumen de las garantías para el suministro de las demandas en el escenario histórico.	169
Tabla 43: Resumen de las garantías para el suministro de las demandas en el escenario de Corto Plazo.....	170
Tabla 44: Resumen de las garantías para el suministro de las demandas en el escenario de Medio Plazo.	172
Tabla 45: Resumen de las garantías para el suministro de las demandas en el escenario de Largo Plazo.....	173
Tabla 46: Comparación de las garantías obtenidas para las demandas en cada uno de los escenarios planteados.	175
Tabla 47: Ciclo de cultivos para la Mancha Oriental.	182
Tabla 48: Niveles de tarifas adoptados para la construcción de las curvas de demanda (Deidda, 2004)	186
Tabla 49: Promedios anuales del coste de escasez y el beneficio para las demandas en el escenario histórico.....	193
Tabla 50: Promedios anuales del coste de escasez y el beneficio para las demandas en el escenario de Corto Plazo.	194
Tabla 51: Promedios anuales del coste de escasez y el beneficio para las demandas en el escenario de Medio Plazo.....	196

Tabla 52: Promedios anuales del coste de escasez y el beneficio para las demandas en el escenario de Largo Plazo.	197
Tabla 53: Comparación del promedio anual del Coste de Escasez para todas las demandas en todos los escenarios.	199
Tabla 54: Resultados de los indicadores definidos para los escenarios considerados.	202
Tabla 55: Indicador de perjuicio económico para todas las demandas en los escenarios planteados.	202
Tabla 56: Valores umbral para la evaluación del estado del sistema con los indicadores.	203
Tabla 57: Problemas del sistema y estrategias de adaptación basadas en el valor de los indicadores (Pulido-Velázquez, et al., 2011). Escenario histórico en verde, corto plazo en azul, medio plazo en naranja y largo plazo en rojo.	203
Tabla 58: Variación de las demandas brutas respecto al escenario de Largo Plazo con la hipótesis de eficiencia considerada.....	206
Tabla 59: Resumen de las garantías para el suministro de las demandas en el escenario de Hipótesis Eficiencias.	207
Tabla 60: Promedios anuales del coste de escasez y el beneficio para las demandas en el escenario de Hipótesis Eficiencia.....	208
Tabla 61: Variación de las demandas brutas respecto al escenario de Largo Plazo con la hipótesis de reducción en la demanda de la Mancha Oriental considerada.....	210
Tabla 62: Resumen de las garantías para el suministro de las demandas en el escenario de Hipótesis Reducción de demanda en la Mancha Oriental.	210
Tabla 63: Promedios anuales del coste de escasez y el beneficio para las demandas en el escenario de Hipótesis Reducción Mancha.	212
Tabla 64: Resumen de las garantías para el suministro de las demandas en el escenario de Hipótesis Modificación de Prioridades.....	213

Tabla 65: Promedios anuales del coste de escasez y el beneficio para las demandas en el escenario de Hipótesis Modificación de Prioridades.	215
Tabla 66: Comparación de las garantías obtenidas para las demandas para las hipótesis planteadas respecto al escenario de Largo Plazo.	219
Tabla 67 Comparación del promedio anual del Coste de Escasez para todas las demandas en las hipótesis consideradas.	221
Tabla 68: Comparación del indicador de perjuicio económico para todas las demandas en las hipótesis consideradas.	221
Tabla 69: Variación porcentual para los distintos cultivos agrícolas en los escenarios futuros planteados.	227

Índice de figuras

Figura 1: <i>Cambios en la temperatura, en el nivel del mar y en la cubierta de nieve del Hemisferio Norte desde 1850 (IPCC, 2007).</i>	6
Figura 2: Cambios observados de la temperatura superficial a escala continental y mundial, comparados con los resultados simulados mediante modelos del clima que contemplan forzamientos naturales o forzamientos naturales y antropógenos (IPCC, 2008).....	7
Figura 3: Representación esquemática de los escenarios SRES (Nakicenovic, 2000)....	12
Figura 4: Emisiones anuales totales de CO ₂ provenientes de todas las fuentes entre 1990 y 2100 para las familias y los seis grupos de escenarios (IPCC, 2001).	12
Figura 5: Esquema de funcionamiento de los modelos globales (Castro, 2006).	13
Figura 6: Ejemplo de aplicación de un MCR sobre Europa con celdas de 50x50 km a partir de un Modelo de Circulación Global con celdas de resolución más baja (Castro, 2006).....	15
Figura 7: Proceso secuencial para la determinación de escenarios climáticos regionales a partir de los escenarios de emisión (SRES) y del MCGAO-A HadCM3 (Hernández Barrios, 2007).	15
Figura 8: Comparación del cambio de la temperatura máxima media anual para el período 2071-2100 respecto al período de control (1961-1990) proporcionado por las proyecciones regionalizadas (AEMET, 2009).....	21
Figura 9: Comparación del cambio de la temperatura mínima media anual para el período 2071-2100 respecto al período de control (1961-1990) proporcionado por las proyecciones regionalizadas (AEMET, 2009).....	22
Figura 10: Comparación del cambio de la precipitación media anual para el período 2071-2100 respecto al período de control (1961-1990) proporcionado por las proyecciones regionalizadas (AEMET, 2009).....	24

Figura 11: Regiones en las cuáles fenómenos locales y específicos pueden dar lugar a cambios abruptos de gran escala en las condiciones climáticas regionales o globales (Schellnhuber y Held, 2002)	29
Figura 12: Ejemplos de vulnerabilidad actual de los recursos de agua dulce y de su gestión (IPCC, 2008).....	31
Figura 13: Cambios relativos en gran escala de la escorrentía anual para el periodo 2090-2099 respecto a la de 1980-1999. Las áreas en blanco indican que menos del 66% del agregado de 12 modelos concuerdan en el signo del cambio (IPCC, 2008).	33
Figura 14: Estimación de la evolución de las variables hidrológicas en España (CEDEX, 2011).....	40
Figura 15: Estimación de la evolución de las variables hidrológicas en la Demarcación Hidrográfica del Júcar (CEDEX, 2011).	41
Figura 16: Esquema de la metodología propuesta.....	59
Figura 17: Representación esquemática del proceso lluvia – escorrentía.....	65
Figura 18: Esquema representativo del modelo de Témex.....	66
Figura 19: Sistema de soporte a la decisión (SSD) Aquatool.....	70
Figura 20: Funciones económicas de demanda, déficit y coste de escasez.....	70
Figura 21: Sistema de explotación Júcar en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Júcar.....	75
Figura 22: Esquema del río Júcar entre la cabecera y el embalse de Alarcón.	81
Figura 23: Esquema del río Júcar entre el Embalse de Alarcón y el Embalse de El Molinar.	84
Figura 24: Esquema del Río Cabriel hasta el Embalse de Contreras.	86
Figura 25: Esquema del Río Júcar entre los Embalses de El Molinar y Tous.....	88
Figura 26: Esquema del Río Júcar aguas abajo de Tous.	91

Figura 27: Mapa toponímico de la Albufera de Valencia.	92
Figura 28: Comparación de la temperatura media mensual histórica y de los MCRs de ENSEMBLES para la cuenca del Júcar.	96
Figura 29: Comparación de la desviación típica de la temperatura mensual histórica y de los MCRs de ENSEMBLES para la cuenca del Júcar.....	96
Figura 30: Comparación de la precipitación media mensual histórica y de los MCRs de ENSEMBLES para la cuenca del Júcar.	97
Figura 31: Comparación de la desviación típica de la precipitación mensual histórica y de los MCRs de ENSEMBLES para la cuenca del Júcar.....	97
Figura 32: Comparación de la temperatura media mensual histórica y de los MCRs seleccionados de ENSEMBLES para la cuenca del Júcar.....	98
Figura 33: Comparación de la desviación típica de la temperatura mensual histórica y de los MCRs seleccionados de ENSEMBLES para la cuenca del Júcar.....	99
Figura 34: Comparación de la precipitación media mensual histórica y de los MCRs seleccionados de ENSEMBLES para la cuenca del Júcar.....	99
Figura 35: Comparación de la desviación típica de la precipitación mensual histórica y de los MCRs seleccionados de ENSEMBLES para la cuenca del Júcar.....	100
Figura 36: Evolución de la temperatura media mensual para el escenario de control y los tres escenarios futuros extraídos de los MCRs de ENSEMBLES seleccionados.	103
Figura 37: Evolución de la desviación típica de la temperatura mensual para el escenario de control y los tres escenarios futuros extraídos de los MCRs de ENSEMBLES seleccionados.	104
Figura 38: Evolución de la precipitación media mensual para el escenario de control y los tres escenarios futuros extraídos de los MCRs de ENSEMBLES seleccionados.	104

Figura 39: Evolución de la desviación típica de la precipitación mensual para el escenario de control y los tres escenarios futuros extraídos de los MCRs de ENSEMBLES seleccionados.	105
Figura 40: Evolución equiprobable de la temperatura con los modelos ENSEMBLES seleccionados.	106
Figura 41: Anomalías respecto al escenario de control en la serie completa de temperaturas [adimensional].....	106
Figura 42: Anomalías respecto al escenario de control en la serie completa de temperaturas [°C].....	106
Figura 43: Evolución equiprobable de la precipitación con los modelos ENSEMBLES seleccionados.	107
Figura 44: Anomalías respecto al escenario de control en la serie completa de precipitación [adimensional].....	107
Figura 45: Anomalías respecto al escenario de control en la serie completa de precipitación [mm].	108
Figura 46: Anomalías en el promedio mensual de temperatura para los escenarios futuros.	109
Figura 47: Anomalías en la desviación estándar mensual de la temperatura para los escenarios futuros.	109
Figura 48: Anomalías en el promedio mensual de precipitación para los escenarios futuros.	110
Figura 49: Anomalías en la desviación estándar mensual de la precipitación para los escenarios futuros.	110
Figura 50: Subcuencas consideradas para la implementación de los modelos de Témez.	113

Figura 51: Porcentaje de superficie y aportación que representan cada una de las cuencas sobre el total del Sistema Júcar.....	113
Figura 52: Ajuste de las aportaciones mensuales en Alarcón para la serie 1961-2000.	114
Figura 53: Contraste de resultados anuales en Alarcón para la serie 1961-2000.....	114
Figura 54: Comparación del año medio en Alarcón para la serie 1961-2000.....	114
Figura 55: Ajuste de las aportaciones mensuales en El Molinar para la serie 1961-2000.	115
Figura 56: Contraste de resultados anuales en El Molinar para la serie 1961-2000. ..	115
Figura 57: Comparación del año medio en El Molinar para la serie 1961-2000.....	115
Figura 58: Ajuste de las aportaciones mensuales en Contreras para la serie 1961-2000.	116
Figura 59: Contraste de resultados anuales en Contreras para la serie 1961-2000.	116
Figura 60: Comparación del año medio en Contreras para la serie 1961-2000.	116
Figura 61: Ajuste de las aportaciones mensuales en Tous para la serie 1961-2000....	117
Figura 62: Contraste de resultados anuales en Tous para la serie 1961-2000.	117
Figura 63: Comparación del año medio en Tous para la serie 1961-2000.....	117
Figura 64: Ajuste de las aportaciones mensuales en Sellent para la serie 1961-2000.	118
Figura 65: Contraste de resultados anuales en Sellent para la serie 1961-2000.....	118
Figura 66: Comparación del año medio en Sellent para la serie 1961-2000.	118
Figura 67: Ajuste de las aportaciones mensuales en Albaida para la serie 1961-2000.	119
Figura 68: Contraste de resultados anuales en Albaida para la serie 1961-2000.....	119

Figura 69: Comparación del año medio en Albaida para la serie 1961-2000.	119
Figura 70: Ajuste de las aportaciones mensuales en Verde para la serie 1961-2000..	120
Figura 71: Contraste de resultados anuales en Verde para la serie 1961-2000.	120
Figura 72: Comparación del año medio en Verde para la serie 1961-2000.....	120
Figura 73: Ajuste de las aportaciones mensuales en Magro para la serie 1961-2000.	121
Figura 74: Contraste de resultados anuales en Magro para la serie 1961-2000.	121
Figura 75: Comparación del año medio en Magro para la serie 1961-2000.....	121
Figura 76: Aportaciones medias mensuales en Alarcón para los escenarios considerados.....	123
Figura 77: Aportaciones medias mensuales en El Molinar para los escenarios considerados.....	123
Figura 78: Aportaciones medias mensuales en Contreras para los escenarios considerados.....	124
Figura 79: Aportaciones medias mensuales en Tous para los escenarios considerados.	124
Figura 80: Aportaciones medias mensuales en Sellent para los escenarios considerados.	125
Figura 81: Aportaciones medias mensuales en Albaida para los escenarios considerados.....	125
Figura 82: Aportaciones medias mensuales en Verde para los escenarios considerados.	126
Figura 83: Aportaciones medias mensuales en Magro para los escenarios considerados.	126
Figura 84: Aportaciones medias mensuales en Alarcón para los escenarios considerados con ENSEMBLES.	128

Figura 85: Aportaciones medias mensuales en El Molinar para los escenarios considerados con ENSEMBLES.	128
Figura 86: Aportaciones medias mensuales en Contreras para los escenarios considerados con ENSEMBLES.	129
Figura 87: Aportaciones medias mensuales en Tous para los escenarios considerados con ENSEMBLES.	129
Figura 88: Aportaciones medias mensuales en Sellent para los escenarios considerados con ENSEMBLES.	130
Figura 89: Aportaciones medias mensuales en Albaida para los escenarios considerados con ENSEMBLES.	130
Figura 90: Aportaciones medias mensuales en Verde para los escenarios considerados con ENSEMBLES.	131
Figura 91: Aportaciones medias mensuales en Magro para los escenarios considerados con ENSEMBLES.	131
Figura 92: Variación porcentual del año medio y diagrama de caja y bigotes para la variación del año medio en cada una de las subcuencas en el escenario de Corto Plazo según los ajustes de los modelos de Témez y de los MCRs de ENSEMBLES.	132
Figura 93: Variación porcentual del año medio y diagrama de caja y bigotes para la variación del año medio en cada una de las subcuencas en el escenario de Medio Plazo según los ajustes de los modelos de Témez y de los MCRs de ENSEMBLES.	133
Figura 94: Variación porcentual del año medio y diagrama de caja y bigotes para la variación del año medio en cada una de las subcuencas en el escenario de Largo Plazo según los ajustes de los modelos de Témez y de los MCRs de ENSEMBLES.	133
Figura 95: Distribución espacial de la variación de la precipitación anual en los escenarios futuros.	136
Figura 96: Distribución espacial de la variación interanual de la precipitación en el escenario de Medio Plazo.	136

Figura 97: Variación de la precipitación mensual de los RCMs de ENSEMBLES seleccionados respecto al escenario de control.....	137
Figura 98: Municipios con datos de demanda disponible (Fuente: Documento Técnico de Referencia: Metodología y Resultados de la Estimación de Demandas en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar, CHJ. 2005).....	141
Figura 99: Demanda urbana para el abastecimiento a las poblaciones a partir de los datos del censo del INE de 2011 (Fuente: Elaboración propia).	143
Figura 100: Evolución anual de las demandas urbanas actuales (CHJ, 2009).....	143
Figura 101: Metodología para la estimación de las demandas brutas (Fuente: Documento Técnico de Referencia: Metodología y Resultados de la Estimación de Demandas en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar, CHJ. 2005).....	145
Figura 102: Unidades de Demanda Agraria en el Sistema de Explotación Júcar (Fuente: Elaboración propia)	146
Figura 103: Distribución territorial del uso industrial para producción de energía (Fuente: Documento Técnico de Referencia: Metodología y Resultados de la Estimación de Demandas en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar, CHJ. 2005).....	148
Figura 104: Evolución de la producción hidroeléctrica de las principales centrales de la CHJ desde 1990 a 2005 (Fuente: Documento Técnico de Referencia: Metodología y Resultados de la Estimación de Demandas en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar, CHJ. 2005).....	149
Figura 105: Evolución estimada de la población para la provincia de Valencia.....	151
Figura 106: Variación de las demandas mensuales totales para los escenarios futuros.	155
Figura 107: Esquema completo del modelo de Aquatool considerado para el Sistema de Explotación Júcar.	158

Figura 108: Esquema aguas arriba del embalse de Tous.	160
Figura 109: Esquema del sistema entre los embalses de El Molinar y Tous, con la inclusión de las centrales hidroeléctricas y de la demanda de la CN de Cofrentes.	162
Figura 110: Esquema del modelo aguas abajo de Tous.	163
Figura 111: Indicador de alarma ACT trad.	166
Figura 112: Indicador de alarma ACT resto.	166
Figura 113: Indicador de alarma ACT baja.	167
Figura 114: Indicador de alarma ACT Alarcón.	167
Figura 115: Evolución de las demandas y las aportaciones en los diferentes escenarios considerados.	168
Figura 116: Déficit anuales totales para el escenario histórico.	169
Figura 117: Volumen embalsado para el escenario histórico.	170
Figura 118: Volumen anual turbinado en las centrales hidroeléctricas para el escenario histórico.	170
Figura 119: Déficit anuales totales para el escenario de Corto Plazo.	171
Figura 120: Volumen embalsado para el escenario de Corto Plazo.	171
Figura 121: Volumen anual turbinado en las centrales hidroeléctricas para el escenario de Corto Plazo.	171
Figura 122: Déficit anuales totales para el escenario de Medio Plazo.	172
Figura 123: Volumen embalsado para el escenario de Medio Plazo.	172
Figura 124: Volumen anual turbinado en las centrales hidroeléctricas para el escenario de Medio Plazo.	173
Figura 125: Déficit anuales totales para el escenario de Largo Plazo.	173

Figura 126: Volumen embalsado para el escenario de Largo Plazo.....	174
Figura 127: Volumen anual turbinado en las centrales hidroeléctricas para el escenario de Largo Plazo.....	174
Figura 128: Comparación de déficits anuales para los escenarios considerados.	175
Figura 129: Comparación de volúmenes anuales embalsados para los escenarios considerados.....	176
Figura 130: Comparación de volúmenes anuales turbinados para los escenarios considerados.....	176
Figura 131: Curva de demanda para los usos urbanos para el escenario histórico.....	180
Figura 132: curva de demanda para los usos urbanos el escenario de Corto Plazo....	181
Figura 133: Curva de demanda para los usos urbanos en los escenarios de Medio y Largo Plazo.....	181
Figura 134: Curvas de demanda para la Mancha Oriental para el escenario histórico.	183
Figura 135: Curvas de demanda para la Mancha Oriental para el escenario de Corto Plazo.....	184
Figura 136: Curvas de demanda para la Mancha Oriental para el escenario de Medio Plazo.....	184
Figura 137: Curvas de demanda para la Mancha Oriental para el escenario de Largo Plazo.....	185
Figura 138: Curvas de demanda para los cultivos de cítricos en el escenario histórico.	187
Figura 139: Curvas de demanda para los cultivos de cítricos en el escenario de Corto Plazo.....	187

Figura 140: Curvas de demanda para los cultivos de cítricos en el escenario de Medio Plazo.....	188
Figura 141: Curvas de demanda para los cultivos de cítricos en el escenario de Largo Plazo.....	188
Figura 142: Curvas de demanda para los cultivos de arroz para el escenario histórico.	189
Figura 143: Curvas de demanda para los cultivos de arroz para el escenario de Corto Plazo.....	189
Figura 144: Curvas de demanda para los cultivos de arroz para el escenario de Medio Plazo.....	189
Figura 145: Curvas de demanda para los cultivos de arroz para el escenario de Largo Plazo.....	190
Figura 146: Curva de demanda para la C.N. de Cofrentes para todos los escenarios.	191
Figura 147: Curva de demanda anual para las centrales hidroeléctricas para todos los escenarios.	192
Figura 148: Déficit anual y coste de escasez asociado para el escenario histórico.	193
Figura 149: Coste de escasez anual para cada demanda para el escenario histórico.	194
Figura 150: Déficit anual y coste de escasez asociado para el escenario de Corto Plazo.	195
Figura 151: Coste de escasez anual para cada demanda para el escenario de Corto Plazo.....	195
Figura 152: Déficit anual y coste de escasez asociado para el escenario de Medio Plazo.	196
Figura 153: Coste de escasez anual para cada demanda para el escenario de Medio Plazo.....	197

Figura 154: Déficit anual y coste de escasez asociado para el escenario de Largo Plazo.	198
Figura 155: Coste de escasez anual para cada demanda para el escenario de Largo Plazo.....	198
Figura 156: Coste de escasez anual para los escenarios considerados en la serie completa.....	199
Figura 157: Déficit anuales totales para el escenario de Hipótesis Eficiencias.	207
Figura 158: Volumen embalsado para el escenario de Hipótesis Eficiencias.	207
Figura 159: Volumen anual turbinado en las centrales hidroeléctricas para el escenario de Hipótesis Eficiencias.	208
Figura 160: Déficit anual y coste de escasez asociado para el escenario de Hipótesis Eficiencia.....	209
Figura 161: Coste de escasez anual para cada demanda para el escenario de Hipótesis Eficiencias.	209
Figura 162: Déficit anuales totales para el escenario de Hipótesis Reducción Mancha.	211
Figura 163: Volumen embalsado para el escenario de Hipótesis Reducción Mancha.	211
Figura 164: Volumen turbinado en las centrales hidroeléctricas para el escenario de Hipótesis Reducción Mancha.	211
Figura 165: Déficit anual y coste de escasez asociado para el escenario de Hipótesis Reducción Mancha.	212
Figura 166: Coste de escasez anual para cada demanda para el escenario de Hipótesis Reducción Mancha.	213
Figura 167: Déficit anuales totales para el escenario de Hipótesis Modificación de Prioridades.....	214

Figura 168: Volumen embalsado para el escenario de Hipótesis Modificación de Prioridades.....	214
Figura 169: Volumen turbinado en las centrales hidroeléctricas para el escenario de Hipótesis Reducción Mancha.	214
Figura 170: Déficit anual y coste de escasez asociado para el escenario de Hipótesis Modificación de Prioridades.....	215
Figura 171: Coste de escasez anual para cada demanda para el escenario de Hipótesis Modificación de Prioridades.....	216
Figura 172: Costes de escasez anual para las demandas urbanas en el escenario de Largo Plazo.....	217
Figura 173: Coste de escasez anual para la demanda de los regantes de la Mancha Oriental al vender sus derechos de agua para el suministro de las demandas urbanas.	218
Figura 174: Comparación de déficits anuales para las hipótesis consideradas.	219
Figura 175: Comparación de volúmenes anuales embalsados para las hipótesis consideradas.....	220
Figura 176: Comparación de volúmenes anuales turbinados para las hipótesis consideradas.....	220
Figura 177: Coste de escasez anual para las hipótesis consideradas en la serie completa.....	221

1.- Introducción y objetivos

1.1 Introducción

El estudio de las consecuencias del cambio climático sobre la gestión de los recursos hídricos es un campo en constante evolución por su relativa juventud y los grandes avances que se dan continuamente.

A pesar de las incertidumbres, hoy en día existe bastante consenso en que estamos dentro de un ciclo de cambio climático en que la actividad del hombre es la causa principal del mismo. El último informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (en adelante IPCC) no habla de certeza, pero sí de una probabilidad del 90% de que esto sea así (IPCC, 2007). Además, los últimos estudios sobre cambio climático proyectan importantes disminuciones de los recursos en las cuencas mediterráneas, con importantes impactos ambientales, económicos y sociales (Iglesias et al., 2007). Sin embargo, a pesar de los desarrollos experimentados por los modelos de circulación global y las técnicas de reescalado dinámicas y estadísticas (Fowler et al., 2007), se debe reconocer que la siguiente afirmación de hace 20 años sobre los escenarios es todavía válida: *“los escenarios no pretenden ser predicciones del clima futuro; en cambio, pretenden ser panoramas consistentes de un clima futuro plausible, una base para que otros investigadores evalúen posibles impactos del cambio climático en el hombre y la sociedad”* (Dragoni y Sukhija, 2008).

Los cambios de temperatura y precipitación asociados al cambio climático afectan a la disponibilidad de recursos y su variabilidad espacio-temporal, y también a las demandas y usos del suelo y será por tanto necesario evaluar la vulnerabilidad de cada sistema de recursos hídricos y los impactos que puede producir el cambio climático, así como las posibles estrategias de adaptación. En los cuatro informes elaborados por el IPCC se pone de manifiesto que la adaptación es una estrategia necesaria a todas las escalas para complementar los esfuerzos de mitigación del cambio climático, lo que requiere de una evaluación previa de impactos y vulnerabilidades (PNACC, 2005).

A nivel nacional, uno de los principales logros alcanzados en el desarrollo del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC, 2006), es que, por primera vez,

se incluye la necesidad de integrar las consideraciones del impacto del cambio climático en el marco jurídico español relativo a la planificación de los recursos hídricos. El nuevo Reglamento de Planificación Hidrológica (R.D. 907/2007) y los Planes Hidrológicos de Cuenca (PHC) deberán evaluar el posible efecto del cambio climático sobre los recursos naturales, debiendo incluirse este efecto en el balance entre recursos disponibles y demandas para el horizonte temporal de 2027.

El impacto final del cambio climático dependerá de la capacidad de adaptación del sistema. Para estudiar la adaptación a hipotéticos escenarios de cambio climático se requiere de la ayuda de modelos matemáticos de análisis de sistemas. En la literatura sólo se disponen de un reducido número de trabajos de investigación en los que se analicen los impactos del cambio climático en la gestión de sistemas de recursos hídricos mediante modelos de gestión a escala de cuenca integrando aspectos ambientales y económicos.

Es por todo ello que aún queda mucho trabajo de investigación por realizar para desarrollar un adecuado análisis de la Adaptación al Cambio Climático, en tres pilares de estudio básicos:

- a) Escenarios climáticos e integración de la hidrología en modelos de gestión
- b) Estudios de adaptación al Cambio Climático
- c) Caracterización de las demandas

California ha sido pionera en los estudios de la influencia del cambio climático en sistemas de recursos hídricos, y es la región en la que más estudios de este tipo se han llevado a cabo (Vicuna and Dracup, 2007). La mayoría de los trabajos se basan en modelación de simulación de la gestión, sin incorporar la componente económica.

En España no se han llevado a cabo aún estudios cuantitativos de adaptación de la gestión de sistemas de recursos hídricos al cambio climático que integren análisis hidrológico y económico. Se emplearon modelos preliminares de simulación de la gestión de los sistemas de algunas cuencas en los trabajos desarrollados por el CEDEX para la elaboración del Libro Blanco del Agua y los documentos técnicos del Plan

Hidrológico Nacional, y en los trabajos de investigación de las tesis doctorales de Fernández (2002), Rodríguez-Medina (2005) y Hernández-Barrios (2007).

El presente estudio toma como datos de partida los cuatro informes del IPCC (de 1994, 1995, 2001 y 2007), además de los datos climáticos obtenidos mediante los Modelos Regionales de Clima del proyecto europeo ENSEMBLES (Ensembles Project, 2009).

1.2 Motivación

La motivación principal del presente trabajo es la de plantear estrategias de adaptación a los retos en materia de gestión de sistemas hídricos que se plantean con las nuevas condiciones futuras previstas por la consideración del cambio climático, incluyendo además la evaluación económica de estas estrategias para tratar de aportar información sobre la optimización de la gestión futura de los sistemas de recursos hídricos.

Para ello se evaluarán las previsiones de impactos del cambio climático (tanto sobre los recursos como sobre las demandas) a partir de los datos de los últimos estudios publicados sobre previsiones climáticas futuras —especialmente las del proyecto europeo ENSEMBLES.

1.3 Objetivos del presente trabajo

El presente estudio pretende analizar mediante modelos hidroeconómicos las estrategias de adaptación en los sistemas de gestión de recursos hídricos que se plantean al considerar un escenario futuro de cambio climático. Como caso de estudio se seleccionó la cuenca del Júcar. Para ello se plantean los siguientes objetivos:

- Adaptar los datos extraídos de los modelos climáticos del proyecto ENSEMBLES para la cuenca del Júcar, mediante una técnica de reescalado apropiada (Pulido-Velázquez et al., 2011).
- Implementar un modelo lluvia-escorrentía que se ajuste al comportamiento histórico de la cuenca y que pueda ser alimentado con series futuras generadas teniendo en cuenta las anomalías predichas por los modelos climáticos en los escenarios considerados. Con esto se obtendrá la disponibilidad de recursos.

- Analizar las demandas actuales del sistema, y plantear escenarios futuros de demandas.
- Implementar un modelo de simulación de la cuenca mediante el modelo SIMGES de Aquatool (Andreu et al., 1996), que permita el análisis de la gestión actual y futura de la cuenca.
- Con los resultados de los análisis, plantear estrategias de adaptación y realizar un análisis hidroeconómico de estas estrategias.

1.4 Medios con los que se cuenta para la realización del trabajo

La simulación de los diferentes escenarios del presente estudio se realizó tomando como partida el modelo hidroeconómico de Aquatool de la cuenca del Júcar desarrollado por el Grupo de Ingeniería de Recursos Hídricos (IIAMA) en el marco de un convenio entre la Universidad Politécnica de Valencia y EPTISA, “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”, en 2006.

1.5 Estructura del documento

El presente trabajo se ha dividido en los siguientes apartados que se describen sintéticamente a continuación:

1. Introducción y objetivos: se presenta el trabajo a desarrollar y los objetivos que se plantean alcanzar mediante la investigación que se va a realizar.
2. Estado del arte: se realiza la revisión del estado de la investigación en los campos en los que se desarrolla el presente trabajo, tanto sobre los avances existentes en la predicción del cambio climático a escala global y local, como sobre los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos, y finalmente sobre las estrategias de adaptación y los modelos hidroeconómicos.
3. Metodología: se presenta y se describe detalladamente la metodología que se ha seguido para la consecución del trabajo, partiendo de la obtención de la información climatológica, la selección de los escenarios climáticos, el cálculo

de aportaciones y demandas actuales y futuras, la metodología para la implementación de estrategias de adaptación y la inclusión de los modelos hidroeconómicos para realizar el estudio económico de estas estrategias de adaptación.

4. Ámbito de estudio: en este apartado se describe el ámbito territorial donde se aplica la metodología desarrollada en el presente trabajo, la cuenca del Júcar.
5. Aplicación al caso de estudio: en el apartado quinto se realiza la aplicación de la metodología descrita para el ámbito de estudio y se muestran los resultados obtenidos para los diferentes escenarios. Finalmente se definen las medidas de adaptación y se realiza una evaluación de estas.
6. Conclusiones y líneas futuras de investigación: se describen las conclusiones obtenidas en el presente trabajo, las limitaciones que se consideran, las aportaciones originales y las líneas futuras de investigación que se abren.
7. Referencias bibliográficas: finalmente en el último apartado se presentan las referencias bibliográficas que se han tenido en consideración para la realización del presente estudio.

2.- Estado del arte

2.1 Cambio climático

2.1.1 Introducción

Según el *Informe de Síntesis "Cambio Climático 2007"* del Grupo Internacional de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) el calentamiento del sistema climático es inequívoco, como evidencian ya los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos, y el aumento del promedio mundial del nivel del mar. Observaciones efectuadas en todos los continentes y en la mayoría de los océanos evidencian que numerosos sistemas naturales están siendo afectados por cambios de clima regional, particularmente por un aumento de la temperatura (IPCC, 2007).

Siguiendo con el mencionado informe, y por lo que se refiere a las causas del cambio, la mayor parte del aumento observado del promedio mundial de temperatura desde mediados del siglo XX se debe *muy probablemente* al aumento observado de las concentraciones de gases de efecto invernadero (en adelante GEI) antropógenos. Es *muy probable* que se haya experimentado un calentamiento antropógeno apreciable en los últimos cincuenta años, en promedio para cada continente.

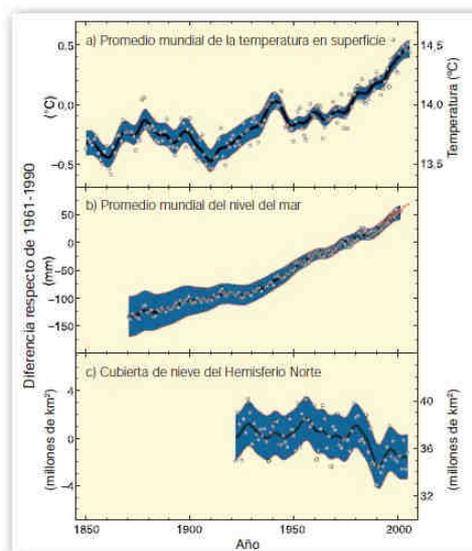


Figura 1: Cambios en la temperatura, en el nivel del mar y en la cubierta de nieve del Hemisferio Norte desde 1850 (IPCC, 2007).

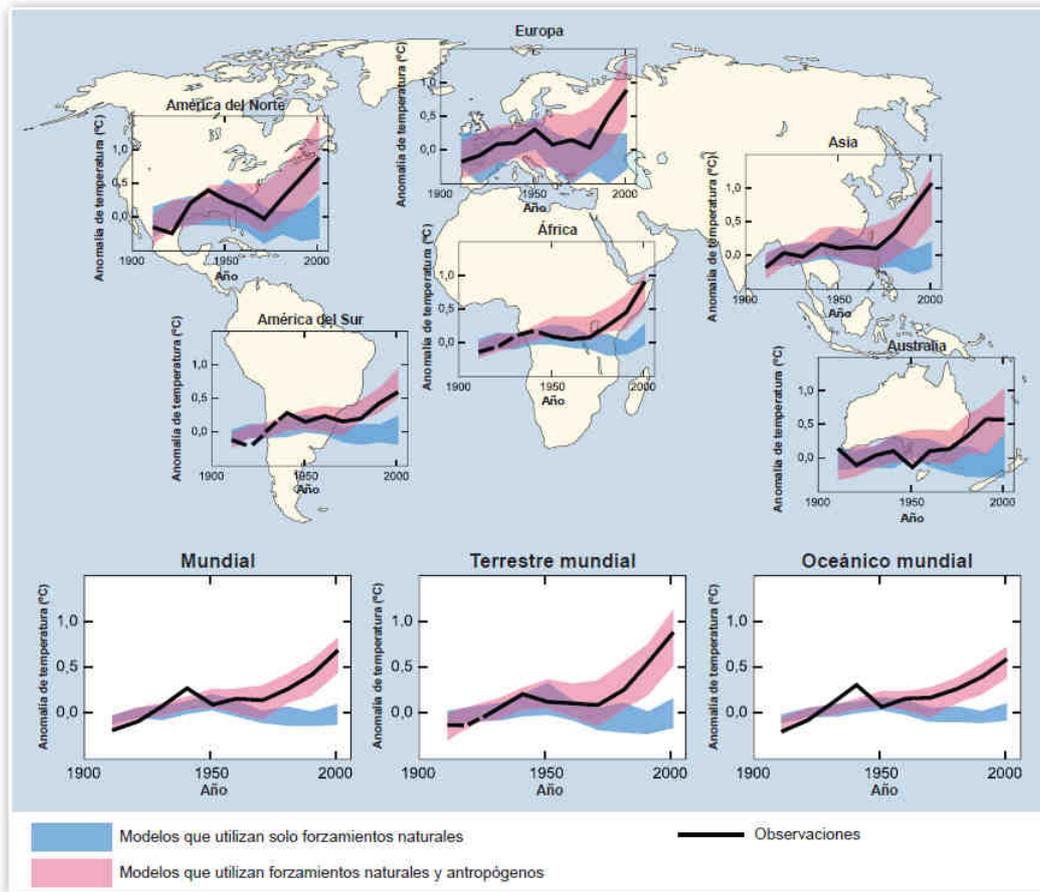


Figura 2: Cambios observados de la temperatura superficial a escala continental y mundial, comparados con los resultados simulados mediante modelos del clima que contemplan forzamientos naturales o forzamientos naturales y antropógenos (IPCC, 2008).

Aunque parece que hay un consenso generalizado en las investigaciones de las causas del cambio climático en el sentido expresado anteriormente, no hay que perder de vista investigaciones y reflexiones científicas que, bien matizan, o bien contradicen las previsiones del IPCC en cuanto al origen antropógeno del cambio climático (Chirivella, 2010).

2.1.2 Efecto invernadero y escenarios de emisión

Ciertos gases que componen la atmósfera terrestre como: vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), ozono (O₃), óxido nitroso (NO₂), y algunos compuestos halogenados (CFC), intervienen activamente en los procesos de intercambio de radiación que definen algunas características salientes del clima terrestre. En ausencia de estos gases, la temperatura media global de la atmósfera en las proximidades de la superficie descendería de su valor actual de 15°C a

aproximadamente -18°C . Este efecto natural de calentamiento de la atmósfera terrestre, que hace posible la vida tal como se manifiesta en el planeta, es conocido como efecto invernadero. Por extensión, los gases que intervienen en el mismo se denominan Gases Efecto Invernadero (GEI).

Las emisiones de GEI producidas por diferentes actividades humanas tienden a incrementar progresivamente sus concentraciones en la atmósfera. Esto intensificará a su vez el efecto invernadero, ocasionando un aumento de la temperatura media global de la superficie de la tierra designado calentamiento global.

Las previsiones de emisiones futuras de GEI son el producto de muy complejos sistemas dinámicos, determinado por fuerzas tales como el crecimiento demográfico, el desarrollo socioeconómico o el cambio tecnológico. Su evolución futura es muy incierta. Los escenarios son imágenes alternativas de lo que podría acontecer en el futuro, y constituyen un instrumento apropiado para analizar de qué manera influirán las fuerzas determinantes en las emisiones futuras, y para evaluar el margen de incertidumbre de dicho análisis. Los escenarios son de utilidad para el análisis del cambio climático, y en particular para la creación de modelos del clima, para la evaluación de los impactos y para las iniciativas de adaptación y de mitigación. La posibilidad de que en la realidad las emisiones evolucionen tal como se describe en alguno de estos escenarios es muy remota (IPCC, 2001).

Se han desarrollado diferentes tipos de escenarios que se utilizan para estudios de cambio climático según sea el área de interés en la aplicabilidad de los mismos. Estos escenarios describen los futuros cambios socioeconómicos, de uso de la tierra y ambientales para caracterizar la sensibilidad de los sistemas al cambio climático. A continuación se da una descripción detallada de cada uno de estos escenarios (IPCC, 2001).

- Escenarios socio-económicos:

En la mayoría de los escenarios socioeconómicos se identifican varios temas o campos diferentes, como la población o la actividad económica, así como factores de fondo, como la estructura de gobierno, los valores sociales, y las pautas del cambio

tecnológico. Los escenarios permiten establecer la vulnerabilidad socioeconómica de referencia (anterior a un posible cambio climático). Los escenarios socioeconómicos han sido utilizados principalmente para proyectar las emisiones de gases efecto invernadero (con la finalidad de evaluar la vulnerabilidad y la capacidad de los sistemas socioeconómicos) más que para evaluar los efectos del clima futuro sobre estos sistemas.

- Escenarios de cambio en el uso de la tierra:

El cambio en el uso de la tierra y la cobertura vegetal comprende varios procesos que son fundamentales para la estimación del cambio climático y sus impactos. Estos escenarios influyen en los flujos de carbono y las emisiones de gases invernadero, que alteran directamente la composición atmosférica. Estos escenarios toman en cuenta las características de la superficie terrestre debida a una posible conversión de la cobertura vegetal que pudieran alterar las propiedades de los ecosistemas y su vulnerabilidad al cambio climático. Se han construido una gran diversidad de este tipo de escenarios, la mayoría, sin embargo, no tratan explícitamente cuestiones de cambio climático, sino que centran su atención en otras cuestiones, por ejemplo, la seguridad alimentaria y el ciclo del carbono.

- Escenarios ambientales

Los escenarios ambientales se refieren a los cambios en los factores ambientales distintos del clima que se producirán en el futuro independientemente del cambio climático. Los escenarios deben mostrar las posibles condiciones ambientales futuras, por ejemplo: la composición atmosférica del dióxido de carbono (CO₂) y la disponibilidad de agua (en su uso y calidad).

Los escenarios de emisión del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) proporcionan el contexto socioeconómico y ambiental para los próximos 100 años y permite conocer la evolución futura de diversas variables (entre ellas las emisiones de CO₂), lo que constituye la información de partida de los Modelos de Circulación Globales Acoplados Océano-Atmósfera (MCGAO-A), que a su vez proporcionan los escenarios de cambio climáticos, que indican, entre otras cosas, los incrementos

futuros de las temperaturas y de las precipitaciones. El IPCC han elaborado dos grupos de escenarios de emisiones: los escenarios IS92 desarrollados en 1992 (IPCC, 1994) y los escenarios de emisiones (SRES) publicados en el 2001 (IPCC, 2002).

Finalmente, en el 2001 el IPCC finalizó su Informe especial sobre escenarios de emisión (SRES) (IPCC, 2002) que sustituyeron a los anteriores seis “escenarios IS92” del IPCC. Estos nuevos escenarios denominados también SRES (Special Report on Emission Scenarios), examinan el período de 1990 a 2100 e incluyen diversos supuestos socioeconómicos (por ejemplo: la población mundial y el producto interno bruto).

Cuatro líneas evolutivas cualitativas agrupan los escenarios en las denominadas “familias”: A1, A2, B1 y B2. En total se han desarrollado 40 escenarios SRES, todos ellos igualmente válidos sin haberles asignado probabilidades de hacerse realidad. Según el IPCC (2002), las principales características de las cuatro grandes familias son:

- La familia de escenarios A1 (globalización tecnológica-energética). Describe un mundo futuro con un rápido crecimiento económico, una población mundial que alcanza su valor máximo hacia mediados del siglo y que disminuye posteriormente, y una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. Sus características distintivas más importantes son la convergencia entre regiones y el aumento de las interacciones culturales y sociales, acompañadas de una notable reducción de las diferencias regionales en cuanto a ingresos por habitante. La familia de escenarios A1 se desarrolla en tres grupos que describen direcciones alternativas del cambio tecnológico en el sistema de energía. Los tres grupos A1 se diferencian en su orientación tecnológica: utilización intensiva de combustibles de origen fósil (A1FI), utilización de fuentes de energía no de origen fósil (A1T), o utilización equilibrada de todo tipo de fuentes (A1B).
- La familia de líneas evolutivas y escenarios A2 (autosuficiencia tecnológica). Describe un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son la auto-suficiencia y la conservación de las identidades locales. Las pautas de fertilidad en el conjunto de las regiones convergen muy lentamente, con lo que se obtiene una población mundial en continuo crecimiento. El desarrollo

económico está orientado básicamente a las regiones, y el crecimiento económico por habitante así como el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas.

- La familia de líneas evolutivas y escenarios B1 (globalización-sostenible). Describe un mundo convergente con la misma población mundial que alcanza un máximo hacia mediados del siglo y desciende posteriormente, como la línea evolutiva A1, pero con rápidos cambios en las estructuras económicas orientadas a una economía de servicios y de información, acompañados de una utilización menos intensiva de los materiales y de la introducción de tecnologías limpias con un aprovechamiento eficaz de los recursos. En ella se da preponderancia a las soluciones de orden mundial encaminadas a la sostenibilidad económica, social y medioambiental, así como a una mayor igualdad, pero en ausencia de iniciativas adicionales en relación con el clima.
- La familia de líneas evolutivas y escenarios B2 (autosuficiencia-sostenible). Describe un mundo en el que predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y medioambiental. Es un mundo cuya población aumenta progresivamente a un ritmo menor que en A2, con unos niveles de desarrollo económico intermedio, y con un cambio tecnológico menos rápido y más diverso que en las líneas evolutivas B1 y A1. Aunque este escenario está también orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social, se centra principalmente en los niveles local y regional.

Perfil	SRES A1	SRES A2	SRES B2
Crecimiento de la población	Bajo	Alto	Bajo
Crecimiento del PIB	Muy Alto	Medio	Alto
Consumo de Energía	Muy Alto	Alto	Bajo
Recursos Disponibles	Medio	Bejo	Bajo
Avance Tecnológico	Rápido	Lento	Medio

Tabla 1: Desarrollo económico, tecnológico y demográfico de diferentes escenarios que figuran en el Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (SRES) (Nakicenovic, 2000).

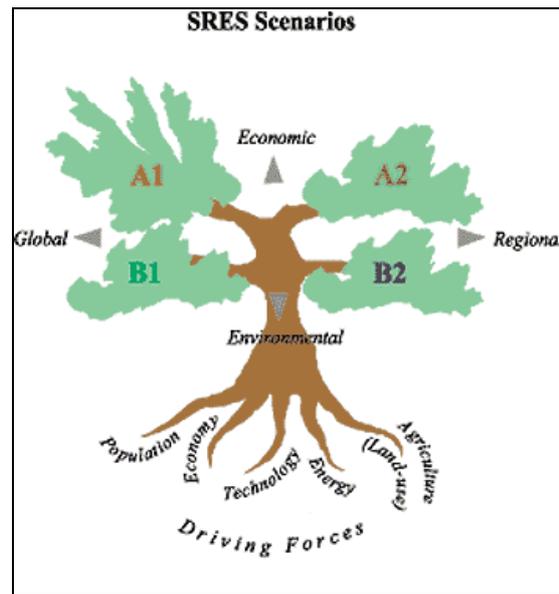


Figura 3: Representación esquemática de los escenarios SRES (Nakicenovic, 2000).

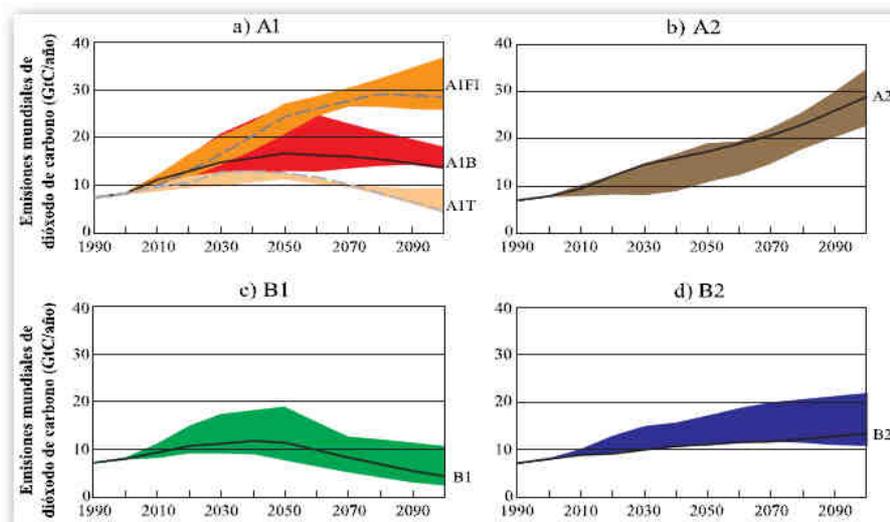


Figura 4: Emisiones anuales totales de CO₂ provenientes de todas las fuentes entre 1990 y 2100 para las familias y los seis grupos de escenarios (IPCC, 2001).

2.1.3 Modelos de circulación global

La herramienta básica para realizar proyecciones de cambio climático son los modelos de circulación globales (MCGs) acoplados de atmósfera y océano que resuelven numéricamente las ecuaciones matemáticas fundamentales y describen la física y dinámica de los movimientos y procesos que tienen lugar en la atmósfera, el océano, el hielo y la superficie terrestre. Al contrario que los modelos utilizados en otras ramas de la ciencia, si bien incluyen relaciones empíricas, no descansan fundamentalmente

en el uso de las mismas, sino en el planteamiento de las leyes físicas del sistema. (AEMET, 2009).

Los MCGs resuelven las ecuaciones del movimiento de los fluidos (Navier-Stokes), de continuidad (conservación de masa), de la termodinámica (conservación de energía) y de estado. Las variables (p. ej., presión, temperatura, velocidad, humedad atmosférica, salinidad oceánica) necesarias para describir el estado de los subsistemas que integran el sistema climático se proporcionan en una red de puntos que cubre el globo, habitualmente con una resolución horizontal para la atmósfera entre 100 y 300 km, y aproximadamente el doble (la mitad del tamaño de la celda) para el océano, con el fin de poder resolver la dinámica de corrientes oceánicas. En ambos casos la resolución vertical suele ser de unos 20 niveles. Esta separación de puntos de red está limitada con frecuencia por la disponibilidad de recursos computacionales. Las pocas decenas de MCGs existentes (IPCC-TAR, 2001 y IPCC-AR4, 2007) proporcionan proyecciones de la evolución del clima con poca resolución espacial (consecuencia de las limitaciones computacionales) y, por tanto, solamente permiten hacer estimaciones de la evolución sobre grandes regiones de la Tierra, p. ej., norte de Europa, área mediterránea.

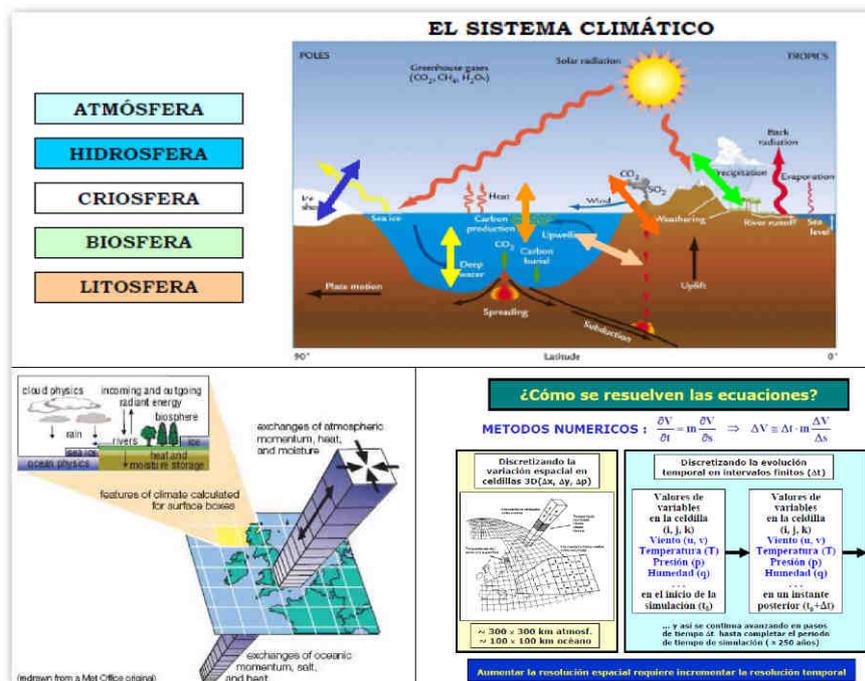


Figura 5: Esquema de funcionamiento de los modelos globales (Castro, 2006).

Los MCGs constituyen la principal herramienta con capacidad predictiva de las que se dispone para estimar la evolución del sistema climático. Además, esta evolución está condicionada por el comportamiento humano, es decir, por las emisiones de gases de efecto invernadero, las emisiones de aerosoles, los cambios de uso de suelo, el modelo energético, la demografía, etc. Como la evolución socioeconómica no está regida por las leyes físicas se recurre a una colección de escenarios alternativos de emisiones que tienen en cuenta todos los efectos anteriores en la confianza de que la evolución futura de la sociedad siga alguno de los patrones considerados en dicha colección. Los MCGs se integran con los diferentes escenarios de emisiones (Nakicenovic et al., 2000) y proporcionan proyecciones de la evolución del clima en los supuestos de los diferentes escenarios de emisiones contemplados. Para simulaciones realizadas para la Península Ibérica (AEMET, 2009) los modelos de circulación globales utilizados son: HadAM3H (modelo atmosférico del Centro Hadley (CRU), versión 3), ECHAM4-OPYC (modelo acoplado atmósfera-océano del Instituto Max Planck de Meteorología (Alemania), versión 4), CGCM2 (modelo acoplado atmósfera-océano del Centro Canadiense del Clima, versión 2), HadCM3 (modelo acoplado atmósfera-océano del Centro Hadley (CRU), versión 3), HadCM2SUL (modelo acoplado atmósfera-océano del Centro Hadley (CRU), versión 2). Para el caso particular del archipiélago canario se han utilizado los modelos HadCM3 y CGCM1 con el método SDSM.

2.1.4 Modelos Climáticos Regionales

Los modelos climáticos regionales (MCRs) son considerados como la técnica más prometedoras para realizar proyecciones realistas de cambio climático a escala regional (IPCC, 2001). Los MCRs son esencialmente similares al módulo atmosférico de cualquier MCG, pero se aplican a un área limitada del globo con más resolución, es decir discretizando espacialmente con celdillas de menor tamaño. Se utilizan anidándolos en la celda del modelo de circulación global (Figura 2), esto significa que en los MCRs los valores iniciales de las variables simuladas y su evolución temporal en los contornos del dominio se derivan de resultados obtenidos por un MCG. En definitiva, los MCRs están forzados por los contornos con valores simulados por los MCGs. Por tanto, el procedimiento que actualmente se sigue consiste en utilizar las

salidas de un MCG para simular la respuesta de la circulación global a forzamientos de macroescala y los MCRs para tener en cuenta los forzamientos a escala más pequeña que el tamaño de la celdilla en el MCG, de una forma acorde con principios físicos, y para resaltar la simulación de circulaciones atmosféricas y variables climáticas a escalas espaciales más finas (IPCC, 2001).

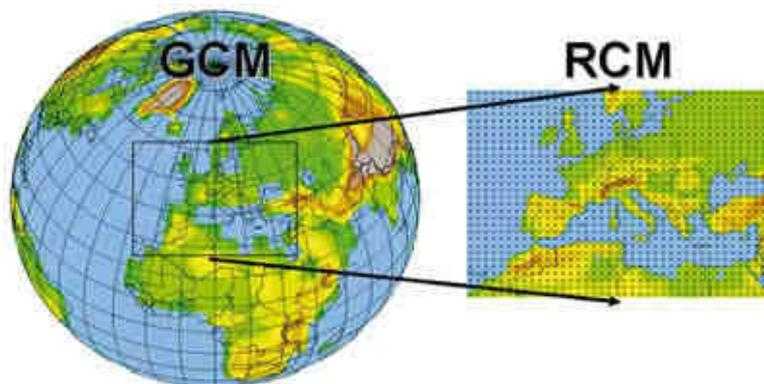


Figura 6: Ejemplo de aplicación de un MCR sobre Europa con celdas de 50x50 km a partir de un Modelo de Circulación Global con celdas de resolución más baja (Castro, 2006).

Las técnicas de regionalización basadas en modelos climáticos regionales tienen la ventaja de ser físicamente consistentes y por lo tanto proporcionar una descripción de la atmósfera basada en todas las variables del modelo y la clara desventaja de necesitar un gran volumen de cálculo. Además el hecho de que las condiciones de contorno no sean un problema matemático bien planteado (Staniforth, 1997) plantea el problema adicional de que el modelo anidado cambia las escalas grandes suministradas por el modelo de circulación global, mostrando una dependencia de los resultados con la posición y orientación del dominio de integración. Este hecho podría limitar la credibilidad de los resultados.

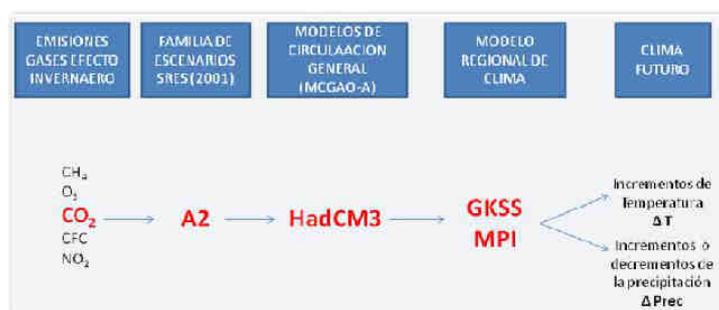


Figura 7: Proceso secuencial para la determinación de escenarios climáticos regionales a partir de los escenarios de emisión (SRES) y del MCGAO-A HadCM3 (Hernández Barrios, 2007).

Los MCRs capturan mejor la variación en Europa tanto de temperatura como de precipitación que los MCGs. La mayoría, pero no todos los MCRs, también tienden a sobreestimar la variabilidad interanual de las temperaturas en Europa central y meridional. La excesiva variabilidad de la temperatura coincide con la excesiva variabilidad interanual en radiación de onda corta o evaporación, o en ambas simultáneamente. De ello se concluye que se precisa de una mejora en la descripción de los procesos de suelo, capa límite y nubes. Uno de los parámetros de los modelos que puede ser clave es la profundidad del suelo en los mismos, que parece ser demasiado pequeña en muchos MCRs (Van Den Hurk et al., 2005).

2.1.5 El proyecto europeo ENSEMBLES

El proyecto europeo ENSEMBLES forma parte del 6º Programa Marco, fue desarrollado entre 2004 y 2009. La predicción de la variabilidad natural del clima y el impacto humano sobre el clima es inherentemente probabilístico, debido a las incertidumbres en las condiciones de previsión inicial, la representación de los procesos clave dentro de los modelos, y los factores de forzamiento climático. Por lo tanto, las estimaciones fiables del riesgo climático sólo pueden hacerse a través de integraciones conjuntas de los Modelos del Sistema Terrestre en los que estas incertidumbres se incorporan explícitamente. Por primera vez, un sistema conjunto de pronóstico de clima común ha sido desarrollado para su uso en una amplia gama de escalas de tiempo (estacional, decenal y más) y escalas espaciales (global, regional y local). Este sistema de modelos ha sido utilizado para la construcción de escenarios integrados del cambio climático en el futuro, incluyendo los escenarios de no intervención y de estabilización. Esto proporcionó una base para la evaluación cuantitativa de los riesgos del cambio climático y la variabilidad climática, con énfasis en los cambios en los extremos, incluyendo los cambios en las tormentas y las precipitaciones y en la gravedad y la frecuencia de la sequía, y los efectos de "sorpresas", como el cierre de la circulación termohalina. Lo más importante, ha sido el sistema de modelos ampliamente validado. Las retrospectivas realizadas por el sistema de modelos para el siglo XX fueron comparadas con el conjunto de datos de calidad controlada, de alta resolución reticulados para Europa. La probabilidad de las previsiones realizadas con el sistema de

modelos en escalas de tiempos estacionales y decenales también fue validada con los datos existentes. La explotación de los resultados ha sido maximizada mediante la vinculación de las salidas del sistema conjunto de predicción por una amplia gama de aplicaciones. A su vez, los comentarios de estas áreas de impacto del sistema climático también fueron abordados. Así ENSEMBLES tuvo un efecto vertebrador en la investigación europea al reunir a un espectro sin precedentes de expertos líderes en el mundo. Esta experiencia fue movilizada para mantener y ampliar la preeminencia europea en el suministro de información pertinente de políticas sobre el cambio climático y sus interacciones con la sociedad.

ENSEMBLES trabaja con el escenario A1B, cuyas series de control oscilan entre 1961 y 2000 y las series futuras entre 1951 y 2100. Tiene una resolución espacial para los datos de las variables a escala mensual de 50x50 km ó 25x25 km, mientras que para el caso de datos diarios, la resolución es de 44x44 km ó 22x22 km. Opera con una amplia gama de variables con son: la precipitación, la temperatura (máxima, mínima y media), la humedad (máxima, mínima y media), la evapotranspiración, la radiación (de onda corta o larga), la velocidad del viento, la dirección del viento, etc.

El objetivo general de ENSEMBLES ha sido el de mantener y ampliar la preeminencia europea en el suministro de información pertinente de políticas sobre el cambio climático y sus interacciones con la sociedad (<http://www.ensembles-eu.org/>).

ENSEMBLES alcanzó los siguientes objetivos:

- Desarrollar un sistema de predicción conjunto basado en el estado principal de última generación, de alta resolución, mundial y regional de modelos del Sistema Terrestre desarrollados en Europa, validado para una calidad controlada, conjunto de datos reticulados de alta resolución para Europa, para producir por primera vez, una estimación probabilística objetiva de la incertidumbre en el clima futuro en escalas de tiempo estacionales, decenales y más allá.
- Cuantificar y reducir la incertidumbre en la representación de los comentarios físicos, químicos, biológicos y humanos relacionados en el Sistema Terrestre

(incluyendo los recursos hídricos, uso del suelo y la calidad del aire, y las reacciones del ciclo del carbono).

- Maximizar el aprovechamiento de los resultados mediante la vinculación de las salidas del sistema conjunto de predicción de una amplia gama de aplicaciones, incluyendo la agricultura, la salud, la seguridad alimentaria, energía, recursos hídricos, seguros y gestión de riesgos climáticos.

Se basa en que las predicciones de la variabilidad natural del clima y los impactos antropogénicos sobre el clima son inherentemente probabilísticos, debido a la incertidumbre tanto en las condiciones iniciales de predicción, como en los modelos, forzamientos (tanto naturales, como escenarios de emisiones), etc. Pretende, pues, estimar (probabilísticamente) el riesgo del cambio climático, integrando los distintos modelos existentes, los cuales llevan incorporados implícitamente esas incertidumbres.

Las líneas de actuación fundamentales sobre las que se trabaja en el proyecto ENSEMBLES son las siguientes:

- Desarrollo de un modelo de predicción global, para Europa, ensamblando modelos globales. Generación de un conjunto de simulaciones (para el siglo XXI, por décadas, por estaciones) con ese sistema global.
- Generación de escenarios climáticos regionales para el análisis de impactos, mediante el ensamblaje de un conjunto de modelos regionales (RCM); para añadir valor al sistema global anterior.
- Desarrollo de un modelo de alta resolución RCM ensamblando un conjunto de ellos.
- Se pretende avanzar en el conocimiento de las leyes básicas que gobiernan los cambios climáticos y la probabilidad de aparición de fenómenos extremos.
- El incremento de confianza en los modelos resultantes se basará en su capacidad para reproducir datos observados.

- A fin de poder analizar los efectos del cambio climático en los modelos de impacto, se prestará especial atención en las predicciones para las próximas décadas, y por estaciones.
- Analizar la sensibilidad del cambio climático frente a distintos escenarios de emisiones de GEI's.

El proyecto utiliza siete modelos globales, a los que asigna una calidad predictiva idéntica en todos los casos, de tal manera que los resultados se obtienen promediando los de los diferentes modelos intervinientes.

Los resultados que se obtienen de ENSEMBLES son los siguientes:

Surf. variable	Freq. storage	Surf. variable	Freq. storage
2-m temperature	Daily	Tot. cloudiness	Daily
2-m max/min temp.	Daily	Sens. heat flux	Daily
Max/min skin T	Daily	Lat. heat flux	Daily
SST	Daily (00 UT)	Momentum flux	Daily
10-m wind (u,v)	Daily	Soil heat flux	Daily
Max. wind speed	Daily	Net SW radiation	Daily
2-m spec. humidity	Daily	Downward SW radiat.	Daily
2-m relat. humidity	Daily	Net LW radiation	Daily
Max relat. humidity	Daily	Downward LW radiat.	Daily
Min relat. humidity	Daily	Top net SW radiation	Daily
2-m dew point temp.	Daily	Top down. SW radiat.	Daily
MSLP	Daily	Top net LW radiation	Daily
Surface pressure	Daily / 6 h	Sunshine hours	Daily
Precipitation	Daily	Moist. 0.1 m soil layer	Daily
Max prec. rate	Daily	Total soil moisture	Daily (00 UT)
Large-scale prec	Daily	Snow water equivalent	Daily (00 UT)
Convective prec	Daily	Frac. snow cover	Daily
Total column water cont.	Daily	Total runoff	Daily
Snowfall	Daily	Surface runoff	Daily
Evaporation	Daily	Deep runoff	Daily
Pot. evaporation	Daily	Albedo	Daily

Tabla 2: Relación de variables climáticas simuladas por los MCRs del proyecto ENSEMBLES (ENSEMBLES, 2009).

2.1.6 Escenarios regionalizados de cambio climático para España

En el año 2009, la Agencia Estatal de Meteorología publicó un estudio denominado "Generación de Escenarios Regionalizados de Cambio Climático para España", del que se exponen a continuación las conclusiones más relevantes. El escenario de emisiones utilizado en todos los casos es el A2 del IPCC.

- Temperatura máxima.
 - La distribución anual del cambio de temperatura máxima no es igual para todos los meses. Para todos los modelos utilizados se muestra un mayor aumento de las temperaturas máximas en los meses correspondientes al verano y un menor aumento en los meses invernales.
 - Las mayores variaciones se producen en el interior de la Península y son más moderadas en las regiones costeras, situándose en una horquilla incremental entre 5 y 8º C en las regiones continentales para el periodo 2071-2100.
 - La concordancia entre los diferentes modelos es menor durante el periodo estival.

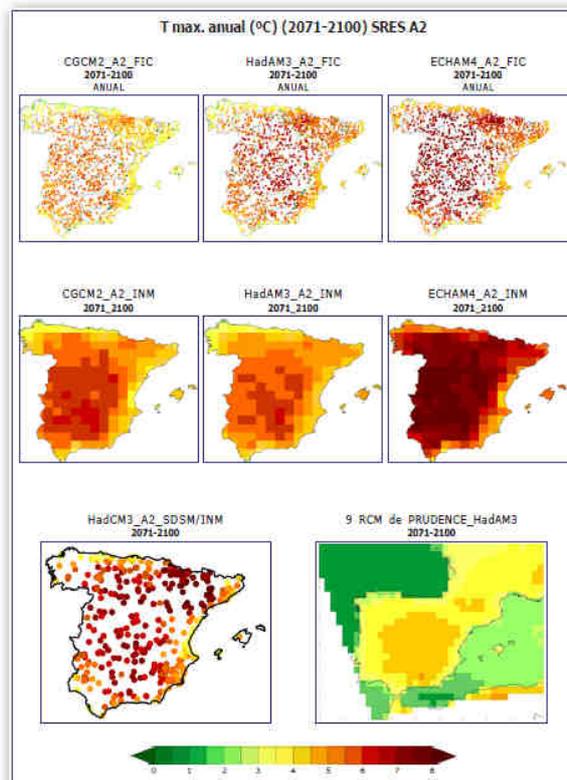


Figura 8: Comparación del cambio de la temperatura máxima media anual para el período 2071-2100 respecto al período de control (1961-1990) proporcionado por las proyecciones regionalizadas (AEMET, 2009).

- Temperatura mínima.
 - En comparación con los cambios de temperatura máxima, se notan valores inferiores en aproximadamente 2 grados para el último tercio del siglo XXI. Esto implica mayores oscilaciones térmicas diurnas debido al mayor incremento de la temperatura máxima y menor de la temperatura mínima.
 - Para el periodo 2071-2100, la horquilla de valores para el interior de la Península Ibérica se sitúa aproximadamente entre 4 y 6º C para el escenario A2.
 - Al igual que ocurría con el cambio de temperatura máxima, el de temperatura mínima muestra un marcado ciclo anual que es consistente para todos los modelos globales, técnicas de regionalización y escenarios de emisiones.

- También el comportamiento de la desviación típica de los cambios de temperatura mínima entre los modelos regionales de PRUDENCE muestra un claro aumento en los meses de verano, aunque los patrones en la Península Ibérica no son coincidentes, sugiriendo distintas causas para la desviación típica de las temperaturas máxima y mínima posiblemente provenientes de las parametrizaciones de los diferentes procesos físicos.

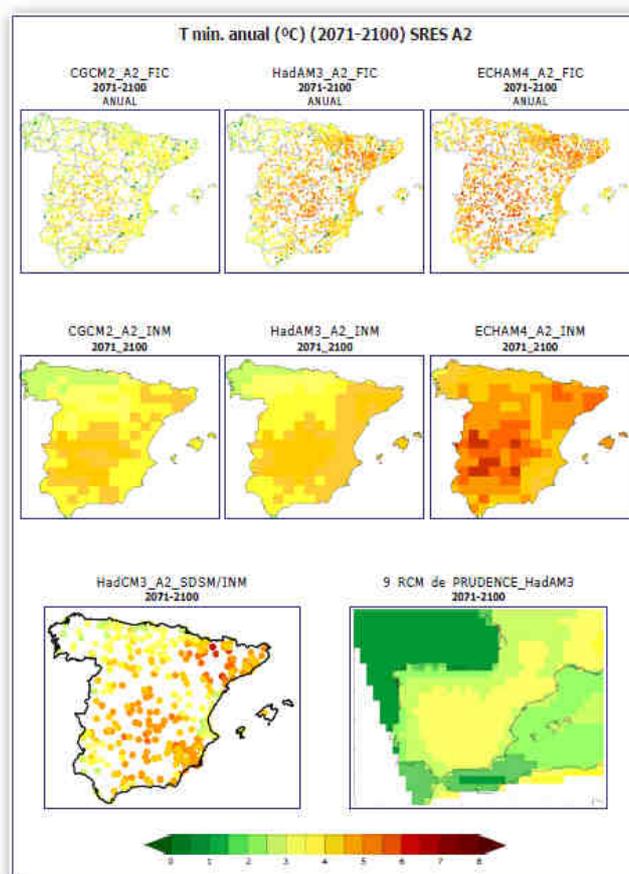


Figura 9: Comparación del cambio de la temperatura mínima media anual para el período 2071-2100 respecto al período de control (1961-1990) proporcionado por las proyecciones regionalizadas (AEMET, 2009).

- Precipitación.
 - La tendencia no es tan consistente como en el caso de la temperatura, sin embargo parece notarse una ligera reducción de la precipitación en la mitad occidental de la Península Ibérica y un ligero aumento en la mitad oriental

- Hay un claro predominio de las zonas con reducción de la precipitación, siendo las regiones de la mitad sur de la Península Ibérica las que muestran un mayor grado de acuerdo para los distintos modelos y regionalizaciones. El promedio de los 9 modelos regionales de PRUDENCE muestra una reducción de la precipitación media anual para la Península Ibérica.
- Al contrario de lo que sucedía con la temperatura, la distribución del cambio de precipitación no muestra un claro patrón de comportamiento, lo que indica la relativamente baja fiabilidad de las proyecciones de esta variable.
- Se muestra una tendencia a la reducción en los meses de primavera y verano. Esta tendencia puede ser poco significativa en los meses estivales por la reducida cantidad de precipitación, en términos absolutos.
- La desviación típica del cambio de precipitación entre los nueve modelos de PRUDENCE, muestra el poco acuerdo que existe entre los diferentes modelos regionales, aunque estén forzados por un mismo modelo global. En algunos meses y regiones, la desviación típica puede llegar a ser del mismo orden que la anomalía de precipitación respecto al período de referencia, lo que incide, una vez más, en la poca fiabilidad de las proyecciones de precipitación.

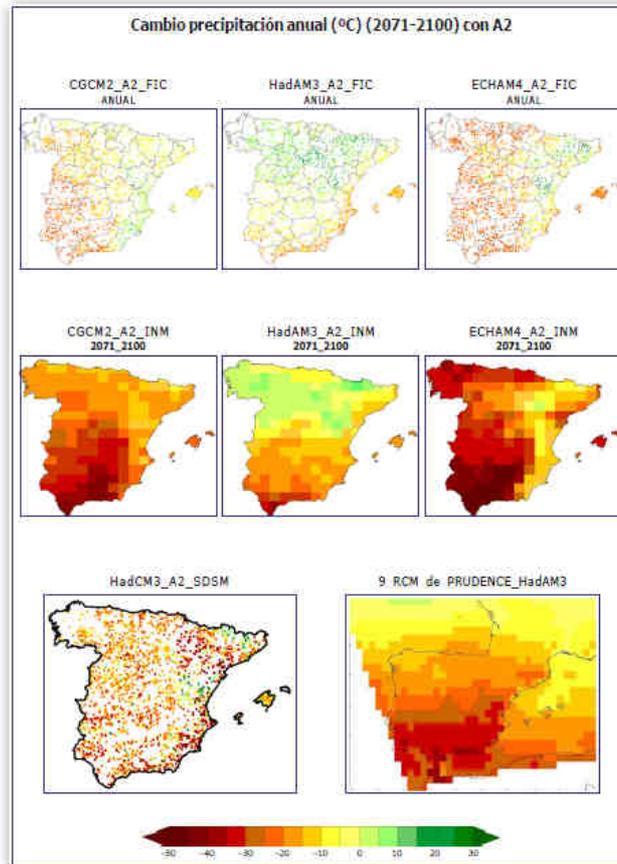


Figura 10: Comparación del cambio de la precipitación media anual para el período 2071-2100 respecto al período de control (1961-1990) proporcionado por las proyecciones regionalizadas (AEMET, 2009).

2.1.7 Incertidumbres en la generación de escenarios de cambio climático

La obtención de proyecciones o escenarios regionales de cambio climático está sujeta a una variedad de fuentes de incertidumbre que afectan a todos los pasos del proceso de su generación, comenzando desde el establecimiento de los escenarios alternativos de posibles evoluciones en las emisiones de gases de efecto invernadero y aerosoles, que afectan al forzamiento radiativo, hasta los algoritmos que proyectan las evoluciones a escala regional. Estas incertidumbres se pueden describir en forma jerárquica o de cascada de tal forma que cada paso conducente a la generación de proyecciones regionales hereda todas las incertidumbres de los pasos anteriores. De todas las fuentes de incertidumbre que a continuación se enumeran, en este informe se exploran básicamente tres: las asociadas a las emisiones, las asociadas a los modelos globales de circulación general y las asociadas a las técnicas de regionalización, poniendo particular énfasis en estas últimas (AEMET, 2009).

Las principales incertidumbres asociadas a la generación de escenarios de cambio climático son las que se describen a continuación:

- Incertidumbres en los forzamientos naturales: En el vértice de todas las incertidumbres se sitúan los forzamientos externos de tipo natural. Entre estos se pueden mencionar los cambios en la radiación solar que llega a la cima de la atmósfera y las emisiones de aerosoles sulfurosos procedentes de las grandes erupciones volcánicas que alcanzan la estratosfera y tienen un tiempo de permanencia de unos pocos años. Este último efecto se manifiesta principalmente como un aumento de la reflexión de la radiación solar incidente y, por lo tanto, constituye un forzamiento radiativo negativo. Los forzamientos naturales se consideran impredecibles y no están contemplados patrones de evolución al menos en las escalas temporales aquí consideradas.
- Incertidumbres en las emisiones de gases de efecto invernadero: A continuación en la pirámide de las incertidumbres se sitúa la evolución futura de la emisión de gases de efecto invernadero, de aerosoles y de cambios de usos de suelo que afecta al forzamiento radiativo en la atmósfera. Obviamente esta evolución futura dependerá de la marcha de la economía, del desarrollo tecnológico, de las fuentes energéticas disponibles y del patrón de consumo energético, de la demografía, etc. y de las decisiones políticas que afecten a la evolución de los anteriores puntos. Como esta evolución no es predecible, al menos según los modelos físico-matemáticos que simulan los procesos del sistema climático, se recurre a utilizar una serie de escenarios plausibles de futura evolución de los anteriores factores de tipo socioeconómico. Para ello se utiliza la colección de escenarios de evolución de emisiones propuestos por el IPCC (Nakicenovic et al., 2000). Estos mismos escenarios de emisión se han utilizado en el tercer y cuarto informe de evaluación del IPCC y no se han revisado desde el año 2000.
- Incertidumbres en las concentraciones de gases de efecto invernadero: A las incertidumbres sobre la evolución futura de las emisiones hay que añadir las asociadas a cómo estas emisiones afectan a las concentraciones de gases de

efecto invernadero, puesto que no se conoce exactamente el destino de las emisiones o, lo que es lo mismo, no se conoce plenamente el ciclo del carbono. Este es un punto muy importante, porque algunos procesos implicados en el ciclo del carbono (equilibrio oceánico del dióxido de carbono, por ejemplo) son dependientes de la temperatura, que, a su vez, es sensible a las concentraciones de dióxido de carbono.

- **Incertidumbres en los modelos globales:** Las mismas herramientas utilizadas para generar las proyecciones climáticas, es decir, los modelos acoplados atmósfera-océano de circulación general muestran en su nivel actual de desarrollo también muchas incertidumbres. Los diferentes AOGCM son distintas formulaciones de las ecuaciones que describen los distintos componentes del sistema climático, considerando distintas mallas, resoluciones, esquemas numéricos, parametrizaciones de procesos físicos, etc. Las simulaciones de cambio climático producidas con distintos AOGCM en los mismos escenarios de cambio climático muestran una considerable dispersión, reflejando distintas representaciones de la sensibilidad del clima a cambios en el forzamiento externo (sensibilidad climática), y por lo tanto un alto nivel de incertidumbre, que depende en gran medida de las regiones, estaciones, variables, etc. Los procesos mismos simulados por los AOGCM incluyen incertidumbres. De hecho, la modelización del sistema climático ha ido añadiendo complejidad y subsistemas adicionales con el paso de los años. Por ejemplo, gran parte de las simulaciones realizadas en los últimos años suponían que la vegetación era constante en el tiempo y permanecía invariable en simulaciones seculares de cambio climático antropogénico. En la realidad, la vegetación, que lógicamente depende de las condiciones climáticas cambiantes, tiene también capacidad para afectar al clima, y como tal debería simularse.
- **Incertidumbres estructurales:** Bajo este epígrafe se incluyen las incertidumbres asociadas a la absoluta falta de conocimiento de algún proceso que afecte al sistema climático. A modo de ejemplo se puede mencionar el relativamente reciente papel de la “circulación de aguas profundas” como posible agente de cambio climático abrupto. De hecho, las simulaciones del sistema climático se

han ido haciendo más complejas al incluir subsistemas y procesos que en los primitivos modelos no estaban contemplados.

- Incertidumbres en las técnicas de regionalización: Las distintas técnicas de regionalización (estadísticas y dinámicas) contribuyen a la incertidumbre con fuentes de error adicionales. Los métodos estadísticos sufren, en su capacidad predictiva, la limitación específica debida a que las relaciones entre las variables a gran escala y las variables locales no tienen por qué mantenerse frente a cambios en el clima. De hecho las relaciones entre ambas variables se establecen en un período relativamente corto observacional y se prescriben para situaciones futuras que pueden distar bastante en el tiempo. Los RCM añaden fuentes de error similares a las de los AOGCM con los que son forzados y algunas específicas a la simulación a escala regional. La incertidumbre en el forzamiento radiativo asociada a la distribución espacio-temporal de aerosoles tiene una relevancia especial a escala regional debido a la heterogeneidad del forzamiento y la respuesta. Otro aspecto que incide de forma importante en estas escalas son las variaciones en los usos de suelo y el realismo en los modelos de suelo. La evaluación de incertidumbres a escala regional se complica adicionalmente por la baja relación de la señal de respuesta frente a la variabilidad climática interna. Este es especialmente el caso de variables, como la precipitación, no directamente relacionadas con el forzamiento externo, y cuya estimación en sí misma posee ya unas incertidumbres que dependen de otros factores meteorológicos. Los modelos de impacto en los diferentes sectores sensibles a las condiciones climáticas (p. ej., sector hidrológico, agrícola, energético, etc.) añaden fuentes adicionales de incertidumbre que hay que estimar y acotar a la hora de determinar los impactos.
- Efectos de la variabilidad natural: Una fuente adicional de incertidumbre en las proyecciones de clima futuro surge como consecuencia de los efectos de la variabilidad natural. Para un cierto período en el futuro (p. ej., 2071-2100), la variabilidad natural puede reforzar el cambio de origen antropogénico o puede contrarrestarlo. Es importante, por lo tanto, considerar la variabilidad en los

estudios de impacto y adaptación al cambio climático. Como no se puede predecir la variabilidad natural del clima determinísticamente sobre largas escalas temporales, es razonable hacer uso de un *ensemble* de experimentos, cada uno empezando con distintas condiciones iniciales para el sistema océano-atmósfera. Los efectos de la variabilidad natural son mayores a medida que la escala temporal disminuye, siendo más importantes en las escalas entre anuales y decadales. Esto se puede ilustrar mediante el registro de la proyección de la precipitación anual sobre un punto de rejilla en la Península Ibérica calculado mediante tres miembros de un *ensemble* que parten de condiciones iniciales distintas desde 1990 y correspondientes al escenario de emisión SRES A2 utilizando el modelo global CGCM2. Las tres proyecciones para la precipitación anual son muy diferentes cuando se comparan año a año o década a década, lo que indica que la evolución precisa década a década de la precipitación para los próximos 100 años es mucho más dependiente de la variabilidad climática interna que del forzamiento antropogénico del clima. Sin embargo, las tres series sugieren una tendencia a largo plazo hacia una reducción en la precipitación anual. Esta gráfica ilustra el problema de adaptación a las tendencias a largo plazo en el clima a la vez que es necesario gestionar la importante e impredecible variabilidad climática natural que afecta a las escalas anuales y decadales. Las proyecciones climáticas regionalizadas que se presentan en este informe no pueden predecir la precipitación en el rango que va desde 1 a 10 años que está sustancialmente afectada por la variabilidad climática natural. En consecuencia, y para eliminar estas fluctuaciones que enmascaran las tendencias a largo plazo, es recomendable promediar los diferentes miembros de un *ensemble* o utilizar promedios temporales suficientemente largos (p. ej., 30 años) que filtran las oscilaciones naturales del clima.

- **Cambios abruptos:** El sistema climático tiende a responder a los cambios de una forma gradual hasta que cruza algún umbral. Se suele definir como cambio abrupto en el sistema climático aquel en el que el cambio en la respuesta es mucho mayor que el cambio en el forzamiento. Los cambios en los umbrales

son, por lo tanto, abruptos en relación con los cambios que tienen lugar antes y después del cruce del umbral y pueden llevar a un nuevo estado (ALLEY *et al.*, 2002). Las escalas espaciales para estos cambios pueden ir desde la escala global a la local. Los cambios abruptos constituyen otro tipo de incertidumbres que por su misma naturaleza son muy difíciles de estimar. Uno de los cambios abruptos más frecuentemente mencionados es la interrupción de la circulación termohalina. Las actuales simulaciones realizadas en el contexto del TAR y AR4 del IPCC consideran muy probable que la circulación termohalina del Océano Atlántico se reduzca durante el siglo XXI, en promedio, el 25% en el año 2100 para el escenario de emisión A1B. Sin embargo, las temperaturas en la región atlántica se prevé que aumenten a pesar de tales cambios por el efecto mucho mayor del calentamiento asociado a las emisiones de GEI. Se considera muy improbable que durante el siglo XXI la circulación termohalina experimente una gran transición brusca. La Figura 11 (tomada de Schellnhuber y Held, 2002) ilustra otros procesos y áreas que pueden desencadenar cambios bruscos, en los que los efectos locales podrían disparar cambios a gran escala. Entre estos procesos se pueden mencionar la liberación de metano por fusión del permafrost, las válvulas salinas, el colapso de los bosques amazónicos, etc.

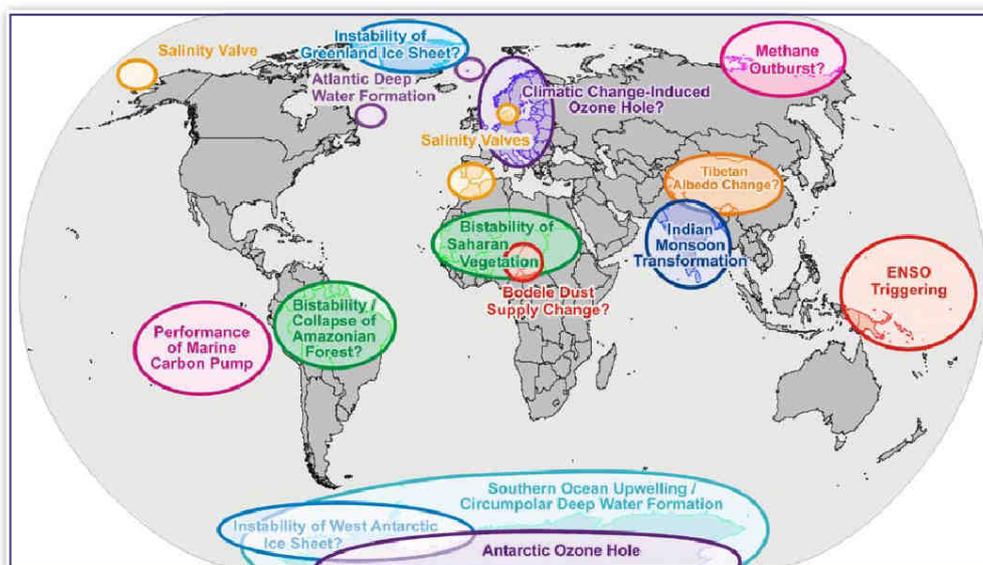


Figura 11: Regiones en las cuáles fenómenos locales y específicos pueden dar lugar a cambios abruptos de gran escala en las condiciones climáticas regionales o globales (Schellnhuber y Held, 2002)

2.2 Evaluación de impactos en los sistemas de recursos hídricos

2.2.1 Introducción

En los siguientes apartados se realiza un análisis de los impactos que el cambio climático puede producir en los sistemas de recursos hídricos, así como de las investigaciones relacionadas con las estrategias de adaptación existentes.

Se presentan los resultados de diferentes estudios desde la escala global hasta el punto de vista local en la cuenca del Júcar.

2.2.2 Cambios a nivel global

En el presente apartado se realizará una introducción sobre los impactos que se espera tenga el cambio climático en los recursos hídricos a nivel global. En este sentido es interesante el documento del Grupo de Trabajo 2 del IPCC “El Cambio Climático y el Agua” de junio de 2008, que se resume en parte.

La radiación solar es la fuente de energía que acciona el ciclo hidrológico. En consecuencia, es previsible que las modificaciones que tienen lugar en el flujo energético sobre la Tierra traigan como consecuencia modificaciones en el ciclo hidrológico, y por tanto, en los sistemas de recursos hídricos. Tal como se ha visto, los modelos climáticos predicen anomalías o variaciones tanto en la temperatura como en la precipitación, de diferentes signos según la zona del planeta que se considere.

De forma general, las simulaciones realizadas mediante modelos climáticos predicen incrementos de la precipitación en latitudes altas y en parte de los trópicos, y disminución en zonas subtropicales y en latitudes medias y bajas. Fuera de estas áreas, las predicciones cambian de unos modelos a otros, dando lugar a un elevado nivel de incertidumbre al respecto de esta variable.

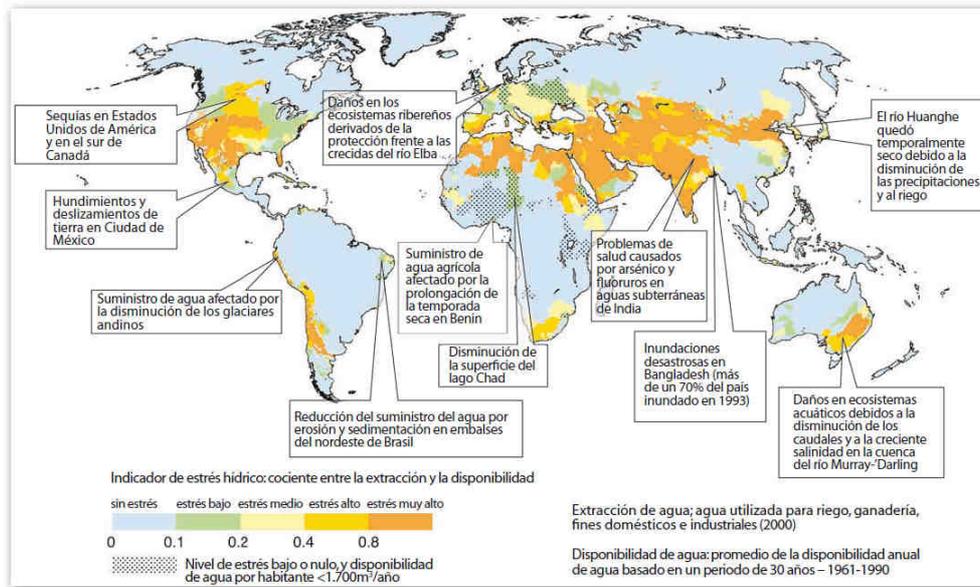


Figura 12: Ejemplos de vulnerabilidad actual de los recursos de agua dulce y de su gestión (IPCC, 2008).

La precipitación es la principal variable en el ciclo hidrológico, y por tanto, su variación es absolutamente determinante en la hidrología y en los recursos hídricos. Los modelos no sólo prevén variaciones en la totalidad del input de precipitación a lo largo del ciclo anual, sino también modificaciones importantes en la frecuencia e intensidad de los fenómenos extremos (inundaciones y sequías), cuya probabilidad de ocurrencia se verá incrementada de forma muy notable durante el siglo XXI, de acuerdo con los resultados de los estudios de modelación realizados.

En cualquier caso, la fiabilidad de los modelos cuando se trata de estimar la precipitación no es demasiado elevada, sobre todo cuando se reduce la escala espacial. Pese a todo, en la macroescala, se obtienen algunos resultados bastante consistentes. De forma general, el incremento del vapor de agua en la atmósfera trae consigo un mayor valor de la precipitación, a nivel mundial, que se traduce en incrementos en torno al 20 % en las latitudes altas, así como en el África oriental, norte de Asia central y Pacífico ecuatorial, así como una disminución del mismo orden en las costas occidentales subtropicales, en el Caribe y en el área del Mediterráneo. En conjunto, el incremento medio mundial de la precipitación sería del 24 %.

Otra variable climática que adquiere una gran relevancia en los recursos hídricos es la evapotranspiración. En este caso, el aumento de la misma se produciría de forma prácticamente por doquier, como consecuencia del aumento generalizado de las

temperaturas. Los cambios de la evapotranspiración terrestre están controlados por los cambios de la precipitación y del forzamiento radiativo, y éstos, a su vez, afectarían al balance hídrico de la escorrentía, a la humedad del suelo, al agua embalsada, al agua subterránea y a la salinización de los acuíferos poco profundos, así como los costeros. Se trata, por tanto, de una variable climática de gran relevancia para los recursos hídricos.

La humedad del suelo es otra variable de cierta relevancia en el ciclo hidrológico, y que depende tanto de la precipitación como de la evaporación, siendo el efecto de ambas variaciones de signo contrario, de tal manera que una mayor evaporación puede compensar sobradamente el incremento de la precipitación. Además, los cambios en las características del suelo originados por las anomalías climáticas y sucesos hidrológicos extremos también tendrán influencia en dicha variable, siendo esta de muy difícil cuantificación. En general, las proyecciones que se realizan a nivel mundial son coherentes en cuanto a su signo, si bien la magnitud de las anomalías o cambios presenta una notable incertidumbre.

Asimismo, la cubierta de nieve, glaciares y casquetes de hielo, durante el siglo XXI perderán masa, debido al predominio del deshielo estival sobre el aumento de la precipitación invernal. Las proyecciones contemplan una disminución de los glaciares y casquetes de hielo cifrada en 0,07 – 0,17 m de aumento del nivel del mar equivalente (NME) respecto de la masa de los glaciares y casquetes de hielo actualmente estimada, cifrada en 0,15-0,37 m de NME.

Los conocimientos actuales acerca de algunos efectos importantes que originan el aumento del nivel del mar son todavía demasiado limitados, aunque todas las proyecciones coinciden en señalar que la tasa promedio de incremento del nivel del mar del siglo XXI supere la registrada en el periodo 1961-2003, aunque con una dispersión muy elevada. La dilatación térmica, con una contribución del 70-75 % de la estimación central de estas proyecciones supone la componente más importante. Los glaciares, casquetes de hielo y el manto de hielo en Groenlandia contribuirían positivamente al aumento del nivel del mar, mientras que el manto de hielo antártico contribuye negativamente al incremento del nivel del mar. En cualquier caso, la

pérdida parcial de los mantos de hielo de Groenlandia, fundamentalmente, podrían ocasionar un aumento del nivel del mar importante, que provocaría cambios de primera magnitud en la línea de costera e inundaciones en áreas bajas, siendo su efecto máximo en los deltas fluviales y en las islas de orografía baja. Ello supondría una afección en los recursos hídricos, al aumentarse la salinización en los acuíferos costeros.

La escorrentía y el caudal fluvial dependen principalmente de los cambios respecto a la magnitud y la cronología de las precipitaciones, y, de si estas son de nieve o de lluvia. También la evaporación afecta a los flujos fluviales. Existen numerosos estudios respecto de los posibles efectos del cambio climático sobre el caudal de los ríos. La gran mayoría de los mismos utilizan un modelo hidrológico de cuenca basado en escenarios vinculados a simulaciones climáticas mediante modelos, y casi todos están planteados a escala de cuenca. Los estudios que analizan las modificaciones en la escorrentía a nivel mundial son todavía escasos y presentan una elevada variación, especialmente en la magnitud de los cambios.

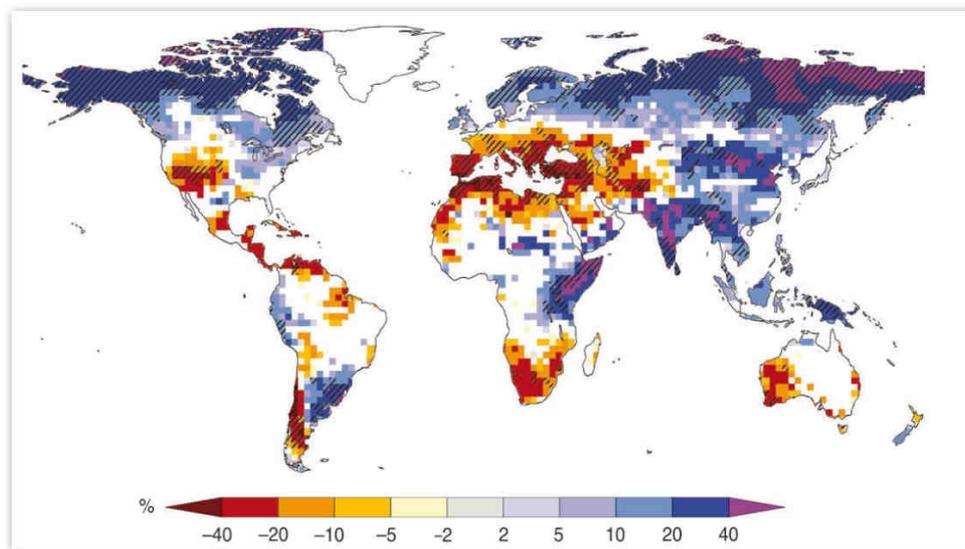


Figura 13: Cambios relativos en gran escala de la escorrentía anual para el periodo 2090-2099 respecto a la de 1980-1999. Las áreas en blanco indican que menos del 66% del agregado de 12 modelos concuerdan en el signo del cambio (IPCC, 2008).

Un resultado especialmente robusto que se obtiene de los estudios realizados, es que el calentamiento induciría cambios en la estacionalidad de los caudales fluviales que reciben gran cantidad de precipitación invernal en forma de nieve, con una

disminución de los caudales en primavera, debido a un deshielo menos abundante o más temprano y a un aumento de los caudales en invierno. En regiones con poca o ninguna nieve, los cambios en la escorrentía dependen en mucho mayor medida de los cambios que experimente la lluvia que de los debidos a la temperatura. La mayoría de los estudios prevén para estas regiones una mayor estacionalidad de los caudales, frecuentemente con caudales más cuantiosos en la estación de flujo máximo, y, o bien una disminución del caudal durante la estación de flujo bajo, o bien unos periodos secos más duraderos.

2.2.3 Evaluación del impacto en España

Por lo que se refiere al estudio del impacto sobre los recursos hídricos en España, el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, presentó en 2011 el documento “Evaluación del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural” en el que se presentan los siguientes resultados:

Los modelos de circulación global, MCG, constituyen la herramienta matemática para la investigación del clima y del papel que juegan diferentes agentes y emisiones en la atmósfera. Trabajan a escalas bajas respecto a procesos como la precipitación o respecto al detalle necesario para estudiar el impacto del cambio climático en el resto de fases del ciclo hidrológico. Esto implica tener que adaptar o regionalizar los resultados de los MCG a escalas más altas para obtener finalmente series de precipitación y temperatura con las que forzar los modelos hidrológicos.

En el mencionado estudio se expone el estudio sobre el impacto del cambio climático en diferentes fases del ciclo hidrológico. Su extensión espacial es España y temporalmente abarca la casi totalidad del s. XXI. Se han utilizado un total de 12 proyecciones climáticas que representan las previsiones del clima en España en función de distintos escenarios de emisiones, A2 y B2; distintos MCG, CGCM2, ECHAM4, HadCM3 y HadAM3; y distintos métodos de regionalización, estadística, FIC y SDSM, y dinámica, RCAO y PROMES. En definitiva, se ha contado con la selección de modelos y técnicas de regionalización realizada por AEMET (2008). Las proyecciones comprenden desde el año 2011 hasta el año 2100 en los casos CGCM2-FIC, ECHAM4-

FIC y HadCM3-SDSM; y desde el año 2071 al 2100 para el resto, HadAM3-FIC, ECHAM4-RCAO y HadCM3-PROMES. Las proyecciones son equiprobables, aunque se tome la media de ellas para elaborar los índices de impacto.

El análisis de impacto se ha realizado estudiando la evidencia de cambio en las series de partida (precipitación y temperatura), así como mediante la simulación de procesos por medio de su implementación en el Sistema Integrado para la Modelización Precipitación Aportación, SIMPA (Ruiz García, 1999) para el análisis de impacto en distintas fases del ciclo hidrológico. Los resultados de la evaluación del impacto en cada variable hidrológica se han obtenido mediante desviaciones del valor medio anual alcanzado en cada uno de los tres periodos del s. XXI, 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, respecto al periodo de control 1961-1990. La variación estacional y mensual también se ha tenido en cuenta por sus repercusiones en la concatenación de procesos hidrológicos.

Las precipitaciones y temperaturas regionalizadas se han implementado en el modelo hidrológico sin realizar transformaciones adicionales, a pesar de haber identificado varios tipos de sesgo al contrastar proyecciones con datos observados durante el periodo de control 1961-1990. Se evita así la alteración de relaciones entre las variables de partida y de los mismos datos con criterios condicionados por cualquiera de los aspectos que aparecen en este estudio, que abarca recursos hídricos, sequías y avenidas.

Las proyecciones presentan unas apreciables diferencias con los datos observados para el periodo de control (1961-1990), siendo esas diferencias más acusadas para las precipitaciones que para las temperaturas. Son debidas a errores de simulación, de proyección regional y a las incertidumbres inherentes a la simulación de procesos atmosféricos.

Las precipitaciones totales anuales presentan diferencias notables en cuanto a media, variabilidad, tendencia y fluctuaciones de ciclos húmedos y secos. Las proyecciones dan precipitaciones medias entre un 15% y un 25% inferiores a las observadas en España. Estacionalmente, todas las proyecciones dan un ciclo anual más suavizado, que no alcanzan los valores medios observados en otoño y superan los observados

durante el verano. Las precipitaciones máximas diarias de las proyecciones también infravaloran la media y la dispersión de las series observadas. Respecto al coeficiente de asimetría, se puede indicar que hay tendencia a infravalorar el de las series observadas. Los sesgos y errores de cada una de las proyecciones varían regionalmente.

Las temperaturas simuladas se ajustan mejor a los datos observados que las precipitaciones. Las temperaturas medias anuales de las proyecciones son superiores en media hasta 3°C (HadAM3-FIC) e inferiores en -1°C (CGCM2-FIC) respecto a los datos observados.

Las proyecciones pronostican una reducción generalizada de la precipitación conforme avanza el siglo XXI. El escenario A2 estima mayores reducciones que el B2, siendo imperceptibles las diferencias entre ambos en la primera mitad del siglo XXI y muy notables al final del mismo. El conjunto de proyecciones en escenario de emisiones A2 supone un descenso de precipitación de -5%, -9% y -17% durante los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, respectivamente. En el escenario B2 estas desviaciones son similares durante los dos primeros periodos, -6%, -8% y más suavizada durante el último, -9%.

ECHAM4-FIC da las mayores reducciones durante los periodos 2011-40 y 2041-70. Durante el periodo 2071-2100 hay una amplia dispersión de resultados de las diferentes proyecciones, oscilando desde un +2% (HadAM3-FIC) y -11% (CGCM2-FIC) hasta el -26% del (HadCM3-SDSM) y -28% (ECHAM4-RCAO). Estas desviaciones varían regionalmente, con los mayores descensos en Canarias y suroeste peninsular y los menores en el Levante. Ninguna de las proyecciones indica cambios notables respecto al ciclo estacional de la precipitación del periodo de control.

La evolución de la temperatura proyectada en los periodos del siglo XXI muestra tendencias crecientes. Los incrementos medios estimados son de aproximadamente +1,5°C para el 2011-2040, de +2,9°C (A2) y +2,5°C (B2) para el 2041-2070 y de +4,8°C (A2) y +3,6°C (B2) para el 2071-2100. Los incrementos de temperatura son mayores en las zonas interiores que en las próximas a la costa.

En España, la media de las proyecciones A2 dan incrementos medios de la evapotranspiración potencial para el escenario A2 entre el +6% (2011-2040), +13% (2041-2070) y el +21% (2071-2100); los B2 son de +7%, +12%, +15% para los mismos periodos. A diferencia del caso de las precipitaciones, los ascensos de evapotranspiración potencial son similares entre las proyecciones. En cuanto a la distribución espacial, el incremento es mayor en el interior de la Península que en las zonas costeras y en algunas cabeceras de las principales cuencas de España. Los cambios no son uniformes en todos los meses y estaciones del año. Los mayores incrementos medios y las mayores diferencias entre proyecciones se dan entre el final de la primavera y el verano; y los menores, entre otoño e invierno. El hecho de que los mayores incrementos de evapotranspiración potencial se den durante meses secos hace esperar que el impacto del ascenso de temperatura y evapotranspiración potencial en la escorrentía sea reducido.

Las proyecciones simulan un ascenso pronunciado de la evapotranspiración potencial lo que provocaría un aumento de la real. Por otro lado, disminuyen las precipitaciones y disponibilidades de agua mensuales, lo que finalmente provoca que la evolución anual de la evapotranspiración real sea decreciente, especialmente en el último periodo de análisis, 2071-2100. Como patrón general se observa que los picos de primavera se adelantan en el tiempo y se reducen. Además, los decrementos significativos de evapotranspiración real se dan entre primavera y verano. En invierno se llega a evapotranspirar más, consecuencia de la mayor evapotranspiración potencial y de unas cantidades de precipitación suficientes. Las proyecciones del escenario A2 están dando unas desviaciones de valores medios para España del -3% para 2011-2040, del -7% para 2041-2070 y del -13% para 2071-2100. Las del B2 dan desviaciones del -5%, -6% y -7% respectivamente.

En los tres periodos hay un descenso de la recarga en España, más acusado en ECHAM4-FIC para los dos primeros periodos y en el escenario de emisiones A2 para el último periodo. Las proyecciones del escenario A2 dan unas reducciones para España del -8% para 2011-2040, del -15% para 2041-2070 y del -26% para 2071-2100. Las del B2 dan desviaciones del -8%, -12% y -15% respectivamente. Hay mayores descensos

porcentuales de la recarga en Canarias y zona silíceo peninsular que en la zona calcárea mediterránea, ya que los valores de referencia 1961-1990 son mayores en la última.

Se pronostica una reducción generalizada de recursos hídricos en España, más acentuada conforme avanza el siglo XXI, si bien hay grandes variaciones entre las reducciones estimadas por las diferentes proyecciones analizadas. Las proyecciones del escenario A2 dan unas reducciones para España del -8% para 2011-2040, del -16% para 2041-2070 y del -28% para 2071-2100; las del escenario B2 son del -8%, -11% y del -14% respectivamente. Estos valores medios deben de tomarse con precaución debido a la amplia dispersión de valores aportados por el conjunto de las proyecciones. Considerando los resultados por proyección, la oscilación es del -2% al -22% para el periodo 2011-2040, del -8% al -34% para el periodo 2041-2070 y del 0% al -40% para el periodo 2071-2100 en el escenario A2. Los valores alcanzados en el escenario B2 son menores, especialmente a partir de la segunda mitad del siglo XXI.

De las proyecciones se derivan mayores descensos porcentuales de escorrentía en verano que en invierno. La reducción de escorrentía del promedio de las proyecciones es más acusada hacia el suroeste de la Península y Canarias. En todo caso, hay que señalar que las variaciones se hacen del orden de magnitud de las escorrentías medias anuales en regiones y estaciones secas, lo que amplifica un índice de impacto calculado exclusivamente en función de valores medios. Regionalmente los resultados cambian apreciablemente en función de la proyección. Así, CGCM2-FIC-A2 tiende a dar reducciones en las cuencas atlánticas y aumentos en zonas mediterráneas; los descensos son pronunciados especialmente en cuencas atlánticas en ECHAM4-FIC-A2; HadCM3-SDSMA2 da desviaciones positivas en zonas atlánticas, submeseta norte y Baleares. En el periodo 2071-2100, HadAM3-FIC-A2 da incrementos en algunas zonas del norte y descensos en la mitad sur, mientras que ECHAM4-RCAO-A2 muestra un patrón contrario. Las variaciones de escorrentía obtenidas en este informe no alteran de manera relevante las previstas en LBAE (MIMAM, 2000a) para el horizonte 2030 y en la IPH (ORDEN ARM/2656/2008) para el horizonte 2027. Tomando como referencia las desviaciones equivalentes obtenidas en el presente informe para 2011-2040 respecto al periodo 1940- 2005 y comparándolas con las publicadas en la IPH y en el LBAE resulta que las disminuciones MIMAM (2000) son inferiores en las cuencas de

carácter húmedo y superiores en las cuencas de carácter más seco. Este aspecto se debe al haber utilizado la formulación de Schreiber-Budyko como base y haber trasladado ascensos de evapotranspiración potencial a la reducción de escorrentía sin haber contemplado la disponibilidad de agua. Los territorios insulares, Baleares y Canarias, constituyen una excepción ya que las cifras de desviaciones calculadas en este informe superan las del LBAE. Debido a los problemas de estacionalidad y escala de las proyecciones de precipitación, la fiabilidad del resultado es menor respecto al resto de las cuencas y se ha decidido no incluirlas en la siguiente tabla de conclusiones.

Demarcación hidrográfica	Disminución (%) para 2030 respecto al periodo 1940-1995 LBAE (MIMAM, 2000)	Disminución (%) para 2011-2040 respecto al periodo 1940-2005 en el presente informe	
		A2	B2
Cantábrico	2	11	8
C.I. Galicia-Costa	2	7	4
C.I. País Vasco (Norte III)	2	11	9
Miño-Sil	3	5	2
Duero	6	7	5
Tajo	7	7	7
Guadiana	11	6	2
Guadalquivir	8	6	8
C.I. Andalucía (Sur, Guadiana II)	7, 8	4	7
Segura	11	5	8
Júcar	9	3	12
Ebro	5	5	5
C.I. Cataluña	5	0	7
Islas Baleares	7	-	-
Islas Canarias	10	-	-
España	5	6	5

Tabla 3: Disminución en porcentaje de los recursos hídricos en las diferentes demarcaciones hidrográficas españolas y comparación con la disminución prevista en el Libro Blanco del Agua en España (CEDEX, 2011).

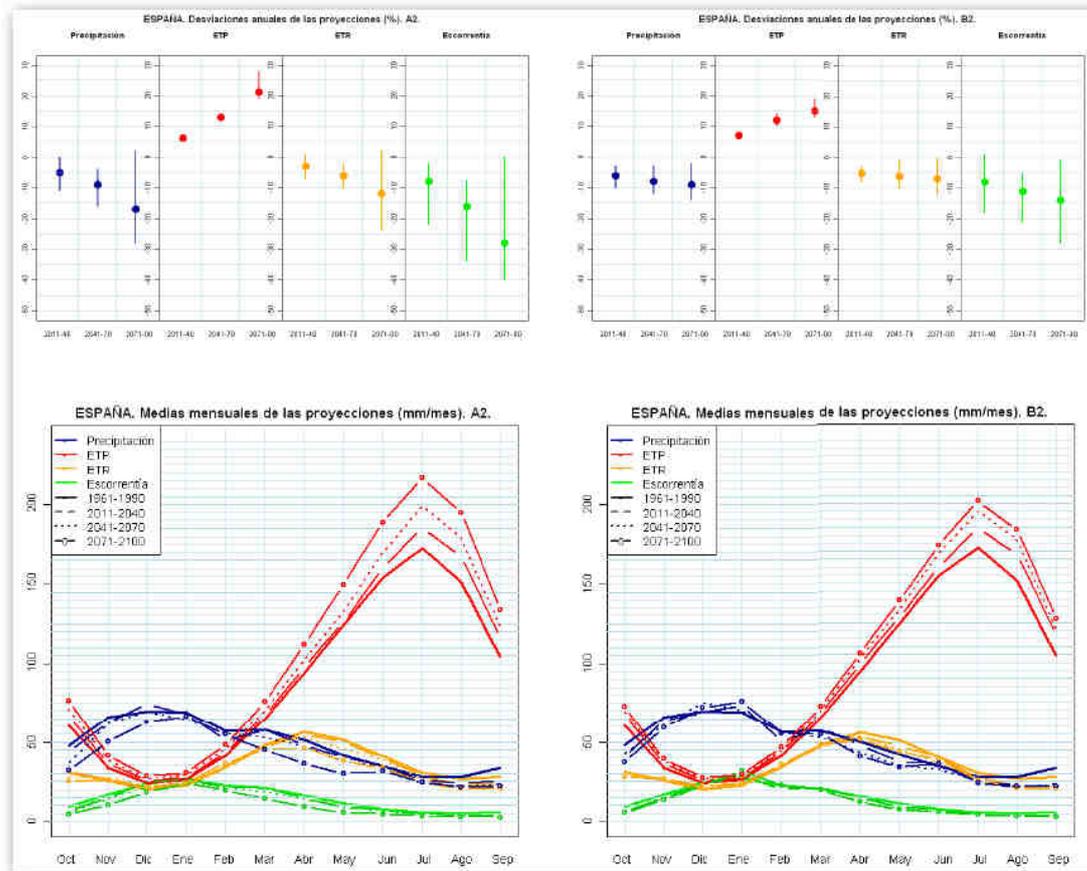


Figura 14: Estimación de la evolución de las variables hidrológicas en España (CEDEX, 2011).

2.2.4 Efectos del cambio climático en la cuenca del Júcar

En los últimos años han proliferado los estudios locales sobre el análisis del impacto del cambio climático, y en la cuenca del Júcar se tienen en la bibliografía algunos ejemplos interesantes.

En el presente epígrafe se presentan los resultados de estos estudios, especialmente de las tesis doctorales de Hernández Barrios, L. (2007) y de Chirivella Osma, V. (2010).

En primer lugar, no obstante se presenta la estimación de la evolución de las variables hidrológicas en la Demarcación Hidrográfica del Júcar, obtenidas en la “Evaluación del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural” (CEDEX, 2011).

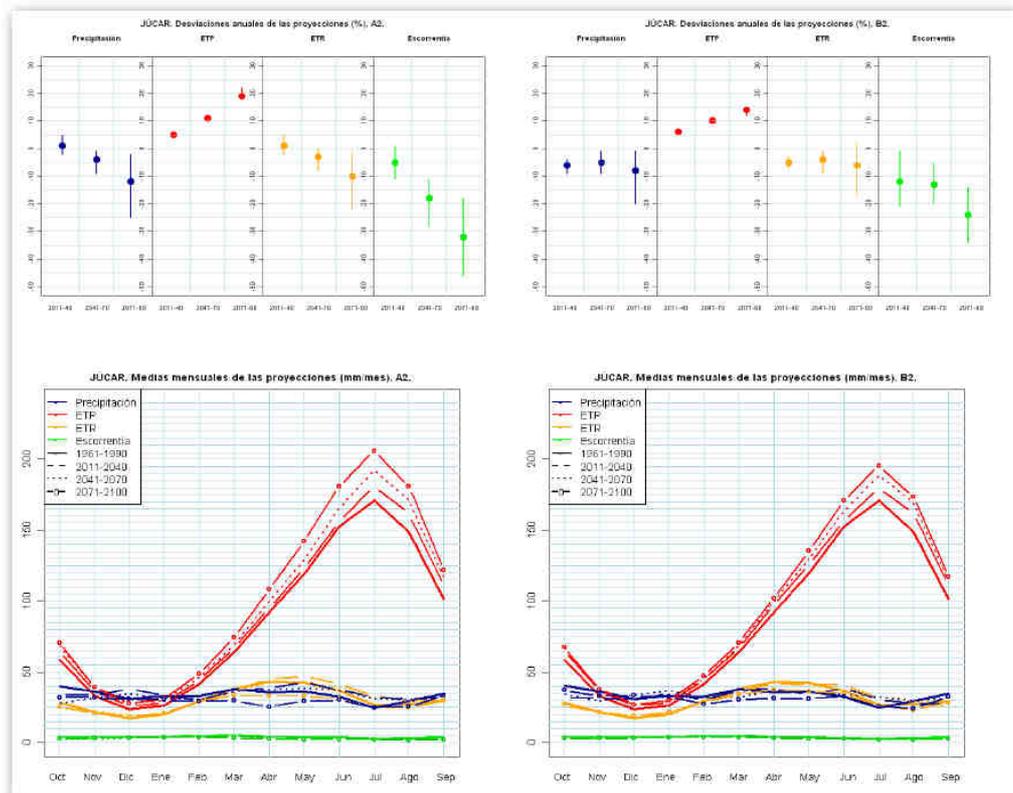


Figura 15: Estimación de la evolución de las variables hidrológicas en la Demarcación Hidrográfica del Júcar (CEDEX, 2011).

En la tesis doctoral de Hernández Barrios (2007) se realiza una evaluación integrada y una cuantificación detallada de los impactos producidos por el cambio climático, con la utilización secuencial de modelos de simulación —climáticos, hidrológicos y de gestión de recursos hídricos—. En este documento, además de realizar la evaluación de los recursos disponibles se implementa el modelo de gestión de recursos hídricos con las demandas futuras, por lo que se obtienen las garantías de suministro futuro previstas en toda la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Los principales resultados extraídos son los siguientes:

- Se han considerado 5 escenarios climáticos, el primero, el escenario cero corresponde a la situación actual del ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar con base al año promedio para el periodo de 1940-2005. Los escenarios 1, 2 y 3 corresponden a los escenarios del INM a partir de los escenarios de emisiones IS92 y que tienen las siguientes características: escenario 1, un incremento medio de la temperatura de 0.8 °C y de 8.6% para la precipitación, para el año promedio del 2010 al 2040. Para el escenario 2 se

considera un incremento de la temperatura de 1.7°C y de 8.2% para la precipitación, para el año promedio del 2040 al 2070 , finalmente, para el escenario tres se considera un incremento de la temperatura de 3.4 °C y de 9.3% para la precipitación, para el año promedio del 2070 al 2100. Los escenarios 4 y 5 corresponden a los del modelo regional de clima PROMES con base a los escenarios SRES y tienen las siguientes características: el escenario 4 considera un incremento de la temperatura media de 3.1°C y una disminución de la precipitación del 19% para el año promedio de 2070 al 2100 y finalmente, para el escenario 5 se prevé un incremento de la temperatura de 4.0 °C y una disminución de la precipitación del 25% para el mismo periodo de tiempo que el escenario 4.

- En resumen, para su distribución espacial en la CHJ todos los escenarios climáticos tienen una misma tendencia en cuanto a la temperatura, que indican que los mayores incrementos de la temperatura se presentarán en el interior de la cuenca, en cambio, los menores incrementos de la temperatura se presentarán en la zona del litoral del Mediterráneo. En cuanto a las precipitaciones es más difícil identificar una tendencia, aunque es claro que para los escenarios obtenidos por el Instituto Nacional de Meteorología (INM) y que utiliza los escenarios IS92 se presentan incrementos de las precipitaciones. Para los escenarios obtenidos por el modelo PROMES que utiliza los escenarios SRES, se presentan disminuciones en las precipitaciones en lugar de incrementos como en los del INM. La no identificación de una tendencia clara en las precipitaciones se debe esencialmente a que la ocurrencia de precipitación en cualquier lugar y momento está ligada a procesos físicos que resultan más difíciles de simular correctamente por los modelos climáticos. En general, las consecuencias del cambio climático pronostican cambios en las características del clima, en donde se presentan escenarios bastantes alarmantes de cara a la disponibilidad de los recursos hídricos en los próximos años.
- Las aportaciones fueron calculadas por el modelo lluvia escorrentía PATRICAL (Pérez 2005), que ejecuta las ecuaciones de balance y transferencia del ciclo

hidrológico para estimar los recursos hídricos subterráneos y superficiales en la CHJ. De los resultados obtenidos se concluye que el cambio climático posiblemente causará una reducción de las aportaciones hídricas en la CHJ. También se concluye que los incrementos en la temperatura tendrán mayores efectos en las aportaciones que los cambios que se presenten en la precipitación, (a pesar de que estas aumenten hasta en porcentajes del 9%, como es el caso de la precipitación media en el escenario 3). Las reducciones en las aportaciones son mayores, cuando, además de incrementar la temperatura disminuye la precipitación hasta en un 25% (escenario 5) lo que ocasiona que se presenten cambios muy críticos en las aportaciones, con reducciones comprendidas entre un 50-60% en las cabeceras de la cuenca, como es el caso de Alarcón, Teruel, Contreras, Benageber, El Molinar y el Regajo que presenta una disminución de hasta el 60% en las aportaciones.

- Del análisis realizado, se concluye que las mayores reducciones previstas para las aportaciones se presentarán en el interior de la CHJ o lo que es lo mismo en la parte alta de los sistemas de explotación del Júcar, Turia y del Palancia, exceptuando la cuenca del Mijares en donde las reducciones en la parte alta de la cuenca son menores. En cambio las menores reducciones en las aportaciones se prevén para la zona del litoral del Mediterráneo, exceptuando la cuenca del Mijares, en donde son mayores. En general, se prevén disminuciones de las aportaciones para Confederación Hidrográfica del Júcar para todos los escenarios climáticos propuestos, lo que se traduce como una disminución de los recursos disponibles. Las reducciones en las aportaciones en promedio son las siguientes: 13.5 % para el escenario 1, 18.4% para el escenario dos, 28% para el escenario tres, 38.4% para el escenario cuatro y 42.6% para el escenario cinco.
- Para la agrupación de las demandas en el modelo de gestión ha sido necesario considerar la superficie total de los cultivos en la cuenca del río Júcar que es de 127 118 ha, los cultivos que predominan son las hortalizas, el arroz, el trigo, los cítricos, la alfalfa y la viña. Las demandas netas son 581 hm³ y las demandas

brutas son 1072 según la campaña 2005/06 de suministro de la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Júcar.

- Las demandas agrícolas se han agrupados en 4 zonas de riego que son: La Ribera Alta, La Ribera Baja, el Canal Júcar-Turia y la Mancha Oriental. Para cada uno de los escenarios se ha considerado la misma superficie y los mismos cultivos, variando las dotaciones netas para cada escenario, que se han obtenido de las dotaciones calculadas en esta tesis.
- Como resultado de la agrupación y valoración de las demandas agrícolas que intervienen en la gestión del sistema de explotación de la cuenca del río Júcar, se concluye que las demandas netas calculadas para todos los escenarios climáticos son mayores que las demandas netas de la situación actual, exceptuando el escenario uno, en el que las demandas son ligeramente menores. Los incrementos en las demandas netas son los siguientes: 3.6% para el escenario 2, 8.5% para el escenario 3, 22.9% para el escenario 4 y de 31.1% para el escenario cinco.
- Obtenidas las demandas netas, y considerando las eficiencias de aplicación proporcionadas por la CHJ se obtuvieron las demandas brutas para cada una de las demandas agrícolas, que son las que se han considerado para la simulación de la gestión del sistema de explotación en la cuenca del río Júcar. Los valores de los incrementos en las demandas brutas para cada uno de los escenarios climáticos, son los siguientes: 4.3% para el escenario 2, 7.9% para el escenario 3, 25% para el escenario 4 y 34% para el escenario 5 HadCM3 PROMES A2. Todos estos incrementos se han obtenido con respecto a las demandas brutas actuales proporcionadas por la CHJ para el año hidrológico del 2005.
- El mayor cambio en volumen de las demandas brutas en las zonas de riego se presenta en la Ribera Alta con 132 hm³ para el escenario 5. El mayor cambio en volumen en las demandas brutas totales es de 370 hm³ que representa un incremento del 35% para el escenario 5 con respecto a las demandas brutas actuales.

- Aunque los resultados obtenidos presentan incrementos en las demandas netas y brutas de los cultivos, posiblemente los regantes, y los mismos cultivos se adaptaran a la nueva situación de cambio climático, si esta se produce, ya sea reduciendo las superficies de cultivo o cambiando de variedad de cultivo o definitivamente optando por otros cultivos que requieran menores dotaciones de riego.
- Los volúmenes embalsados en Alarcón, Contreras y Tous disminuyen con respecto a los volúmenes actuales, en general. Se estima un descenso en los volúmenes para todos los embalses en las siguientes magnitudes: para el embalse de Alarcón se estima una disminución máxima del volumen embalsado del 96 % que corresponde a un volumen de 757 hm³, para Contreras se prevé una disminución del 96% que corresponde a un volumen de 283 hm³ y finalmente para el embalse de Tous se prevé una disminución del volumen embalsado del 79% que corresponde a un volumen de 38 hm³. Estos resultados en la disminución de los volúmenes (757, 283 y 38 hm³) son los que no se podrían embalsar porque teóricamente no se tendrían, debido a una disminución de las aportaciones, por lo que los embases actuales estarían sobredimensionados. Los resultados anteriores corresponden a los obtenidos para el escenario 5 HadCM3 PROMES A2 y representan las condiciones climáticas más críticas, pero igualmente probables, como cada uno de los escenarios climáticos considerados en esta tesis. No obstante, hay que recordar que el escenario cinco corresponde a un incremento medio de la temperatura de hasta 4 °C y una disminución media en la precipitación del 25% estimada para el año 2100.
- En general, las tendencias de las garantías, tanto para el año 1, 2 y 10 con los criterios de UTAH, como para las variaciones de las garantías volumétricas y las garantías mensuales y anuales tienen la misma tendencia en los resultados.
- Los cultivos que componen las demandas agrícolas en el tramo bajo de la cuenca son: hortalizas, arroz y cítricos, estos cultivos incrementan sus demandas consultivas de tal forma que las demandas agrícolas incrementan en

porcentajes que van desde un 5 hasta un 72% para los escenarios 3, 4 y 5. Además de los incrementos en las demandas hay que considerar que para esos escenarios las aportaciones en el embalse de Tous (que también se encuentra en el tramo bajo) disminuyen entre un 60 y 80%, con estas disminuciones en las aportaciones, los niveles en el embalse de Tous descienden de un 50 a un 96%, por lo que prácticamente es imposible satisfacer las demandas agrícolas en el tramo bajo de la cuenca para los escenarios 3, 4 y 5.

- Para el tramo medio de la cuenca en la Mancha Oriental los cultivos considerados son: trigo, maíz, alfalfa y la viña. La superficie cultivada en esta zona es la mayor de la cuenca (63% del total de la superficie) y la que también presenta las mayores demandas agrícolas, aunque también es la que presenta menores incrementos en las demandas con incrementos que van de 12 a 32 %.
- Los cambios en las disminuciones de las aportaciones en el embalse de Alarcón van del 18 hasta 49% lo que origina una disminución en el volumen del embalse que va del 17 al 96%. Aunque el embalse de Alarcón se encuentra la parte alta de la cuenca y tiene influencia directa en las demandas del tramo medio, para la gestión del sistema estos descensos no afectan de manera sustancial en las garantías de las demandas agrícolas, debido a que estas demandas son abastecidas por aguas subterráneas. Por esta razón, los resultados de la gestión del sistema muestran que no existe un déficit en las garantías de las demandas agrícolas en el tramo medio de la cuenca.
- En cuanto a las demandas urbanas, los resultados de la gestión muestran que no existe en general un déficit de las demandas, ya que su abastecimiento es principalmente por aguas subterráneas y en algunos tramos del sistema se abastecen por aguas superficiales, además de lo anterior, en la gestión del sistema las demandas urbanas tienen mayor prioridad para ser abastecidas que las demandas agrícolas.
- Los resultados de las simulaciones de la gestión del sistema, indican que con las disminuciones en las aportaciones y los incrementos en las demandas agrícolas, disminuyen notablemente las garantías del sistema con respecto a la situación

actual, y ya no es posible cumplir las garantías de las demandas agrícolas en casi todos los escenarios climáticos.

En la tesis doctoral de Chirivella Osma (2010) se plantean dos objetivos principales: el primero de ellos es el desarrollo, para el territorio de la Confederación Hidrográfica del Júcar, del 2º Objetivo del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, para ello se han procesado los escenarios facilitados por la AEMET para el período 2010 – 2040 (obtenidos con técnicas estadísticas de downscaling, sobre modelos globales del TAR 2001), y evaluado, mediante el uso del modelo lluvia – escorrentía PATRICAL, su impacto sobre los recursos hídricos; el segundo objetivo es el de obtener la primera regionalización mediante downscaling dinámico para las próximas décadas en el territorio de la CHJ y a partir de resultados de modelos globales del Cuarto Informe del IPCC de 2007, y la posterior evaluación de su impacto sobre los recursos hídricos.

Para conseguir los objetivos mencionados se procesan para el territorio de la Demarcación Hidrográfica del Júcar los datos facilitados por la AEMET, en su “Informe de Generación de escenarios climáticos regionalizados de cambio climático para España” correspondientes al período 2010 – 2040, y que se sustentan en los siguientes once escenarios climáticos:

Método downscaling	Escenarios	Modelo Global	Nº Escenarios
SDSM – INM	A2, B2	HadCM3	2
Análogos FIC	A2, B2	CGCM2, ECHAM4	4
Análogos INM	A2, B2	CGCM2, ECHAM4	4
Análogos INM	Is92a	HadCM2	1
TOTAL Nclima:			11

Tabla 4: Escenarios AEMET de downscaling estadístico para el período 2011-2040 (Chirivella Osma, 2010).

Para cada uno de estos escenarios se evalúa, mediante el uso de PATRICAL, los impactos en los recursos hídricos, de cada uno de los once y para cada una de las tres próximas décadas (2011-2020; 2021-2030; 2031-2040).

Además, también se realiza una aportación en este estudio con la generación de nuevas proyecciones climáticas para las próximas décadas en el territorio de la CHJ, mediante downscaling dinámico, utilizando el RCM RegCM3, y la posterior evaluación de su impacto sobre los recursos hídricos.

Finalmente, y con el desarrollo de la investigación, las principales conclusiones extraídas en la tesis doctoral de Chirivella Osma (2010) son las siguientes:

- Los escenarios AEMET de 2008 reproducen bien la temperatura del ámbito territorial de la CHJ en el periodo de control, pero, en general, subestiman la precipitación (con una desviación media del -20%). Los escenarios obtenidos a partir de los datos del modelo global HadCM2 son los que mejor reproducen ambas variables.
- Las anomalías en la precipitación previstas por estos escenarios presentan una gran dispersión: valores entre -17.4% y 13.6%, con un valor medio de -4%. En el caso de las temperaturas la dispersión es menor: valores entre 0.6°C y 2.34°C, con un valor medio de 1.52°C.
- La principal conclusión después de analizar el binomio anomalías – impacto en los recursos hídricos, es que éstos son especialmente sensibles a la distribución de las anomalías, tanto espacial (a través del ámbito de la CHJ, siendo mayor el impacto de las anomalías en las zonas de cabecera) como temporal (a lo largo del año, siendo mayor el impacto de las anomalías de otoño e invierno).
- La dispersión de anomalías se traduce en la dispersión en los impactos: valores entre un mínimo de -24.5% y un máximo de 33.3%, con un valor medio de -2.13%. Esta tendencia se mantiene si analizamos la recarga de los acuíferos del ámbito territorial de la CHJ: las recargas totales disminuirían un -1.4% (media de todos los escenarios), pero con oscilaciones entre -11.8% y 15.3%
- Adicionalmente, se presenta una regionalización climática obtenida con *downscaling* dinámico. El modelo empleado es RegCM3, con datos de clima futuro procedentes del modelo global ECHAM5, T63L31, y considerando el escenario de emisiones A1B.
- Como periodo de control se ha considerado la década 1990 – 2000, y en el se han testeado distintos esquemas de precipitación convectiva, resultando el esquema Grell Scheme implementado con AS74 el más adecuado para reproducir las condiciones climáticas del ámbito de estudio.

- El proceso de downcaling se ha realizado en dos estadios: primero sobre toda la Península Ibérica (ámbito *nested*); y un segundo, con los resultados del anterior, sobre el ámbito de la CHJ (ámbito *coarse*). Se observa una clara mejora en la caracterización del clima al realizar este doble *downcaling*.
- Las anomalías previstas en este escenario son: disminución de 95 mm/año (-19.77 %) en la precipitación, y un aumento de 0.75 °C en la temperatura media, durante el periodo 2010 -2040. El impacto previsto sobre los recursos hídricos analizados supone una reducción de -21% en la suma de las cuencas del Júcar, Turia y Mijares. En la recarga prevista de los acuíferos del ámbito territorial de la CHJ, se obtiene una disminución similar a la de los recursos hídricos: -18.7%
- Al comparar los escenarios AEMET con el dinámico, se concluye que:
 - i) La relación entre la **señal**, entendida como el valor absoluto de la diferencia entre la proyección regionalizada para el período 2010-2040 y la regionalización del período de control (1960-1990 para los escenarios AEMET, y 1990 – 2000 para el escenario con downscaling dinámico), y el **error**, entendido como el valor absoluto de la diferencia entre la regionalización del período de control y la observación, es tal que:
 - a. la relación señal - error, en general, es mayor para las temperaturas que para la precipitación, debido a que los errores son mucho menores
 - b. la relación señal – error en el caso de las precipitaciones, presenta valores anormalmente bajos en muchos de los escenarios AEMET
 - ii) Los impactos obtenidos con los once escenarios AEMET presentan valores dispares: algunos generarían más recursos en los puntos analizados del ámbito de la CHJ; otros provocarían la disminución de los mismos. Tampoco existe una clara tendencia en los resultados a lo largo de las tres décadas analizadas (2010-2020; 2020- 2030; 2030-2040).

iii) El escenario futuro obtenido con técnicas dinámicas de downscaling arroja resultados más pesimistas: los recursos hídricos disminuirían considerablemente bajo esta hipótesis. Lo mismo ocurre con las recargas de los acuíferos del ámbito de la CHJ.

2.2.5 Análisis hidroeconómicos

Por lo que se refiere a análisis hidroeconómicos sobre el impacto del cambio climático en los sistemas de recursos hídricos en cuencas españolas, se dispone de un Trabajo Final de Máster de Xiomara Lozano Gómez titulado *“Modelo hidroeconómico para el análisis del impacto de cambio climático. Aplicación a la cuenca del río Serpis”* presentado en 2010, y elaborado en el mismo equipo de investigación en que se enmarca el presente proyecto.

Las conclusiones del mencionado trabajo son las siguientes:

- Se ha desarrollado una metodología que permite hacer uso de los resultados de los escenarios de cambio climático generados para Europa, con el fin de analizar el cambio en la hidrología de un sistema específico de recursos hídricos y sus repercusiones económicas mediante el empleo de un modelo hidroeconómico.
- La metodología propuesta requiere del empleo de modelos de simulación de forma secuencial, con el fin de analizar el efecto del cambio climático en un sistema, llevando a cabo la corrección, de la "serie hidrológica original " del sistema, con la variación en las principales estadísticas (media y desviación estándar) estimada a partir de las series del Proyecto PRUDENCE. La aplicación de la metodología desarrollada se ha realizado en la cuenca del Serpis.
- Para final del s. XXI se espera en la cuenca del Serpis un aumento significativo en las temperaturas medias de alrededor de 3,5°C para toda la cuenca y una disminución en la precipitación de entre el 25-30% según las proyecciones disponibles de cambio climático para los modelos MPI y GKSS

- El cambio de temperatura será mayor en la franja litoral para ambos modelos; en el caso de las temperaturas mínimas el incremento en las mismas tienden a ser más bajas en el caso del modelo MPI y para las temperaturas máximas el menor incremento se presenta con el modelo GKSS.
- Para la precipitación, se observa que en la parte media baja de la cuenca el modelo MPI presenta una disminución mayor de las precipitaciones y en el caso del modelo GKSS las mayores disminuciones se presentan en los meses de agosto y septiembre, esto indica que hay mayor dispersión de resultados entre los modelos.
- Del análisis realizado, se concluye que las mayores reducciones previstas para las aportaciones se presentan para las simulaciones realizadas con el modelo GKSS, por tanto se presenta más inconvenientes para la satisfacer las garantías de suministro de agua a las unidades de demanda agrícolas analizadas, principalmente para aquellas aguas abajo del embalse de Beniarrés.
- Las variaciones de las dotaciones de los cultivos de alfalfa y cítricos tienen una tendencia a la alza, es decir se incrementan en los escenarios climáticos. Los mayores incrementos de las dotaciones de riego se presentan en la zona de la costa, y principalmente en aquellas unidades de demanda donde la alfalfa está presente.
- Los incrementos de las dotaciones en la zona media-baja de la cuenca se deben principalmente porque las temperaturas son mayores en esta zona, se tienen mayores evapotranspiraciones y por lo tanto mayores requerimientos de riego. En cambio, las menores evapotranspiraciones se presentan en el interior de la cuenca, porque es donde también se presentan las menores temperaturas, como consecuencia se presentan también las menores dotaciones de riego.
- Para la hidrología generada (periodo 2071-2100) aplicando la metodología propuesta, se consideraron dos posibles escenarios de gestión: a) no modificar las reglas de operación, limitando el bombeo máximo anual a los valores históricos b) incrementar los bombeos máximos anuales hasta alcanzar déficit

máximos iguales a los históricos (que permiten el sostenimiento agronómico de los cultivos).

- Manteniendo los bombeos máximos históricos se produciría grandes déficits que supondrían la destrucción de los cultivos de cítricos existentes en la zona, por lo que no sería realista el llevar a cabo una valoración económica del coste de escasez a partir de las curvas de demanda en estos escenarios con déficit extremos.
- El incremento de los bombeos imponiendo que el déficit máximo no supera al existente en el periodo histórico llevaría asociado un incremento en los costes de explotación (costes de bombeo) aproximado de 2.6 millones € y agravaría la situación de sobreexplotación a la que se encuentran sometidos algunos de estos acuíferos.
- Algunos modelos Regionales del clima como los aportados por el Proyecto PRUDENCE tienden a sobrestimar los datos de las series climáticas e hidrológicas. Es conveniente hacer una exhaustiva investigación para seleccionar aquellos mejor adaptados al área de estudio.
- La evaluación del coste de escasez en escenarios futuros requiere de la habilidad del modelador para proyectar las demandas y generar escenarios realistas. En todo caso, este tipo de análisis nos orienta sobre el diseño de políticas de adaptación de la planificación y gestión de sistemas de recursos hídricos a largo plazo para mitigar las consecuencias del cambio climático.

2.2.6 Estrategias de adaptación

2.2.6.1 Estudios internacionales

Un cambio en la magnitud y distribución temporal de las aportaciones a los embalses de una cuenca alteraría las funciones para las que fueron diseñados con las reglas de operación actuales: control de avenidas, abastecimiento urbano, a la agricultura y a la industria, generación hidroeléctrica, servicios ambientales, navegación y usos recreativos. Es importante explorar el potencial para mitigar los efectos del cambio climático sobre los sistemas de recursos hídricos, con el fin de ayudar a gestores y

decisores a comprender el rango completo de alternativas de gestión viables. En definitiva, el impacto final del cambio climático dependerá de la capacidad de adaptación del sistema. El análisis del impacto de hipotéticos escenarios de cambio climático requiere de la ayuda de modelos matemáticos de análisis de sistemas. Sin embargo, en la literatura sólo se disponen de un reducido número de trabajos de investigación en los que se analicen los impactos del cambio climático en la gestión de sistemas recursos hídricos mediante modelos de gestión a escala de cuenca.

California ha sido pionera en los estudios de la influencia del cambio climático en sistemas de recursos hídricos, y es la región en la que más estudios de este tipo se han llevado a cabo. Lettenmaier y Sheer (1991) y Sandberg y Manza (1991), examinaron las implicaciones de los escenarios de cambio climático en el State Water Project y el Central Valley Project mediante modelos de simulación. La mayoría de los estudios posteriores sobre el impacto del cambio climático en California también se basan en modelos de simulación (ej. Knowles and Cayan 2004). Fowler et al. (2007a) utiliza también un modelo de simulación de la gestión con uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas para estudiar los efectos del cambio climático en el noroeste de Inglaterra. Una excepción a este enfoque de simulación es el modelo de optimización CALVIN, desarrollado por Lund et al. (2003). En el trabajo descrito en Tanaka et al. (2006), *Climate warming and water management adaptation for California*, en *Climatic Change*, se analiza mediante un modelo de optimización económico-ingenieril la capacidad del sistema de recursos hídricos de California a adaptarse a cambios climáticos y demográficos globales a largo plazo. Los resultados muestran que el sistema tiene una gran capacidad técnica y económica de adaptación mediante cambios en la operación de embalses y acuíferos y nuevas estrategias de uso conjunto.

Tras California, destaca el Reino Unido en los estudios de evaluación de impactos en los recursos hídricos. El UKCIP (United Kingdom Climate Impacts Programme) surge para dotar a los gestores de la información necesaria sobre los impactos debidos al cambio climático y poder así adoptar las políticas de adaptación necesarias. Pretende integrar los estudios sobre modelización de Cambio Climático con los estudios de impacto. Pone especial énfasis en la gestión de los recursos hídricos (Chirivella, 2010).

Ha realizado algunos estudios sectoriales, sobre la influencia del Cambio Climático en los recursos hídricos. En concreto, para DEFRA (Department for Environment Food and Rural Affairs) destacan los siguientes:

- Analizar los escenarios climáticos considerados y la metodología seguida. Especial tratamiento tienen los fenómenos extremos (sequías).
- Analizar los escenarios socio económico posibles, que afectarán a la demanda.
- Analizan distintas políticas de gestión: transferencias entre cuencas, usos del suelo, requerimientos medioambientales del agua.
- Para cada combinación de escenarios climáticos y escenarios socio económicos, evalúa los impactos del Cambio Climático, así como las medidas adaptativa posibles.

En definitiva, se transmite aquí el mismo afán que el desarrollado en California, quizá a menor escala, con menor detalle, pero que integra las mismas inquietudes y variables a sus estudios: modelos climáticos acoplados con modelos de impactos, evaluación de los mismos ante distintas políticas de gestión de los recursos hídricos, especialmente ante cambios en la demanda.

2.2.6.2 Estudios en España

Como se ha comentado en la introducción, en España no se han llevado a cabo aún estudios cuantitativos de adaptación de la gestión de sistemas de recursos hídricos al cambio climático que integren análisis hidrológico y económico. Se emplearon modelos preliminares de simulación de la gestión de los sistemas de algunas cuencas en los trabajos desarrollados por el CEDEX para la elaboración del Libro Blanco del Agua y los documentos técnicos del Plan Hidrológico Nacional, y en los trabajos de investigación de las tesis doctorales de Fernández (2002), Rodríguez-Medina (2005) y Hernández-Barrios (2007).

En la revisión de la bibliografía existente sobre estrategias de adaptación cabe mencionar los resultados de los estudios del proyecto "Vulnerabilidad, impactos y adaptación al cambio climático: Estudio integrado sobre agricultura, recursos hídricos y

costas (ARCO)" que se menciona en el Segundo Informe de Seguimiento del PNACC (PNACC, 2011). Entre ellos se recoge a continuación la metodología descrita en el trabajo de Lama, B., Garrote, L., Martín Carrasco, F. y Sordo Ward, A. (2010): *“Metodología de evaluación de sistemas de recursos hídricos en escenarios de cambio climático”*:

- Se propone un sistema de indicadores, basados en la fiabilidad, calidad operativa del suministro de agua y el grado de aprovechamiento de los recursos, que permiten diagnosticar los problemas de escasez de recursos superficiales en un sistema de agua e identificar las actuaciones adecuadas para solucionar este problema. La evaluación del sistema con estos indicadores bajo escenarios de cambio climático, permite cuantificar la modificación de las prestaciones del sistema de explotación bajo estas hipótesis de solicitud hidrológica. A partir de la diagnosis del sistema se perfilan las opciones de adaptación necesarias para reducir o evitar la escasez de agua, indicando en qué medida son suficientes actuaciones del lado de la demanda y/o del lado de la oferta.
- El proceso metodológico de análisis se configura del siguiente modo: (i) Elaboración de proyecciones hidrológicas, que permitan estimar la disponibilidad hídrica futura bajo la hipótesis de cambio climático; (ii) Configuración de un modelo de optimización del sistema de explotación, que permita conocer la respuesta del sistema a una demanda global; y (iii) Evaluación del sistema a través de un conjunto de indicadores, que cuantifiquen el rendimiento del mismo, la calidad del servicio y el nivel de uso de los recursos.
- El estudio del impacto del cambio climático en los sistemas de recursos hídricos necesita de proyecciones hidrológicas fiables y de buena calidad, en forma de series temporales de larga duración construidas a escalas temporal y espacial adecuadas. La relación existente entre la información hidrológica y la metodología de análisis desarrollada se deduce la relación habitual entre las

condiciones hidroclimáticas y los estudios de planificación a largo plazo en la gestión de los recursos hídricos.

- El modelo de optimización debe ser una representación simplificada del sistema de aprovechamiento de la cuenca, que recoja adecuadamente las entradas de agua, la infraestructura hidráulica y su interconexión, y la distribución espacial de las demandas. Las variables del modelo deben ser mensuales, correspondiendo con la periodicidad habitual en las labores de planificación. Tras la optimización del sistema con distintas entradas de agua, la relación detallada de las demandas (volúmenes) paralelamente a los correspondientes suministros (volúmenes y garantías con las que han sido servidos), permiten describir el comportamiento del sistema de explotación.
- Los indicadores elegidos para la evaluación del sistema tienen como fundamento el cálculo de la garantía con la que se sirven las demandas. Las demandas de un sistema hidráulico se pueden agrupar en diversas categorías dependiendo del uso que se hace del agua y de su importancia para la cuenca. Para cada categoría, se determina el nivel de garantía aceptable, r_k , con el que debe ser servida dependiendo de su naturaleza y de los requisitos para el uso del agua.
- Para realizar una diagnosis amplia, que manifieste la vulnerabilidad del sistema a la escasez de agua y que permita definir el tipo de medidas para solucionar este problema, es necesario definir un conjunto de indicadores que sirva de herramienta de análisis en los aspectos importantes del funcionamiento del sistema. Los indicadores utilizados permiten evaluar: (i) La capacidad del sistema para atender sus demandas; (ii) La capacidad del sistema para atender sus demandas con garantía aceptable; (iii) El nivel de uso de los recursos; y (iv) La capacidad del sistema para mejorar sus prestaciones.
- En función del nivel que tengan los indicadores de satisfacción y calidad, y de las combinaciones que puedan darse entre ellos, se determina la gravedad de los problemas de falta de suministro que pueden aparecer en el sistema. Las soluciones más adecuadas para resolver la escasez y/o mala calidad del servicio

dependen del valor combinado de los cuatro indicadores. Simplificando el tipo de soluciones, se pueden catalogar en: (A) Actuaciones sobre las demandas, aconsejadas cuando el nivel de explotación de los recursos es alto; (B) Obras de regulación; (C) Movilización de recursos adicionales, es decir, fuentes no superficiales y/o no convencionales; y (D) Acciones no estructurales, idóneas en sistemas con un elevado indicador de satisfacción. Distintas medidas pueden contribuir a solucionar un mismo problema; una medida puede hacer frente a distintas cuestiones. Todas las medidas pueden diseñarse con diferente gradación según la intensidad del problema a resolver.

En la misma línea se encuentra el trabajo de Pulido-Velázquez, D., Garrote, L., Andreu, J., Martín-Carrasco, F.J., Iglesias, A. (2011) *“A methodology to diagnose the effect of climate change and to identify adaptative strategies to reduce its impacts in conjunctive-use systems at basin scale”*, aunque en este trabajo se utilizan modelos de simulación de la gestión (en lugar de modelos de optimización) y se incluyen indicadores sobre los recursos sin regulación del sistema, y un indicador de aprovechamiento de los recursos —tanto superficiales como subterráneos— a partir de los cuales se pueden definir las estrategias de adaptación a nivel general.

3.- Metodología

3.1 Introducción

El proceso metodológico para la evaluación integrada de los impactos del cambio climático en los sistemas de recursos hídricos complejos, requiere del empleo de diversos modelos de simulación anidados de forma secuencial. Esto se debe al elevado nivel de complejidad y de interacción de los distintos elementos que conforman los sistemas de recursos hídricos tanto en sus aspectos cuantitativos como en los aspectos de calidad química y ecológica del agua y en sus repercusiones socio-económicas (Hernández Barrios, 2007).

En los siguientes epígrafes se trata de describir la metodología que se propone para la realización de un análisis hidroeconómico de la adaptación de un sistema de gestión de recursos hídricos a los retos que se plantean con la consideración de los escenarios futuros de cambio climático. De un modo sintético, se resume a continuación la secuencia de operaciones que se han realizado, para pasar posteriormente a una descripción más detallada:

1. Selección de escenarios climáticos.
2. Obtención de datos climáticos futuros para la zona de estudio.
3. Implementación de un modelo lluvia – escorrentía para obtener las aportaciones futuras.
4. Cálculo de las demandas futuras.
5. Implementación de un modelo de gestión de recursos hídricos (Aquatool).
6. Análisis hidroeconómico de los resultados de la gestión.
7. Plantear estrategias de adaptación en el sistema de gestión y analizarlas mediante los modelos hidroeconómicos.

En la siguiente figura se presenta un diagrama de flujo en el que se trata de esquematizar la metodología propuesta.

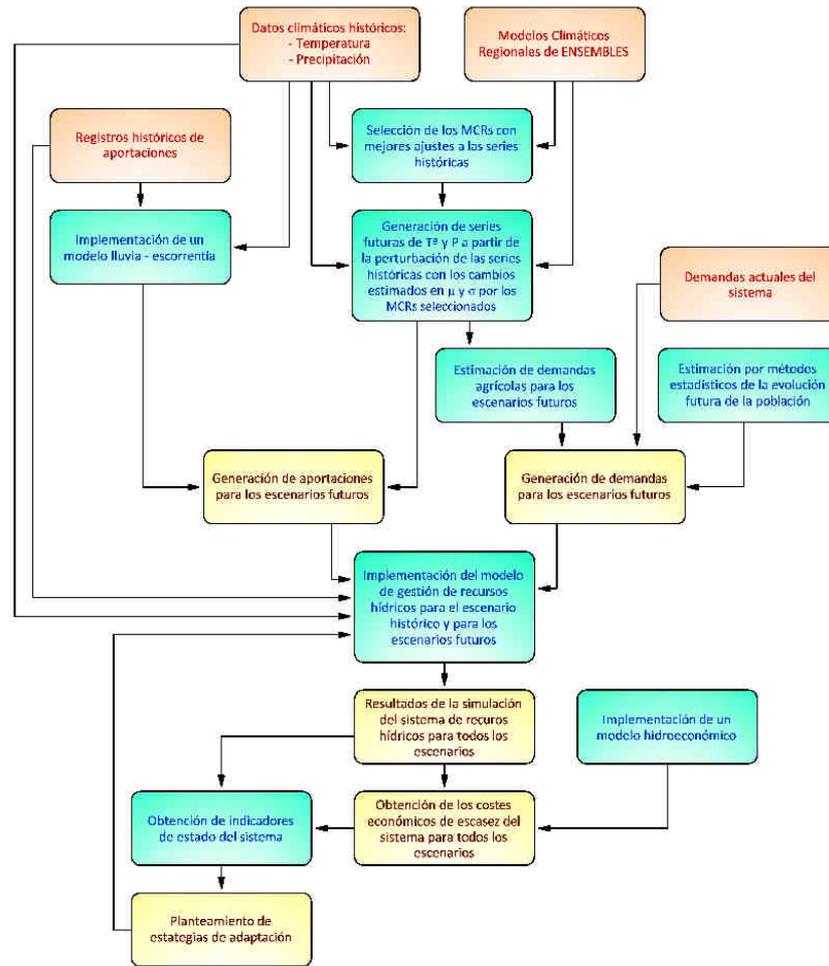


Figura 16: Esquema de la metodología propuesta

3.2 Selección de escenarios climáticos

La evaluación de los impactos del cambio climático en los sistemas de recursos hídricos requiere disponer de datos climáticos base —escenarios históricos— y escenarios climáticos regionales futuros con que realizar las hipótesis de estimación de los impactos.

Los datos climáticos históricos han sido obtenidos del estudio *Development and analysis of a 50-year high-resolution daily gridded precipitation dataset over Spain* (Spain02) (Herrera et al., 2010), a partir del cual se han obtenido precipitaciones y temperaturas mensuales históricas entre 1950 y 2003, y con una resolución de malla de 0,2º (aproximadamente celdas de 20x20 km).

Los datos de los escenarios climáticos futuros se obtienen de los resultados del proyecto ENSEMBLES (ENSEMBLES, 2009). Como ya se ha referido en el estado del

arte, ENSEMBLES trabaja con el escenario A1B y con 15 modelos regionales de clima diferentes, cuyas series de control oscilan entre 1961 y 2000 (ERA 40) y las series futuras entre 1951 y 2100. Tiene una resolución espacial para los datos de las variables a escala mensual de 50x50 km ó 25x25 km, mientras que para el caso de datos diarios, la resolución es de 44x44 km ó 22x22 km. Opera con una amplia gama de variables con son: la precipitación, la temperatura (máxima, mínima y media), la humedad (máxima, mínima y media), la evapotranspiración, la radiación (de onda corta o larga), la velocidad del viento, la dirección del viento, etc.

RCM	GCM	ERA40	METO- HC, Std	METO- HC, Low	METO- HC, High	MPIMET	IPSL	CNRM	NERSC	CGCM3	Total
METO-HC HadRM		1961–2002	1951–2100	1951–2100*	1951–2100*	1951–2100					4
MPIMET REMO		1961–2002				1951–2100	1951–2050*				2
CNRM ALADIN		1961–2002						1951–2050			1
DMI HIRHAM		1961–2002				1951–2100*		1951–2100	1951–2100*		3
ETH CLM		1961–2002	1951–2100								1
KNMI RACMO		1961–2002				1951–2100					1
ICTP RegCM		1961–2002				1951–2100					1
SMHI RCA3		1961–2002		1951–2100*		1951–2100*			1951–2100		3
UCLM PROMES		1961–2002	1951–2050	1951–2050							1
C4I RCA3		1961–2002			1951–2100*	1951–2050*					2
GKSS CLM		1961–2002					1951–2050*				1
Met.No HIRHAM		1961–2002	1951–2050						1951–2050*		1
CHMI ALADIN		1961–2002						1951–2050*			1
OURANOS* CRCM		1961–2002								1951–2050*	1
EC* GEMLAM		1961–2002									
VMGO* VMGO			1951–2050*								1
Total			3	3	2	7	2	3	3	1	25

Tabla 5: Simulaciones temporales de los distintos Modelos Climáticos Regionales del proyecto ENSEMBLES con una resolución de 25x25 km (ENSEMBLES, 2009).

Así pues, la primera tarea ha sido la de escoger cuáles de los 15 modelos climáticos regionales del proyecto ENSEMBLES presentan los mejores ajustes para las series históricas en el ámbito de estudio.

Para ello, partiendo de la hipótesis que los modelos con mejor ajuste entre las series de control y las históricas proporcionan las proyecciones más fiables de cambio climático para el ámbito de estudio, se comparan los principales estadísticos —media y desviación típica de precipitación y temperatura— de las series de control de cada modelo con las series históricas en el periodo 1961-2000. Para facilitar la comparación

entre modelos se analizaron las series agregadas o representativas de la intensidad total de la variable en el ámbito de estudio.

Para sintetizar la bondad de los ajustes obtenidos se define un indicador (I_d) como la sumatoria (para los doce meses del año medio representados en las figuras) del valor absoluto de la distancia relativa entre la media de la serie histórica y el escenario de control (diferencia entre la media de la serie histórica y el escenario de control, dividida entre la serie histórica).

Con estos valores se lleva a cabo un análisis multiobjetivo para detectar aquellos modelos que son “inferiores” al resto en cuanto a la bondad de la calibración obtenida, es decir aquellos que quedan fuera de la frontera. Este análisis multiobjetivo consiste en la comparación de todos los modelos entre sí para la eliminación de aquellos que son “peores” que alguno de los modelos en todo (calibran peor todas las variables consideradas: media y desviación estándar de la precipitación y de la temperatura). Así se eliminan los modelos que presentan peores ajustes, quedando aquellos que presentan una mejor adaptación a los datos históricos.

3.3 Obtención de datos climáticos futuros para la zona de estudio

Con el fin de lograr el objetivo de estudiar el efecto del cambio climático en un sistema de recursos hídricos, es necesario caracterizar la hidrología y las demandas esperadas en situación futura (escenarios) para analizarlas mediante un modelo de gestión, que en esta investigación será definido a escala mensual.

Aunque hay una extensa literatura sobre las fortalezas y debilidades de los métodos de reescalado de variables climáticas, se ha prestado una escasa atención al reescalado para examinar impactos del cambio climático en sistemas de recursos hídricos (Fowler et al., 2007; Cayan et al., 2008). En la mayoría de los casos se recurre a escalar las series históricas del sistema multiplicándolas por un ratio de respuesta (ej. Zhu et al., 2005) que permite modificar la media de las mismas de acuerdo con el cambio en media deducido a partir de los modelos climáticos en la zona. En este trabajo se aplica una metodología para generar series futuras a largo plazo que consiste en perturbar las series históricas incorporando no sólo el cambio en media, sino también en

desviación estándar predicho por los modelos climáticos (Pulido-Velázquez et al., 2011).

Mediante una técnica de reescalado estadístico se pueden obtener los valores de temperatura, precipitación y aportaciones en el sistema, a partir de las variaciones estimadas para dichas variables por los modelos del proyecto ENSEMBLES seleccionados en este estudio.

Para los MRCs el proyecto ENSEMBLES se dispone de escenarios de control (30 años los escenarios que corresponden a la situación actual) 1961-1990 y escenarios de cambio climático (incluyendo la serie de variables climáticas e hidrológicas) para el corto plazo (2011 – 2040), medio plazo (2041 – 2070) y el largo plazo (2071-2100). La resolución espacial de estos MRCs es de 25 x25 km, resolución espacial que puede ser muy *gruesa* para estudiar la gestión de algunos sistemas. La situación hidrológica actual debe ser caracterizada con un detalle espacial que debe estar de acuerdo con el caso de estudio y los datos disponibles. Por esta razón, con el fin de analizar el efecto del cambio climático en un sistema se propone corregir la "serie hidrológica original " con el incremento en las principales estadísticas (media y desviación estándar) deducidas para la serie del Proyecto ENSEMBLES de la zona donde el sistema se encuentra.

A continuación se describen los pasos a seguir para modificar la serie hidrológica original:

1. Definir la serie agregada para cada uno de los parámetros climáticos a utilizar: $y^{x,j}(0)$ donde x varía de 0 a $x-1$ (siendo X el número de años de la serie) y j varía desde 1 a 12 representando los meses de enero a diciembre. Por lo tanto, el producto representa el número de meses en la serie.
2. Identificar la(s) celda(s) de la red del proyecto ENSEMBLES donde se encuentra el sistema para obtener el valor promedio mensual (μ^j) y la desviación estándar (σ^j) de la serie del proyecto de ENSEMBLES $y^{x,j}(s)$ (donde s puede adoptar dos valores, 1 para el escenario de control y 2 para el escenario futuro). Si el sistema se encuentra en más de una celda de un sistema se interpola, por

ejemplo, en proporción al área del sistema que entren en cada celda para definir la serie el Proyecto ENSEMBLES a analizar.

3. Estandarizar la serie $y^{x^j}(0)$. La serie estandarizada se obtendrá como:

$$y_N^{x^j}(0) = \frac{|y^{x^j}(0) - \mu^j(0)|}{\sigma^j(0)}$$

4. El cambio en la media y la desviación estándar vendrá dado por

$$\Delta\mu^j = \frac{[\mu^j(2) - \mu^j(1)]}{\mu^j(1)} \quad \text{y} \quad \Delta\sigma^j = \frac{[\sigma^j(2) - \sigma^j(1)]}{\sigma^j(1)}$$

5. La serie agregada modificada para tener en cuenta el efecto del cambio climático ($y^{x^j}(C)$) se calcula como:

$$y^{x^j}(C) = \sigma^j(C) \cdot y_N^{x^j}(0) + \mu^j(C)$$

Donde: $\sigma^j(C) = \sigma^j(0) \cdot (1 + \Delta\sigma^j)$ y $\mu^j(C) = \mu^j(0) \cdot (1 + \Delta\mu^j)$, donde 0 se emplea para indicar que se refiere a la serie original.

Tal y como ha sido descrita, la metodología es aplicable de forma directa a sistemas de recursos hídricos pequeños que se extiende sobre una celda de la malla de un MCR. Pero podría ser extendido también a grandes sistemas incorporando la variación espacial de los impactos del cambio climático con la resolución espacial empleada por el MCR. En estos casos, el procedimiento que acabamos de describir se debe repetir para cada una de las partes del sistema ubicadas en diferentes celdas del MCR. Por lo tanto, la suma de las series hidrológicas originales (obtención de las series hidrológicas agregadas) se debe realizar para cada porción del sistema ubicado en una celda diferente del MCR y cada serie hidrológica agregada sería corregida con los cambios relativos en medias mensuales y desviaciones estándar deducidos con el MCR para la celda en cuestión.

3.4 Modelo hidrológico lluvia – escorrentía

Las aportaciones entendidas como el volumen total de agua contabilizable anualmente en un punto de una cuenca hidrográfica en régimen natural, están inicialmente condicionadas, por la precipitación, la temperatura, el uso y cubierta del suelo y las características del suelo y subsuelo.

La generación de aportaciones está fundamentada en la interacción entre el clima y la superficie del suelo, y su cubierta. La capacidad de retener agua por parte del suelo, y de ser utilizada por las plantas, trae como consecuencia que el agua de lluvia, o una parte de ella quede retenida y disponible para que las plantas la evapotranspiren. La reserva de agua utilizable por las plantas, que es función de la capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad aparente y profundidad radicular media, incorpora agua de precipitación y transmite agua a la atmósfera por evapotranspiración de un modo continuo llenándose o vaciándose, según sean superiores las entradas o las salidas, hasta que se llega a un punto en que el suelo no admite más agua, se llena la reserva y se genera la escorrentía o la recarga de los acuíferos con los excedentes. El proceso que se presenta en una modelación lluvia-escorrentía se muestra en la siguiente figura.

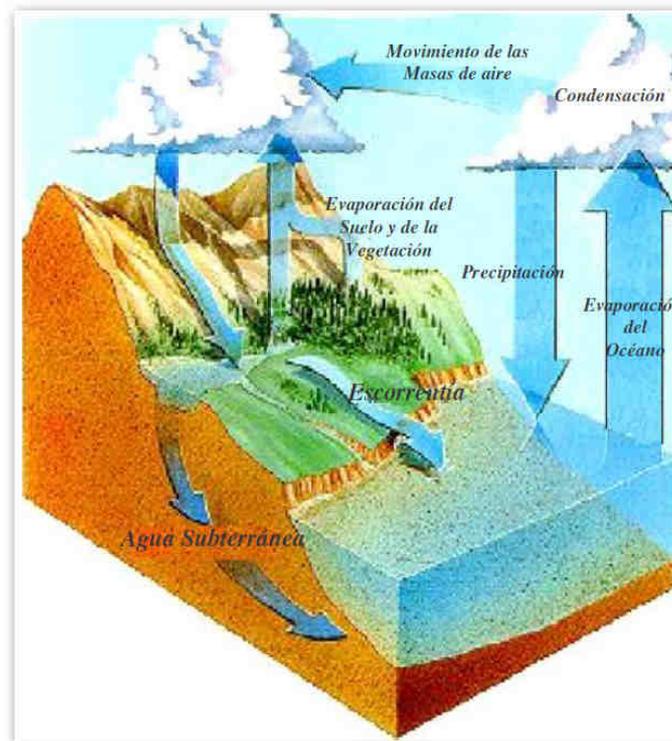


Figura 17: Representación esquemática del proceso lluvia – escorrentía.

Con el objetivo de obtener las aportaciones futuras al sistema se ha realizado una división en subcuencas del ámbito de estudio, y se ha implementado un Modelo Hidrológico Lluvia – Escorrentía para cada una de las subcuencas siguiendo la formulación descrita por Témez (Témez, 1977; Estrela y Quintas, 1996).

Para el ajuste a los caudales en régimen natural se parte de los datos de aportaciones de la restitución realizada por el Sistema Integrado de Precipitación Aportación (SIMPA) desarrollado por el CEDEX, y que se pueden descargar del visor <http://sigprod.tragsatec.es/visorsimpa/Default.aspx>, y de los datos de precipitación y temperatura (a partir de la que se obtendrá la evapotranspiración potencial) obtenidos de las series históricas del proyecto Spain02 (Herrera et al., 2010).

El modelo de Témez (Témez, 1977; Estrela y Quintas, 1996), cuyo esquema representativo se muestra en la Figura 17, es un modelo hidrológico conceptual, que simula los flujos medios mensuales a partir de un número reducido de datos de entrada.

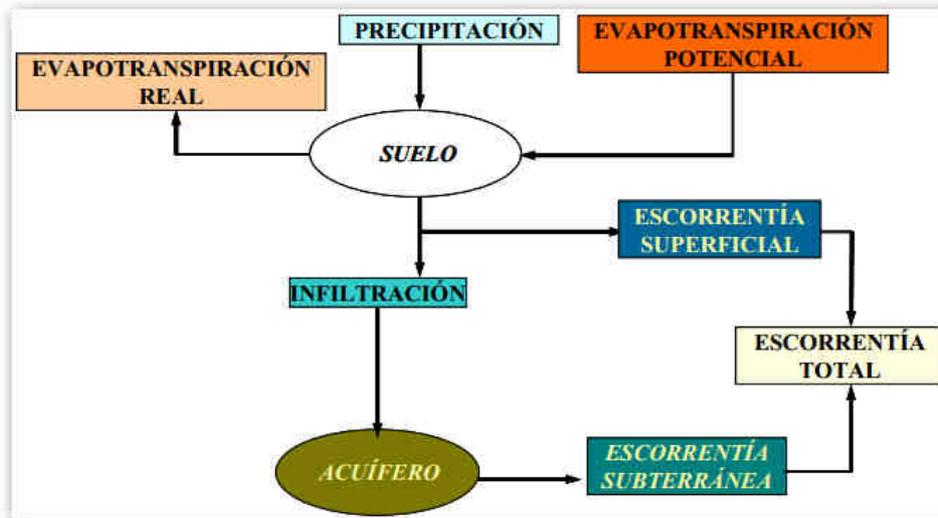


Figura 18: Esquema representativo del modelo de Temez.

Para ello reproduce los procesos esenciales de transporte de agua que tienen lugar en las diferentes fases del ciclo hidrológico, plantea el principio de continuidad y establece, a escala mensual, leyes de reparto y transferencias de agua entre los distintos almacenamientos.

Las entradas al modelo son los datos de precipitación y evapotranspiración potencial obtenida a partir de datos de temperaturas mensuales en las estaciones meteorológicas. Para contraste se usan los datos de caudales históricos observados en los puntos de simulación.

3.5 Cálculo de las demandas futuras

3.5.1 Cálculo de las demandas urbanas

Las demandas urbanas futuras se calculan a partir de las proyecciones de crecimiento demográfico existentes en la literatura (IVE, 2012), utilizando el mismo valor de demanda per cápita existente en la actualidad.

3.5.2 Cálculo de los requerimientos de los cultivos

El procedimiento para calcular las necesidades de agua de los cultivos y las necesidades de riego se basan principalmente en los métodos presentados en los

Estudios de Riego y Drenaje de la FAO número 56 “Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos”.

Según la documentación propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) los resultados obtenidos para el cálculo de la evapotranspiración por el Método de Penman-Monteith con respecto a medidas lisimétricas efectuadas en condiciones climáticas diversas son las más ajustadas. Conviene, además citar algunos documentos que coinciden con la misma opinión como: “Evapotranspiration and irrigation water requirements” (Jensen, Burman y Allen, ASCE 1990) y el “Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop wáter requirements” (Smith, Segeren, Santos Pereira, Perrier y Allen. FAO 1991). El primer documento describe el grado de ajuste de los procedimientos en la determinación de la evapotranspiración (Eto) de empleo más generalizado llegando a la conclusión que el método de Penman-Monteith es el de más se ajusta a los valores medidos en zonas semi-áridas. El segundo documento, se refiere a las reuniones de trabajo organizadas por FAO con el fin de revisar la publicación “Necesidades de agua de los cultivos” e incorporar los recientes avances metodológicos obtenidos en esa materia y también llegan a la conclusión de que el Método de Penman-Monteith es el que mejor representa las evapotranspiraciones calculadas con las medidas.

Con base a lo anteriormente expuesto, se justifica la utilización del Método de Penman-Monteith para calcular la evapotranspiración potencial de los cultivos en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar. Para el cálculo de los requerimientos de los cultivos para cada escenario se utilizó el programa de cómputo Cropwat 8.0 for Windows de la FAO. (Smith, Clarke FAO 1998). Cropwat es un programa para calcular las necesidades en agua de los cultivos y las necesidades de riego a partir de informaciones sobre el clima y los cultivos, el procedimiento para calcular las necesidades de agua de los cultivos y las necesidades de riego se basan principalmente en los métodos presentados en los Estudios de Riego y Drenaje de la FAO número 56 “Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos”.

3.6 Modelo de gestión de recursos hídricos

El Sistema de Soporte a la Decisión (SSD) Aquatool es una herramienta para la elaboración de modelos de simulación y optimización de recursos hídricos a escala de cuenca desarrollada por el Grupo de Ingeniería de Recursos Hídricos del DIHMA-UPV.

El modelo de simulación del sistema de recursos hídricos de la cuenca del Río Júcar utilizado en este trabajo ha sido desarrollado con el programa SIMGES perteneciente al Sistema Soporte de Decisión AQUATOOL y fue desarrollado por el Departamento de Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia.

El programa SIMGES perteneciente a AQUATOOL es un modelo general para la Simulación de la Gestión de Cuencas, o sistemas de recursos hidráulicos complejos, en los que se dispone de elementos de regulación o almacenamiento tanto superficiales como subterráneos, de captación, de transporte, de utilización y/o consumo, y de dispositivos de recarga artificial. El uso de SIMGES permite modelar con extrema flexibilidad el sistema hidrográfico considerado, cuya sucesiva simulación proporciona los valores de suministro para cada demanda. El modelo admite cualquier configuración dentro de unos límites impuestos únicamente por capacidades de hardware, y por tanto es utilizable para cualquier esquema de recursos hidráulicos.

La simulación se efectúa a nivel mensual y reproduce a la escala de detalle espacial que el usuario desee el flujo del agua a través del sistema. Para los subsistemas superficiales el flujo es calculado simplemente por continuidad o balance, mientras que para los subsistemas subterráneos o acuíferos el flujo es simulado mediante modelos de celda, uní o pluricelulares, según convenga, o incluso mediante modelos distribuidos de flujo lineal. Se tiene asimismo en cuenta en la simulación las pérdidas por evaporación y filtración en embalses y cauces, así como las relaciones entre aguas superficiales y aguas subterráneas.

La gestión de los recursos hidráulicos se define mediante reglas de operación que permitan reproducir cualquier regla de gestión en los embalses usando para ello unas curvas de llenado de embalse. Estas curvas son las reglas de explotación propiamente dichas y son suministradas por el usuario del modelo. Se admite la definición de

caudales mínimos ecológicos, así como de diferentes prioridades de los usuarios para el aprovechamiento del agua.

La simulación y gestión del sistema superficial se efectúan a un tiempo mediante el uso de un algoritmo de optimización de redes de flujo conservativo. Dicho algoritmo se encarga de determinar el flujo en el sistema tratando de satisfacer al máximo los objetivos múltiples de minimización de déficits, y de máxima adaptación a las curvas de volúmenes objetivo de embalse y objetivos de producción hidroeléctrica.

Los resultados del modelo incluyen la evolución de todas las variables de interés a nivel mensual, a nivel anual, valores medios del período de simulación, así como garantías. Todo ello permite que el modelo pueda ser utilizado, entre otras finalidades para:

- determinar las garantías que se obtienen para distintas hipótesis de infraestructura y de evolución de demandas, así como para distintas reglas de explotación de la cuenca.
- establecer de reglas de explotación más adecuadas para unos niveles exigidos de garantías.
- estimar los beneficios o perjuicios derivados de la alteración de prioridades de usos del agua.
- determinar capacidades de embalse, de conducciones, y de instalaciones de bombeo para unos niveles de demanda y de garantía dados.



Figura 19: Sistema de soporte a la decisión (SSD) Aquatool.

3.7 Análisis hidroeconómico

En el módulo de evaluación económica, para caracterizar los distintos usos se emplean 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.

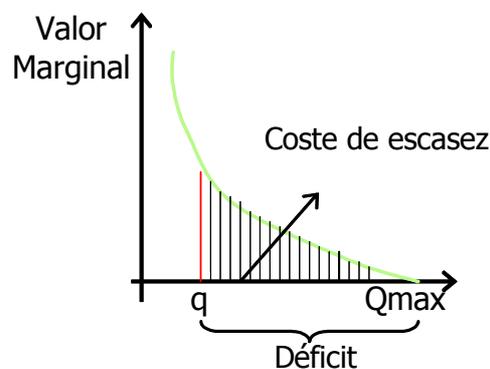


Figura 20: Funciones económicas de demanda, déficit y coste de escasez.

Para evaluar el coste de escasez en situación de cambio climático en base a las nuevas condiciones que se puedan presentar, se modifican las funciones económicas para cada una de las demandas adaptando las necesidades de riego según los cambios previstos de precipitación y temperatura.

3.8 Estrategias de adaptación

La metodología seguida para la determinación de las estrategias de adaptación a considerar se desprende del artículo "*A methodology to diagnose the effect of climate change and to identify adaptative strategies to reduce its impacts in conjunctive-use systems at basin scale*" (Pulido-Velázquez et al., 2011).

En este artículo se describe un procedimiento en el que a partir de los resultados del modelo de gestión del sistema de recursos hídricos, y a partir de la definición de unos indicadores que se presentan a continuación, se identifican los problemas del sistema y se proponen posibles medidas a nivel general.

En total se proponen cuatro indicadores, dos de los cuáles — I_s y I_r — han sido seleccionados para identificar qué tipo de problemas pueden aparecer en las condiciones futuras de cambio climático, mientras que los otros dos indicadores — I_w y I_u — se proponen para identificar el origen o la causa de los problemas, y así plantear las posibles estrategias de adaptación a seguir. A continuación se definen estos indicadores:

- *Indicador de satisfacción del sistema (I_s):* Representa la capacidad del sistema para atender sus demandas.

$$I_s = \frac{S}{D};$$

donde S representa volumen total de agua suministrado, y D la demanda total.

- *Indicador de garantías en el sistema (I_r):* Representa la capacidad del sistema para atender sus demandas con una garantía aceptable.

$$I_r = \frac{S_r}{D};$$

donde S_r representa el volumen total de agua suministrado con una garantía igual o mayor que la garantía mínima aceptable.

- *Indicador de recursos sin regulación (I_w):* Se define para evaluar el porcentaje de recursos extraídos del sistema en relación con la demanda total.

$$I_w = \frac{Y}{D};$$

donde Y representa los recursos extraídos en el sistema si no hubiera infraestructuras de regulación superficial, considerando tanto los recursos superficiales como los subterráneos y las interacciones entre ambos.

- *Indicador de aprovechamiento de los recursos (I_u):* Sirve para evaluar el porcentaje de recursos extraídos del sistema utilizado en abastecer a las demandas.

$$I_u = \frac{S}{Y}$$

A partir de estos indicadores se pueden identificar los problemas del sistema y las posibles estrategias de adaptación usando la siguiente tabla:

Demand satisfaction (I_s)	Withdrawal use (I_w)	Withdrawal (I_u)	Demand reliability (I_r)					
			High (I_r^+)		Intermediate (I_r^0)		Low (I_r^-)	
			Problems	Solutions	Problems	Solutions	Problems	Solutions
High (I_s^+)	High (I_w^+)	High (I_u^+)			2 ⁻	A ⁻	2 ⁺	A ⁻
		Low (I_u^-)			2 ⁻ -4 ⁻	A ⁻ -C ⁻	2 ⁺ -4 ⁻	A ⁻ -C ⁻
Intermediate (I_s^0)	High (I_w^+)	High (I_u^+)			2 ⁻ -3 ⁻	A ⁻ -B ⁻	2 ⁺ -3 ⁻	A ⁻ -B ⁻
		Low (I_u^-)	1 ⁻ -4 ⁻	A ⁻ -C ⁻	1 ⁻ -2 ⁻ -4 ⁻	A ⁻ -C ⁻	1 ⁻ -2 ⁺ -4 ⁻	A ⁻ -C ⁻
Low (I_s^-)	High (I_w^+)	High (I_u^+)	1 ⁻ -3 ⁻	A ⁻ -B ⁺	1 ⁻ -2 ⁺ -3 ⁻	A ⁻ -B ⁺	1 ⁻ -2 ⁺ -3 ⁻	A ⁻ -B ⁺
		Low (I_u^-)	1 ⁻ -4 ⁻	A ⁻ -C ⁺	1 ⁻ -2 ⁺ -4 ⁻	A ⁻ -C ⁺	1 ⁻ -2 ⁺ -4 ⁻	A ⁻ -C ⁺
	Low (I_w^-)	High (I_u^+)	1 ⁻ -3 ⁻	A ⁻ -B ⁺	1 ⁻ -2 ⁺ -3 ⁻	A ⁻ -B ⁺	1 ⁻ -2 ⁺ -3 ⁺	A ⁻ -B ⁺
		Low (I_u^-)	1 ⁻ -3 ⁻ -4 ⁻	A ⁻ -B ⁺ -C ⁺	1 ⁻ -2 ⁺ -3 ⁻ -4 ⁻	A ⁻ -B ⁺ -C ⁺	1 ⁻ -2 ⁺ -3 ⁻ -4 ⁻	A ⁻ -B ⁺ -C ⁺

+ High = Intermediate - Low
 Problem:
 1. Vulnerable: water scarcity may produce significant damages.
 2. Unreliable: low intensity droughts may lead to water scarcity.
 3. Excess of demand with respect to withdrawal (pumping + natural inflows-depletions produced by pumping).
 4. Reduced use of withdrawal.
 Solution:
 A. Demand management.
 B. Complementary resources are needed (additional pumping, water transfer, water reuse, etc.).
 C. Increase regulation of the system withdrawal (surface structural works, artificial recharge, water reuse, etc.).

Tabla 6: Problemas del sistema y estrategias de adaptación basadas en el valor de los indicadores (Pulido-Velázquez, D., et al., 2011)

En el presente trabajo, y siguiendo con la metodología basada en los indicadores, se propone la inclusión de un nuevo indicador a partir de los resultados hidroeconómicos

de la gestión del sistema, al que llamaremos Indicador de Perjuicio Económico (I_p), y que se define como la relación entre el perjuicio económico medio anual (coste de escasez) y el beneficio total.

$$I_p = \frac{C_e}{B};$$

donde C_e representa el coste de escasez promedio anual y B el beneficio máximo anual¹.

Este indicador puede ser definido tanto para cada una de las demandas como para el total del sistema, y puede servir para evaluar la equidad en el perjuicio económico entre cada una de las demandas, o para evaluar económicamente las opciones de adaptación del sistema.

¹ El Beneficio Máximo Anual corresponde al área (integral) bajo la curva de demanda entre 0 y la demanda máxima, es decir, representa el máximo beneficio teórico anual cuando no hay déficit de suministro.

4.- **Ámbito de estudio**

4.1 **Características generales**

4.1.1 **Introducción**

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 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% respectivamente. La superficie interesada por la cuenca se extiende por las provincias de Albacete, Cuenca, Valencia y Teruel.

Dentro de la cuenca hidrográfica se diferencian dos zonas: interior, montañoso, con altitudes superiores a los 1.500 m, llanuras litorales o "planas". Las llanuras litorales quedan truncadas por las prolongaciones de los relieves interiores, diferenciando la plana de Valencia-La Ribera de las planas de Castellón-Sagunto y de Favara-Gandia-Denia. Destaca sobre manera la formación de albuferas como la de Valencia. Todo ello supone un 25 % de la superficie total de la cuenca en cotas por encima de los 1000 metros. El resto de la cuenca se sitúa por debajo de esta cota: 27% corresponde a las

planas, situadas por debajo de la meseta, y el resto 48% corresponde a las planas de la llanura manchega.

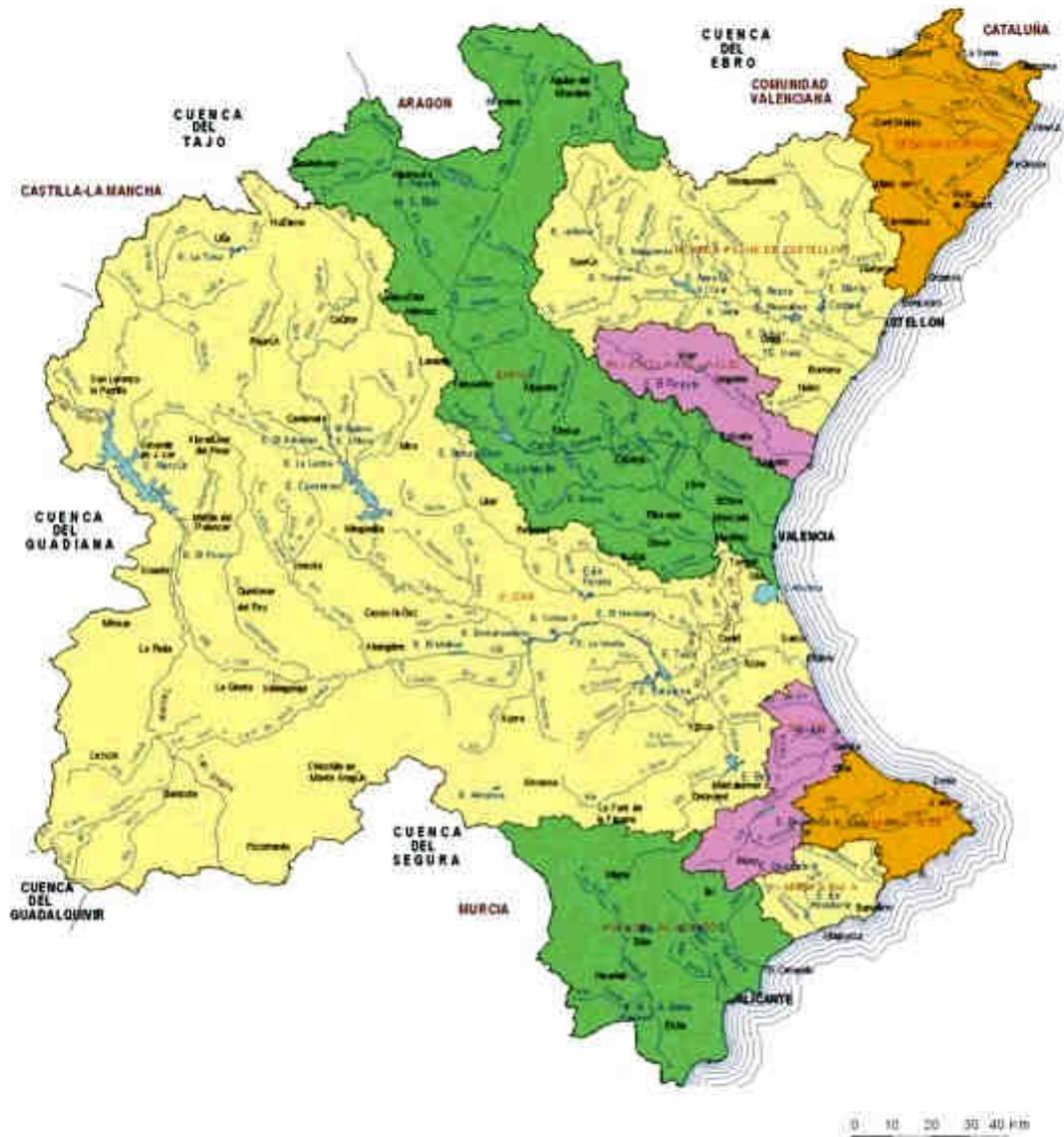


Figura 21: Sistema de explotación Júcar en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

4.1.2 Climatología

El entorno del sistema del Júcar está influenciado por un clima básicamente mediterráneo, caracterizado por un intenso y largo periodo estival. Sin embargo, y debido a la geografía y relieve, se producen las siguientes diversificaciones del clima:

- Atenuación de los efectos continentales por efecto de las líneas montañosas, prácticamente continuas, de eje noroeste-suroeste.

- Zonas costeras afectadas por la dinámica de vientos marinos del Mediterráneo generando una elevada diferencia de temperaturas medias entre la costa y el interior.
- Las cadenas montañosas generan áreas secas y subdesérticas al aumentar los efectos de solanas y umbrías.
- Régimen de precipitaciones dominado por vientos de poniente (en la porción occidental) y levante (litoral y sublitoral).

Todo ello da lugar a irregularidades climáticas y a marcadas diferencias entre este y oeste que actúan como efecto regulador de los vientos en superficie y potencian los efectos climáticos zonales, como son:

- **Efecto Fohën:** vientos fuertes secos y cálidos debido a sobrecalentamiento de los vientos procedentes del Atlántico y que pierden humedad al atravesar la meseta castellana.
- **Efecto de Crestería:** Vientos dominantes en la misma dirección que los sistemas montañosos. Dificulta el desarrollo de masas boscosas en las cimas montañosas y transmiten la desecación a niveles inferiores.
- **Inversiones térmicas:** Situaciones de calma de masas de aire que por efectos de la topografía o por calentamiento adiabático, pueden conservar temperaturas muy bajas en contraste con las laderas mucho más cálidas, apareciendo así una inversión térmica. La existencia de la gran masa de agua superficialmente calida del Mediterráneo incrementa el efecto generando "Gotas frías".

Este último efecto puede considerarse como el más importante debido a que provoca inundaciones catastróficas. Las lluvias que producen las inundaciones son fenómenos convectivos a gran escala donde una situación de viento de Levante los alimenta de aire húmedo, esta situación no se produce más al Oeste de Albacete, por la falta de alimentación de aire húmedo, o en las cabeceras de los ríos Júcar y Cabriel.

El núcleo de lluvias alcanza una gran intensidad a la vez que se estaciona en lugares determinados (Vall d'Albaida, Bajo Magro) de no gran extensión, con unos 400 km² de

tamaño medio. Dependiendo de la orografía, las crecidas originadas pueden ser de gran importancia. Si el fenómeno alcanza suficiente energía puede superar la Muela de Cortes y afectar a la cuenca del Júcar, como sucedió en 1982 generando lluvias en una extensión de 5000 km².

Las temperaturas más bajas y las precipitaciones más elevadas se dan en las cabeceras de Júcar y Cabriel (Uña: 5°C, 929 mm.), las oscilaciones térmicas mayores se dan en la zona de La Mancha con 20°C de diferencia entre las temperaturas medias a lo largo del año. En general la distribución de temperaturas se adapta al relieve, si bien el gradiente térmico entre las tierras del interior y los llanos costeros es más acusado en invierno que en verano. Los puntos de menor pluviosidad también se deben al relieve como el efecto pantalla de las sierras Béticas sobre la franja meridional seca o el entorno cerrado por montañas en el caso de Ayora-Cofrentes y la plana de Utiel-Requena. La distribución de pluviosidad a lo largo del año es la siguiente:

- **Otoño/invierno:** Supone casi la mitad del total anual.
- **Primavera:** Segundo máximo y máximo absoluto en el interior.
- **Verano:** Pluviosidad inexistente excepto tormentas convectivas.

4.1.3 Cubierta vegetal, infiltración y escorrentía

El entorno de la cuenca puede definirse de manera global como una zona semiárida o incluso árida. La humedad del suelo es pobre y más teniendo en cuenta que la precipitación es de tipo convectivo. El mayor problema se basa en la fuerte erosión: sólo en la Comunidad Valenciana y en 1997 cerca del 55% de la superficie presentaba grandes niveles de erosión y de ella, el 28% de forma irreversible. El origen de esta degradación del suelo es fundamente la deforestación causada bien por la ocupación agrícola y ganadera, bien por la oleada de incendios que en los últimos años han arrasado la cuenca. Los suelos sin vegetación expuestos a la precipitación generan, una vez se han secado, una capa duro o costra, que produce una disminución de la infiltración y en consecuencia de la humedad reticular del suelo, aumentando la escorrentía y la erosión del suelo. También influyen en la infiltración y en la escorrentía

superficial factores como la humedad del suelo, pendiente, forma del terreno, temperatura, evaporación, tipo y uso del suelo.

Si se añade el hecho de la presencia masiva de calizas, se agrava la característica fundamental de la cuenca: la enorme permeabilidad y capacidad de infiltración que poseen sus materiales. Por debajo de 50 Mm. de precipitación media diaria en la cuenca del Júcar, no se produce esorrentía, siendo esta del 15% si se eleva la precipitación a 200 mm. En la rambla de la Viuda, lluvias menores de 60 mm/día no producen esorrentía. Se deduce de forma inmediata que en la cuenca no existen crecidas medias, sólo pequeñas o de tipo catastrófico.

4.1.4 La red fluvial

Los cauces que constituyen el sistema del Júcar tienen un régimen marcadamente mediterráneo, caracterizado con 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 de la página siguiente 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 7: Red fluvial del sistema de explotación Júcar.

4.2 Descripción detallada del sistema

4.2.1 Tramo aguas arriba de Alarcón

El río Júcar tiene una longitud de 498 Km., nace en la Sierra de Albarracín, en los Montes Universales, al pie de la muela de San Felipe (1.840 m), a partir de la confluencia de numerosos manantiales. En la misma área tienen su nacimiento el río Tajo, el Guadalaviar o Turia y el afluente más importante del Júcar, el río Cabriel.

En su inicio, el Júcar se dirige hacia el sureste cruzando montes cubiertos por pinares, entre los pueblos de Huélamo y Tragacete se unen las aguas del arroyo de Almagrero, que aporta un caudal mayor que el del río principal. La vegetación de la zona es de tipo mediterráneo, con variaciones debidas a la altitud: pino, sabina y sauces y chopos en las cercanías de los cauces. En esta zona del Alto Júcar los regadíos ocupan tan solo unas 5.100 hectáreas.

A partir de la población de Huélamo el curso toma lentamente rumbo oeste a través de un estrecho valle excavado en las calizas y margas mesozoicas de la Serranía de

Cuenca. En este tramo comienza el aprovechamiento y regulación del río con el pequeño Embalse de La Toba con capacidad en torno a los 11 hm³ cuyo uso principal es el hidroeléctrico, aunque secundariamente se utiliza para el recreo. En este embalse se inicia el Canal de la Toba que, con una longitud de 18 km discurre paralelo al río por su margen derecha hasta llegar al Salto de Villalba, en Villalba de la Sierra. Previamente pasa por la Laguna de Uña, originada de forma natural por un cierre tobáceo y recrecida artificialmente para servir de embalse regulador para el Salto de Villalba, por lo que cuenta con agua de forma permanente. Actualmente la laguna se encuentra en muy buen estado y está catalogada como Espacio de Protección Especial en el Inventario Nacional de Espacios de Protección Especial y como Refugio de Caza por la Junta Castilla-La Mancha.

El Salto de Villalba aprovecha el desnivel de 170 metros para la producción de energía hidroeléctrica. La Central hidroeléctrica de Villalba o de La Toba es una de las más importantes del sistema con una potencia de 10,40 Mw. El caudal máximo de la Central es de 8,20 m³/s.

A partir de la Laguna de Uña el río se encaja dando lugar a una angostura que en su zona más estrecha es conocida como Ventana del Diablo, donde las espectaculares paredes verticales tienen más de 70 metros de altura. Más adelante, se incorpora por la derecha el caudal del río Villalbilla. A partir de esta zona el río va tomando una orientación sur, pasa a través de la Sierra de Valdecabras al Este, y las estribaciones de la Sierra de Bascuñana al Oeste y recibe las aguas del río Mariana por la derecha. Este último tramo, desde Villalba de la Sierra hasta Cuenca, es una de las principales áreas del sistema sometidas a inundación, ya que el río discurre por un amplio valle fluvial. Cuando el río Júcar llega a la ciudad de Cuenca une sus aguas con las del río Huécar en un paraje en el que ambos ríos han labrado dos profundas hoces sobre las que se sitúa la ciudad, con sus famosas Casas Colgantes. Las márgenes del río Huécar presentan una abundante y bien conservada vegetación de ribera.

En el tramo siguiente el río forma numerosos meandros según se va clavando en los sedimentos del Terciario inferior que forman el lado oeste de la Cordillera Ibérica. En esta zona se reciben numerosos arroyos y barrancadas, como el del Chillarón, por la

derecha y el río San Martín, por la izquierda y se encuentran las también denominadas Lagunas de los Cedazos, humedal de origen cárstico sobre yesos blancos y arcillas. Mas adelante, siguen incorporándose afluentes: por la derecha los pequeños cauces de los ríos Fresneda y Altarejos y llegando a la cola del Embalse de Alarcón, se incorpora el río Belvís por la derecha y el río Gritos por la izquierda que recoge las aguas del amplio valle donde está enclavado el pueblo de Valverde del Júcar.

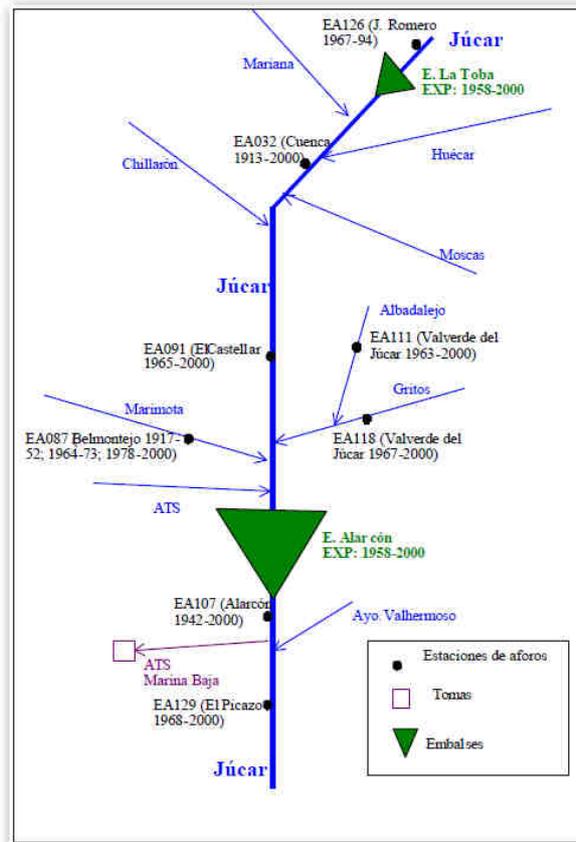


Figura 22: Esquema del río Júcar entre la cabecera y el embalse de Alarcón.

4.2.2 Tramo Alarcón – El Molinar

El Embalse de Alarcón, con un volumen de embalse de 1.112 hm³ y una superficie de 6.480 hectáreas es el primer embalse de gran tamaño en el curso fluvial. El uso al que está destinado es el riego y la producción de energía eléctrica. La presa es de gravedad con una altura de 71 metros y una longitud de coronación de 317 metros, el aliviadero, de compuertas, tiene una capacidad de 1.750 m³/s. Al igual que en otros puntos de la red hidrográfica, en el embalse de Alarcón se ha instalado una estación automática de alerta para el seguimiento de la calidad de las aguas.

En este embalse se unen las aguas de los ríos Júcar y Tajo, ya que a la altura de la confluencia del río Belvís entra el Canal del Trasvase Tajo- Segura. Las aguas del embalse son reguladas en base a las necesidades propias de la cuenca y del trasvase, los caudales de ambos ríos se miden con el fin de dirigir las aguas procedentes del Júcar hacia el contra embalse de Castillejos o del Picazo y las del Tajo hacia la cuenca del Segura. La presa del embalse de Alarcón, se sitúa a unos 40 km aguas abajo, cerrando el comienzo de las Hoces de Alarcón, un estrecho labrado por el río en las calizas cretácicas. Sobre la presa cruza la carretera de Madrid a Valencia, comienza aquí un tramo en el que el río ha tallado un cauce muy angosto que forma numerosos y agudos meandros al irse adaptando a las distintas direcciones estructurales que compartimentan el afloramiento cretácico que atraviesa.

A partir de la pequeña población de La Losa, y durante varios kilómetros, el Júcar actúa de límite entre las provincias de Cuenca y Albacete. En el tramo hasta la confluencia con el río Cabriel en el Embalse de Embarcadero aparecen un gran número de pequeñas centrales para la producción de energía hidroeléctrica: Central de La Losa, Central de las Casas del Batanejo, Central Gosálvez en Villagordo del Júcar, Central La Manchega y central de El Torcido. En este tramo, algunas fuentes y manantiales dan origen a varias acequias de riego que fertilizan estrechas zonas de huerta.

Tras la central La Manchega existe una zona de infiltración en la que el cauce puede llegar a secarse. En esta zona el río ha abierto su cauce en los depósitos miocenos que constituyen la prolongación oriental de la llanura manchega, en los que va clavándose hacia el Este al iniciar el descenso por el pronunciado escalón que lo separa de la costa, manteniendo a partir de aquí esta dirección.

Algo más adelante, el río Júcar recibe las aguas del río Valdemembra, que sólo llega a desembocar en el Júcar en épocas de abundantes caudales, tiene una fuerte contaminación de tipo urbano y agrícola. En la zona de confluencia se sitúa la central de Los Bolinches y la surgencia de El Charco Azul, que suministra sus aguas a una piscifactoría. En el azud existente se ubica una toma de aguas de riego.

Cerca de la población de Valdeganga se sitúa otra central hidroeléctrica, la de Ensideros y a continuación la central de Moranchel, cuya toma mediante azud deseca normalmente un tramo de unos 3 km de cauce, hasta el retorno del agua turbinada. En este punto, el río Júcar recibe las aguas de esporádicas escorrentías que transportan distintos arroyos y ramblas procedentes de la zona semiendorreica de Albacete.

El aporte principal procede de las aguas del Canal de María Cristina, construido a lo largo de los siglos XVIII y XIX con objeto de vaciar hacia el Júcar las aguas del arroyo de Balazote y otros arroyos de los Llanos de Albacete que sistemáticamente se estancaban en este área semiendorreica. Este Canal, también llamado de Albacete, tiene una longitud de 32 Km y un caudal medio de 0,9 m³/s.

En esta zona existe una amplia superficie de regadío (algo más de 60.200 hectáreas) que obtiene sus recursos del acuífero Mancha Oriental cuya demanda ha experimentado un incremento notable, lo que ha producido una disminución en el caudal drenado hacia el Júcar y el Cabriel y un descenso en las reservas del sistema. El acuífero presenta continuos descensos del nivel del agua de sus pozos y, en consecuencia, de los caudales, pese a lo cual se siguen construyendo nuevos pozos, existen además problemas de calidad para abastecimiento y elevadas concentraciones de nitratos en algunas zonas. A todo esto se suma la mala calidad de las aguas que provienen del Canal de María Cristina, ya que ejercía como colector de las aguas residuales de Albacete hasta la reciente puesta en funcionamiento de la estación de depuración de aguas residuales de Albacete.

De cualquier forma el Plan Hidrológico tiene previsto el acondicionamiento del Canal aguas abajo de Albacete y su cubrición aguas arriba y también, dentro de las actuaciones en materia de corrección del déficit hídrico, mejorar el abastecimiento a Albacete y su zona de influencia con aguas del río Júcar. El Plan Hidrológico contempla como actuaciones a desarrollar la mejora y modernización de los riegos de todas las áreas de regadío de la cuenca del Júcar en Albacete: Mancha Oriental, ríos Jardín y Lezuza, regadíos tradicionales del Júcar en Albacete y los Llanos de Albacete. Se dispone además la realización de infraestructuras para la sustitución de bombes en este acuífero y su recarga artificial.

Muy al sur de Albacete, en el límite entre las cuencas del Júcar y del Guadiana, se encuentra la Laguna de Ontalafia, una pequeña laguna esteparia de aguas salobres de carácter permanente que drena una pequeña cuenca cerrada en la vertiente sureste de la Sierra de Ontalafia, un gran número de aves acuáticas encuentran cobijo en una vegetación palustre bien desarrollada.

En la zona del Júcar Medio existen un total de 3.980 hectáreas de regadío, de las que 1.000 Has. pertenecen a los riegos de Almansa.

Aguas abajo de la confluencia del río Júcar con el Canal de María Cristina, a partir de la Jorquera los escarpes verticales que limitan el valle se encuentran horadados por cavernas utilizadas por los hortelanos y por la población de Virgen de Cuevas, tras esta población desemboca por la izquierda el arroyo de Albengibre o Cañada del Cardeal. Tras La Jorquera, el cauce del Júcar mantiene una pequeña franja de regadío de 2.900 has y siguen apareciendo pequeñas centrales hidroeléctricas: Los Dornajos, La Recueja, Alcalá de Júcar, El Bosque y Tranco del Lobo.

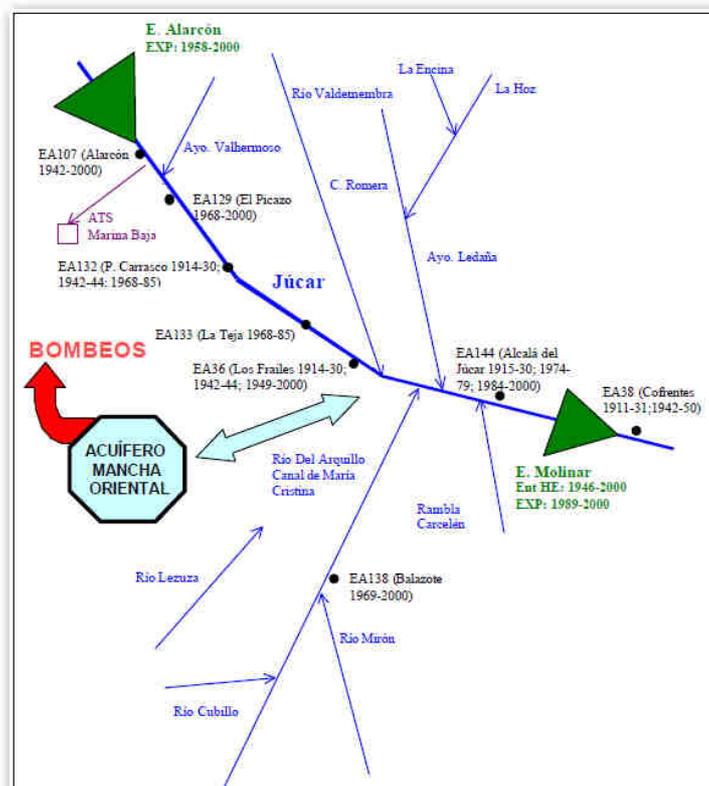


Figura 23: Esquema del río Júcar entre el Embalse de Alarcón y el Embalse de El Molinar.

4.2.3 El río Cabriel

El Río Cabriel es el principal afluente del Júcar. Nace en la Sierra de Albarracín, a los pies de la Muela de San Juan, en la misma zona que tienen sus nacimientos el río Tajo y el Guadalaviar. Se trata de un río de 262 km de longitud que desde su nacimiento corre en dirección sur por zonas de fuertes pendientes, atraviesa la Sierra de Zafrilla, pasa por la población de Vallecillo, atraviesa el límite de las provincias de Teruel y Cuenca y recoge las aguas de su afluente, el Río Zafrilla hasta llegar a la población Salvacañete, donde su curso presenta alternativamente el contraste entre desfiladeros y valles anchos. Esto se debe a la resistencia a la erosión de los materiales del lecho. En aquellas zonas en las que la roca es dura, el río se abre paso a través de angostos desfiladeros por los que se precipita el agua a gran velocidad. En cambio, en los sitios donde la roca es blanda se forman valles anchos y abiertos.

Más adelante, el Río Cabriel describe una amplia curva y pasa por Boniches y posteriormente recibe las aguas del Río La Laguna que duplica su caudal. Pasa por la población de Pajaroncillo, por el paraje denominado El Castillo en la Sierra de Cuerdas y por una zona de extensas vegas, como la Vega de Las Tajadas, continúa en dirección Sur-Sureste y atraviesa el punto denominado El Salto, en donde el río salva una altura de 100 metros. A partir de aquí el río discurre por un cauce muy profundo y por dos minas o túneles hechos artificialmente para el paso de maderas, donde las aguas corren con gran violencia y a la salida caen formando una serie de cascadas de más de 40 metros que son aprovechados por las empresas hidroeléctricas, como es el caso del Salto de Villora, de 111 metros de altura, donde está instalada la homónima central hidroeléctrica.

En este tramo existen tres pequeños embalses de apenas 1 hm³: Embalse del Bujioso, Embalse de Villora y Embalse de la Lastra o Batanejo. Posteriormente, el Río Cabriel recibe las aguas de dos de sus más importantes afluentes, el Río Guadazaón y el Río Villora o San Martín. En el río Guadazaón, cerca de la población de Cañada del Hoyo se localizan las Torcas de Los Oteros, un conjunto de lagunas y torcas de origen cárstico formadas por dolinas circulares cerradas, de las que la mitad aproximadamente presentan agua de forma permanente, mientras que el resto tiene régimen estacional.

Son la laguna de las Cardenillas o de Las Tortugas, Lagunilla de las Cardenillas, Laguna Llana, Laguna de la Cruz, Laguna de la Parra y Laguna del Tejo.

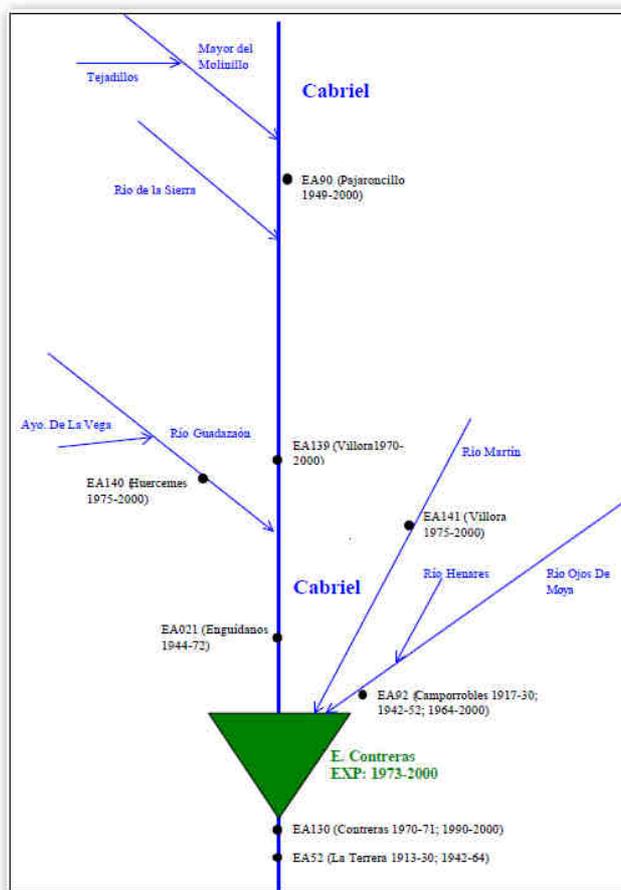


Figura 24: Esquema del Río Cabriel hasta el Embalse de Contreras.

4.2.4 Tramo El Molinar – Tous

Cerca de Villa de Ves, las aguas se remansan en el pequeño Embalse del Molinar, cuyas aguas son aprovechadas por la central hidroeléctrica de Cofrentes, retornándolas en el tramo final del río Cabriel, antes de su desembocadura en el Júcar. Tras la presa del Molinar, el Júcar entra en la provincia de Valencia recorriendo un primer tramo valenciano muy escabroso. A los pocos kilómetros afluye por su margen derecha el río Reconque e inmediatamente entra por la margen contraria el Cabriel, principal afluente del Júcar. En el punto de confluencia de los ríos Reconque, Cabriel y Júcar se sitúa la central nuclear de Cofrentes que aprovecha las aguas del cauce como refrigerante.

Una vez recibidas las aguas de los ríos Guadazaón y San Martín, el Cabriel llega a la cola del embalse de Contreras donde también desagua el Río Mira o Algarra. Este embalse posee una capacidad de 884 hm³ y una superficie de lámina de agua de 271 hectáreas, tiene dos cerradas, la presa principal o de Contreras y la Presa del Collado, ambas de tipo gravedad con una altura de 129 metros y 36 metros respectivamente. Sus aguas se utilizan para abastecimiento, riego y producción de energía eléctrica, en lo que respecta a la producción de energía eléctrica, todo el tramo descrito, desde el nacimiento del río hasta el Embalse de Contreras, se considera tramo reservado al Estado para uso hidroeléctrico.

Aguas abajo del Embalse de Contreras, el río atraviesa el paraje denominado Las Hoces del Cabriel, espacio declarado como Reserva Natural y que está constituido por un territorio que abarca 1.662 ha. en el límite entre las provincias de Cuenca y Valencia.

Una vez superadas Las Hoces, el río atraviesa un valle bastante amplio, de unos 100 metros de anchura media y llega a Villatoya donde está aprovechado por pequeños saltos que derivan las aguas hacia las huertas cercanas que se suceden hasta la confluencia del Cabriel con el Río Júcar a la altura de Cofrentes, en el nuevo Embalse de Cortes II. Esta presa ha creado una retención de 116 hm³ de capacidad englobando el antiguo embalse de Cortes y el de Embarcaderos, sirve de depósito inferior al salto reversible de La Muela, cuyo depósito superior de 22 hm³, situado junto a la población de Cortes de Pallás, acumula el volumen bombeado aprovechando la energía nocturna sobrante en la central nuclear de Cofrentes. La Central de La Muela tiene una potencia de 635 Mw.

A partir de este punto, el fuerte desnivel que aún tiene que salvar el Júcar desde su unión con el Cabriel hasta la plana costera se resuelve en un valle muy encajado en el que se alternan tramos muy angostos con otros de mayor amplitud, formando elevaciones o cumbres planas como el de la Muela de Cortes aguas arriba y, en algunos casos, espectaculares cascadas como la de Cortes o Los Chorreadores muy disminuida en altura, sin embargo, debido a la crecida de las aguas como consecuencia de la presa de Cortes II.

Las aguas turbinadas de La Muela se dirigen a la cola del Embalse del Naranjero, que ha inundado al antiguo Embalse de Millares y tiene una capacidad menor que el Embalse de Cortes de Pallás (29 hm³), aunque su aportación media anual es la misma, debido a que no se realizan en la zona aprovechamientos consuntivos destacables. Este embalse deriva las aguas hacia la nueva central de Millares, por lo que a continuación hay un tramo de cauce en el que el agua circulante procede íntegramente de fuentes y nacimientos en esta zona montañosa.

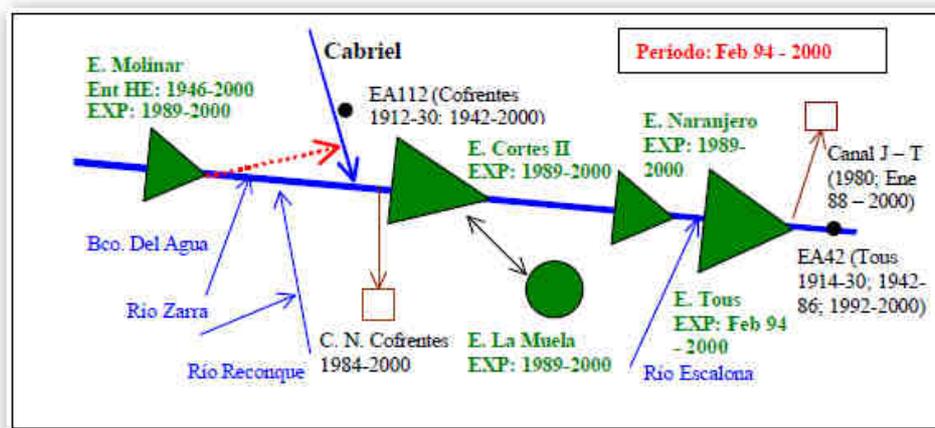


Figura 25: Esquema del Río Júcar entre los Embalses de El Molinar y Tous.

4.2.5 Tramo aguas abajo de Tous

Tras el Salto de Millares nos entramos en la cola del embalse de Tous, realizado por la nueva presa de Tous, enmarcada en el eje de defensas ante avenidas y construida en la misma cerrada de la presa anterior, pero con más altura formando, por lo tanto, un embalse de mayor capacidad (379 hm³). La presa es de escollera y tiene una altura de 125 metros. Su construcción permite una mejor regulación fluvial y la laminación de avenidas, también garantiza el suministro de caudales para abastecimiento del área metropolitana de Valencia y para los riegos de la comarca de la Ribera y del Canal Júcar-Turia con unas 52.000 hectáreas de regadío. Las aguas son utilizadas, igualmente, para la producción de energía eléctrica mediante dos centrales situadas a pie de presa.

Al Embalse de Tous desemboca por la margen derecha el río Escalona, que poco antes ha recogido sus aguas en el embalse del mismo nombre de reciente construcción, cuyo

objetivo fundamental es la laminación de avenidas y tiene un volumen normal de embalse de 90 hm³ y máximo de 143 H m³ y abarca una superficie de 450 hectáreas, el aliviadero, es de lámina libre con una capacidad de 7.913,4 m³ por segundo.

A partir de Tous el Júcar se encañona en un estrecho para abrirse enseguida, al abandonar la cordillera, en los sedimentos recientes que forman el extenso glacis que se prolonga hasta la costa, en estos depósitos ha labrado el río un cauce somero y divagante con escasa capacidad de desagüe, (unos 700 m³/seg. como máximo). Como las crecidas que superan esta cifra no son muy raras, el río tiene en esta zona una relativa facilidad para extenderse por las vegas, a pesar de las obras de defensa que han sido construidas a lo largo del tiempo. Todo el último tramo del río Júcar, desde la presa de Tous a su desembocadura, forma una gran llanura de inundación cóncava, lo que impide la evacuación normal de la riada, como consecuencia, se tienen láminas de agua que alcanzan ordinariamente los dos metros o más en las avenidas extraordinarias. Esto fue lo que ocurrió en octubre de 1982 cuando las precipitaciones de gran intensidad produjeron una gran avenida que destruyó la antigua presa de Tous. Para evitar que una situación semejante se produzca en el futuro, la Confederación Hidrográfica del Júcar prevé la defensa del río frente a las avenidas a partir de Tous hasta su desembocadura con una serie de actuaciones como son la restitución y adaptación de los cauces naturales de los barrancos menores afluentes a la Albufera: Beniparrell y Realón, Silla, Tramuser y Matorro, Foya, Senyor, Agua, Alginet y Berenguera.

Desde la presa de Tous parte el Canal Júcar-Turisa, de 60 Km. de longitud y una capacidad de 32 m³/s, cuyos cauces se dedican al riego y al abastecimiento de la ciudad de Valencia y Sagunto a través de la potabilizadora de Picassent que emplea un caudal medio de 3 m³/s. Se prevé también una transferencia de recursos al Vinalopó.

A partir de Tous el Júcar entra en la Plana de Valencia donde el nivel del acuífero está por encima del cauce del río, por lo que recibe descargas en su recorrido. En la Plana son muy importantes los aprovechamientos para riego (unas 58.215 hectáreas) de las aguas del Júcar, de donde tienen su origen cuatro de las acequias más importantes de la vega valenciana: la de Escalona, Particular de Antella, derivadas a unos 3 Km. aguas

abajo del embalse, la de Carcagente y la Acequia Real del Júcar a la altura de Antella que es la más antigua.

La Acequia Real del Júcar debe su concesión a un privilegio dado en 1.593 por Felipe I de Valencia y II de Castilla, tiene 54 Km. de longitud y una capacidad de 34 m³/seg. El Plan Hidrológico prevé la mejora y modernización de estos riegos, especialmente los de la Acequia Real del Júcar.

En los alrededores de Antella se producen las descargas más importantes del acuífero al río: tras pasar por Antella, el Júcar recibe por la margen derecha las aguas del Sellent. Este río, de carácter torrencial, drena la sierra de Enguera y el sur de la comarca de La Canal de Navarrés.

Más adelante, el Júcar recibe las aguas del río Cãñoles y de los ríos Clariano, Albaida y Micena que unen previamente sus aguas en el embalse de Bellús con capacidad de 69,2 hm³ que ejerce una doble función: la laminación de avenidas y el riego. El río Albaida presenta graves problemas de contaminación debido a los vertidos de un gran número de industrias implantadas en las poblaciones de la zona, tratándose, en su mayor parte, de industrias de papel, textil y tinte. También aparece una importante implantación de empresas de conservas vegetales.

En la población de Algemesí el Júcar recibe por la izquierda el cauce del Magro, que tiene su origen en la sierra de la Mira, en Cuenca, y a lo largo de sus 125 Km. recorre las tierras de Utiel y Requena, salvando en varios escalones la diferencia de altitud entre su tramo alto y la plana litoral. Sus aguas se recogen en el Embalse de Forata, cerca del término municipal de Yátova que tiene un volumen de 39 hm³ y ocupa una superficie de 220 hectáreas. Las aguas las distribuye el Canal del Magro, con un caudal de 3 m³/s y una longitud de 44 Km. riega un área de unas 4.350 hectáreas. En las comarcas de la Ribera Alta y Ribera Baja, el río Magro forma una llanura de inundación, especialmente en la zona entre las poblaciones de Llombay y La Alcudia.

Una vez pasado Algemesí y hasta su desembocadura al sur de Cullera, el Júcar baña una serie de poblaciones como: Albalat de la Ribera, Polinyá del Júcar, Riola, Sueca y Fortaleny. Antes de Riola hay una presa de donde arrancan, por la orilla izquierda, la

acequia de Campanar, la acequia Mayor de Sueca y la del Molino, y por la derecha, la de los Cuatro Pueblos (Riola, Corbera, Llaurí y Fortaleny). En Riola el río forma una nueva curva y sigue hasta el azud de Cullera, arrancando por ambos márgenes sus acequias de riego.

Dos kilómetros antes de Cullera el río forma una recta de rumbo Sursureste hasta su desembocadura, a partir del azud de la Marquesa existe un flujo reversible tierra-mar.

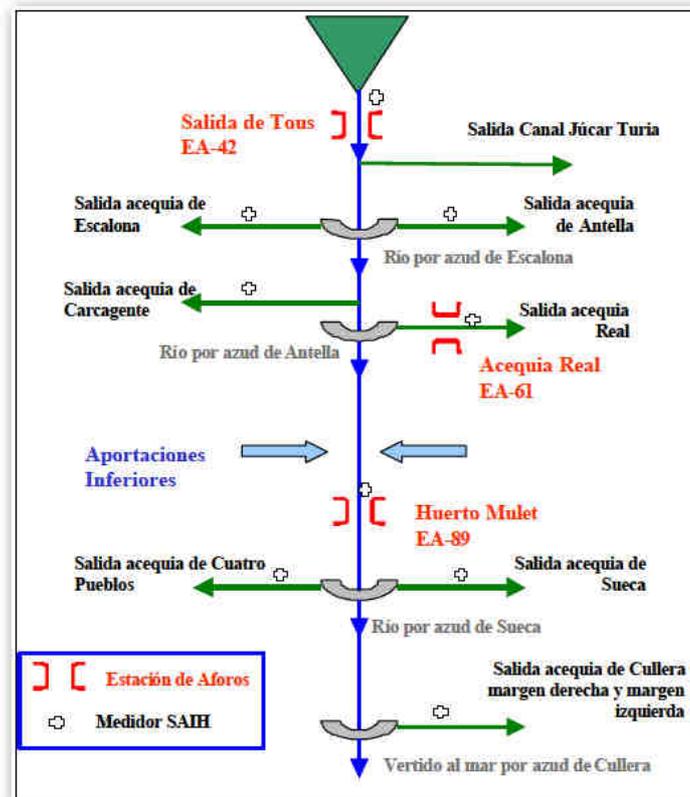


Figura 26: Esquema del Río Júcar aguas abajo de Tous.

4.2.6 La Albufera de Valencia

Entre todos los Espacios Naturales Protegidos de la Comunidad de Valencia La Albufera es el más conocido, estando declarado como Parque Natural. El valor que posee este enclave del litoral mediterráneo ha sido reconocido internacionalmente al estar incluido en la Lista de Zonas Húmedas de Importancia Internacional de Europa y Norte de África con la máxima categoría (A) o de "interés excepcional".

Se trata de una superficie cercana a las 21.000 ha, parte de las cuales son de titularidad pública y otras de propiedad particular. Incluye el llamado Lago de L'Albufera que

ocupa unas 2.000 ha, el cordón dunar que se conoce como Devesa de L'Albufera (800 ha) y el entorno húmedo ocupado por cultivos, principalmente arrozales, urbanizaciones e instalaciones del Parque.

El Parque Natural de la Albufera tiene en su componente zoológica uno de los aspectos más valiosos. Desde el año 1.983 en el que se aprobó el Plan Especial de Protección, se han eliminado aquellos usos o aprovechamientos incompatibles con las características naturales de la zona o con la regeneración de sus ecosistemas. Así, por ejemplo, se ha frenado el crecimiento urbanístico que se produjo en los años 60 y 70, especialmente en la restinga del Saler, la implantación de industrias y el aumento de la superficie de cultivo del arrozal.

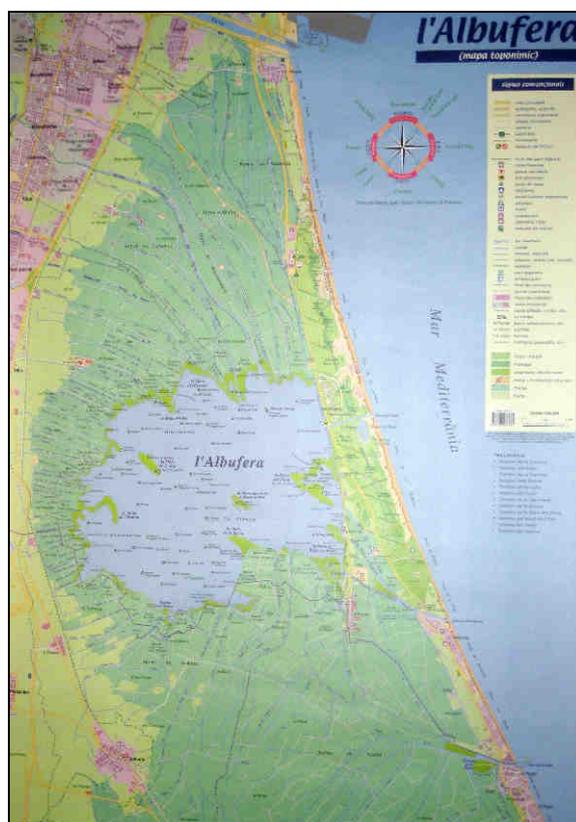


Figura 27: Mapa toponímico de la Albufera de Valencia.

5.- Aplicación al caso de estudio

5.1 Introducción

En los siguientes epígrafes se pasa a aplicar la metodología descrita en el capítulo 3 para el sistema de explotación Júcar, que se ha descrito en el capítulo 4.

Así pues, se seguirán los pasos descritos en la metodología propuesta y que aquí se transcriben:

1. Selección de escenarios climáticos.
2. Obtención de datos climáticos futuros para la zona de estudio.
3. Implementación de un modelo lluvia – escorrentía para obtener las aportaciones futuras.
4. Cálculo de las demandas futuras.
5. Implementación de un modelo de gestión de recursos hídricos (Aquatool).
6. Análisis hidroeconómico de los resultados de la gestión.
7. Planteamiento de estrategias de adaptación en el sistema de gestión y analizarlas mediante los modelos hidroeconómicos.

5.2 Selección de escenarios climáticos

5.2.1 Introducción

En el presente apartado se realiza la selección de escenarios climáticos con los que se realizarán las estimaciones de los escenarios futuros.

Para ello se compararán los datos climáticos históricos para la cuenca del Júcar con los datos de los escenarios de control de los modelos climáticos regionales del proyecto ENSEMBLES, y se realizará una selección de los modelos climáticos que mejor ajusten a las series de control, partiendo de la hipótesis que los modelos con mejor ajuste entre las series de control y las históricas proporcionan las proyecciones más fiables de cambio climático para el ámbito de estudio.

Los datos climáticos históricos han sido obtenidos del estudio *Development and analysis of a 50-year high-resolution daily gridded precipitation dataset over Spain (Spain02)* (Herrera et al., 2010), a partir del cual se han obtenido precipitaciones y temperaturas mensuales históricas entre 1950 y 2003, y con una resolución de malla de 0,2º (aproximadamente celdas de 20x20 km).

Como se ha comentado anteriormente, los datos climáticos futuros se obtienen de los Modelos Climáticos Regionales del proyecto europeo ENSEMBLES (ENSEMBLES, 2009), que trabaja con el escenario A1B, cuyas series de control oscilan entre 1961 y 2000, y tiene datos para series futuras entre los años 1951 y 2100. Tiene una resolución espacial para los datos de las variables a escala mensual de 50x50 km ó 25x25 km, mientras que para el caso de datos diarios, la resolución es de 44x44 km ó 22x22 km. Opera con una amplia gama de variables con son: la precipitación, la temperatura (máxima, mínima y media), la humedad (máxima, mínima y media), la evapotranspiración, la radiación (de onda corta o larga), la velocidad del viento, la dirección del viento, etc. En total se utilizarán los datos de los siguientes MCRs²:

- C4I RCA3
- CHMI ALADIN
- CNRM
- DMI HIRHAM
- ETHZ CLM
- GKSS CLM
- METO HC
- ICTP REGCM3
- KNMI RACMO2

² Aunque el proyecto ENSEMBLES recoge los datos de 15 MCRs, sólo se han podido obtener datos válidos para el ámbito de estudio de 13 de ellos.

- MPI M REMO
- SMHI RCA
- UCLM PROMES
- OURANOS MRCC

Se ha tenido que realizar una ardua tarea de procesado de información, tanto con hojas de cálculo tras descargar la información, como mediante la ayuda de sistemas de información geográfica, para tratar la información espacial, y ajustar los diferentes formatos y distribuciones espaciales con la que se presentan los datos.

5.2.2 Comparativa de las series históricas y de control

5.2.2.1 Introducción

A continuación se realiza la comparación entre los datos obtenidos para la comparación de la serie histórica y las series de control de los Modelos Climáticos Regionales.

Para tratar de dar mayor confianza con los resultados obtenidos se ha realizado en primer lugar una comparación para la serie completa —entre los años 1961 y 2000—, y posteriormente una comparación usando únicamente los 10 años más húmedos en un caso, y los 10 años más secos en el siguiente, para poder asegurar que los Modelos Climáticos Regionales que se escojan ajusten bien en los tres casos.

5.2.2.2 Serie completa

Con los datos de las series históricas y de control se ha realizado un análisis estadístico mensual —obteniendo series de promedios y desviaciones típicas de los valores de la temperatura y precipitación—.

La representación de los 13 MCRs del proyecto ENSEMBLES para el agregado de la cuenca se representa a continuación para las cuatro variables estudiadas, comparándolo con el valor histórico:

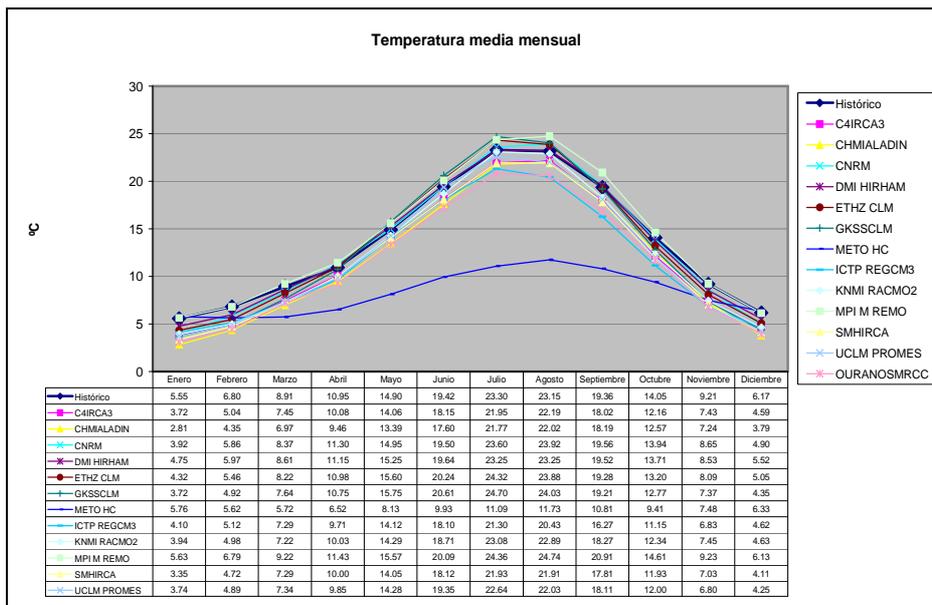


Figura 28: Comparación de la temperatura media mensual histórica y de los MCRs de ENSEMBLES para la cuenca del Júcar.

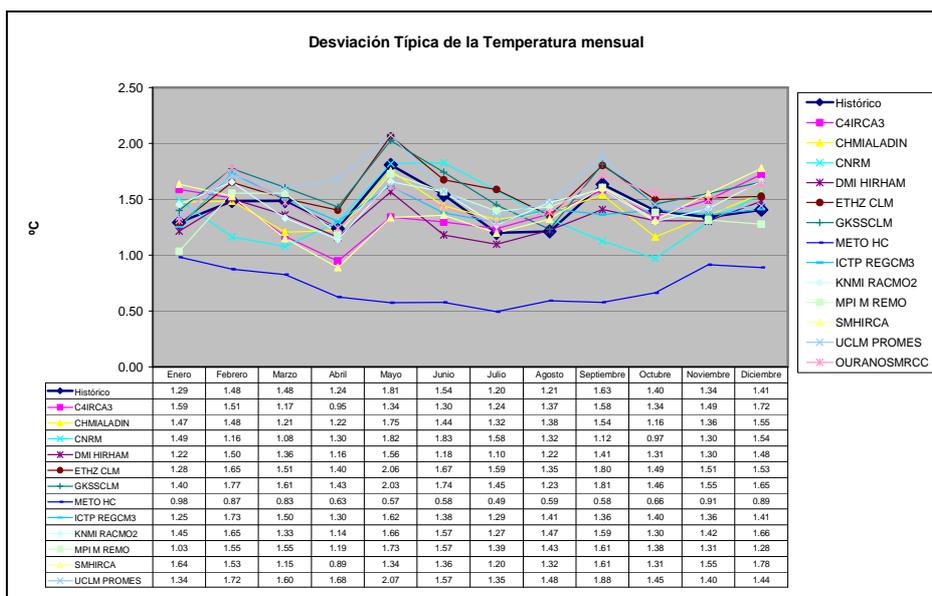


Figura 29: Comparación de la desviación típica de la temperatura mensual histórica y de los MCRs de ENSEMBLES para la cuenca del Júcar.

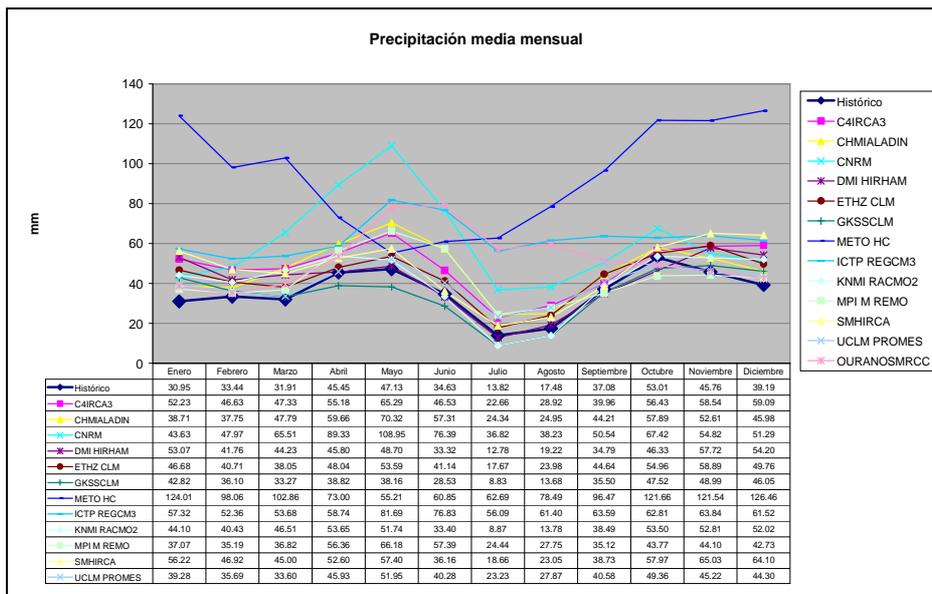


Figura 30: Comparación de la precipitación media mensual histórica y de los MCRs de ENSEMBLES para la cuenca del Júcar.

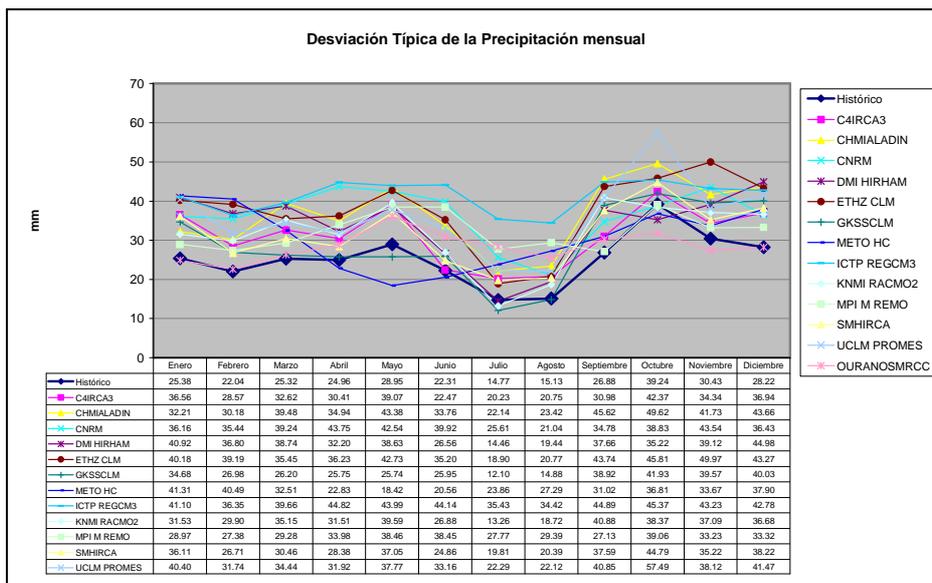


Figura 31: Comparación de la desviación típica de la precipitación mensual histórica y de los MCRs de ENSEMBLES para la cuenca del Júcar.

Para sintetizar la bondad de los ajustes obtenidos se ha definido un indicador (Id) como la sumatoria (para los doce meses del año medio representados en las figuras) del valor absoluto de la distancia relativa entre la media de la serie histórica y el escenario de control (diferencia entre la media de la serie histórica y el escenario de control, dividida entre la serie histórica).

En las siguientes tablas se recogen los resultados obtenidos.

Análisis Multiobjetivo para la Serie Completa														
	C4IRCA3	CHMIALADIN	CNRM	DMI HIRHAM	ETHZ CLM	GKSSCLM	METO HC	ICTP REGCM3	KNMI RACMO2	MPI M REMO	SMHIRCA	UCLM PROMES	OURANOSMRCC	
I_{d,T^a}	1.71	2.28	0.86	0.57	1.03	1.58	3.92	2.00	1.55	0.42	2.01	1.79	2.49	
I_{d,T^b}	1.69	1.01	2.05	0.96	1.33	1.48	5.86	0.91	1.13	0.88	1.77	1.40	1.07	
$I_{d,P}$	4.73	4.13	9.37	2.44	2.75	1.99	22.50	11.78	2.50	3.41	3.91	2.25	8.72	
$I_{d,P}$	3.01	5.54	5.75	4.32	5.89	2.36	4.36	8.57	3.22	4.06	3.11	5.14	2.90	

Tabla 8: Índice I_d , representativo de la distancia entre las medias y las desviaciones estándar entre la serie histórica y las del escenario de control. En gris los modelos descartados.

Se ha llevado a cabo un análisis multiobjetivo para detectar aquellos modelos que son “inferiores” al resto en cuanto a la bondad de la calibración obtenida, es decir aquellos que quedan fuera de la frontera. Para ello se han comparado todos los modelos entre sí y se han eliminado aquellos que son “peores” que algún otro modelo en todo (calibran peor en todas las variables consideradas: media y desviación estándar de precipitación y temperatura), o soluciones dominadas. Así se han descartado los modelos que aparecen sombreados en gris en la tabla anterior.

Finalmente se puede comprobar que los modelos seleccionados porque presentan mejores ajustes son los siguientes: DMI HIRHAM, GKSSCLM, KNMI RACMO2 y MPI M REMO, UCLM PROMES Y OURANOS MRCC.

Y a continuación las figuras de los seis modelos que mejores ajustes presentan:

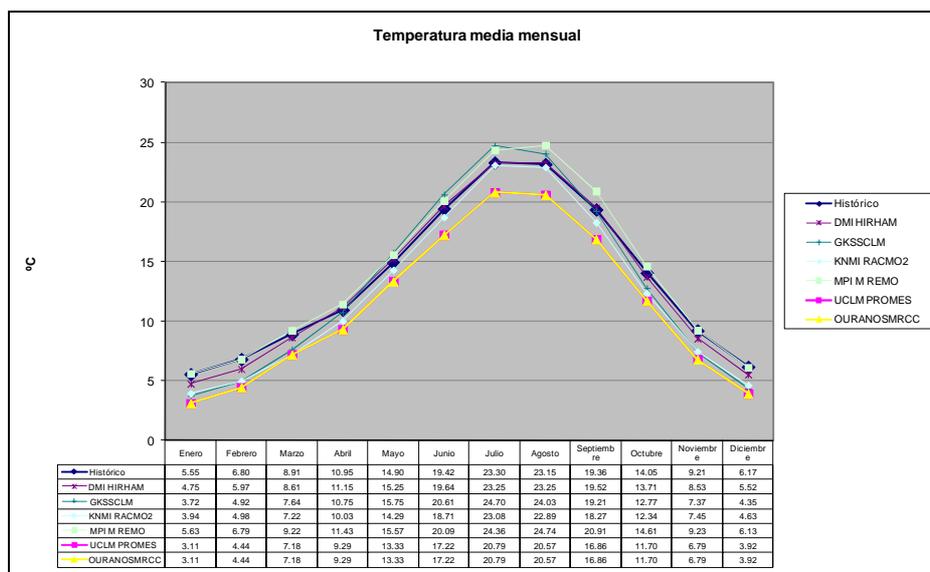


Figura 32: Comparación de la temperatura media mensual histórica y de los MCRs seleccionados de ENSEMBLES para la cuenca del Júcar.

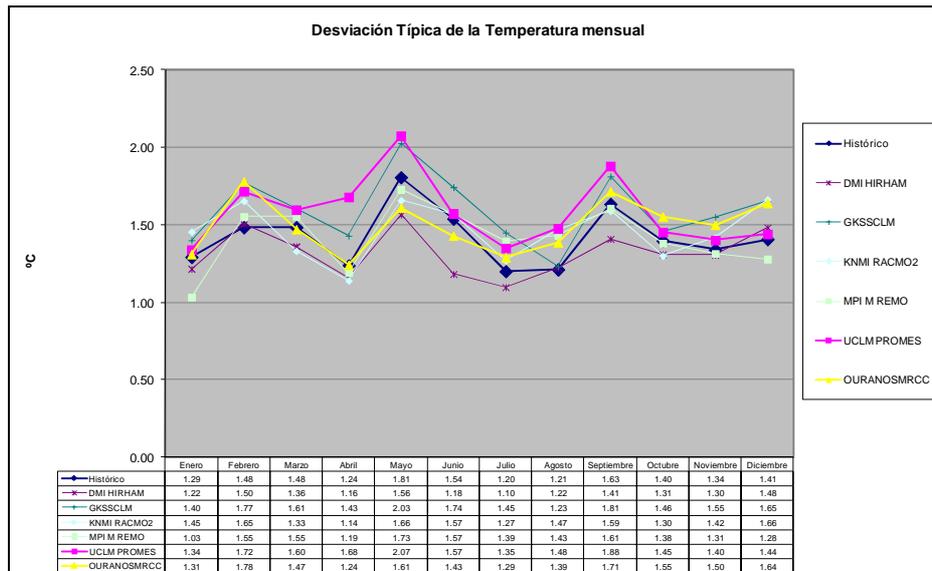


Figura 33: Comparación de la desviación típica de la temperatura mensual histórica y de los MCRs seleccionados de ENSEMBLES para la cuenca del Júcar.

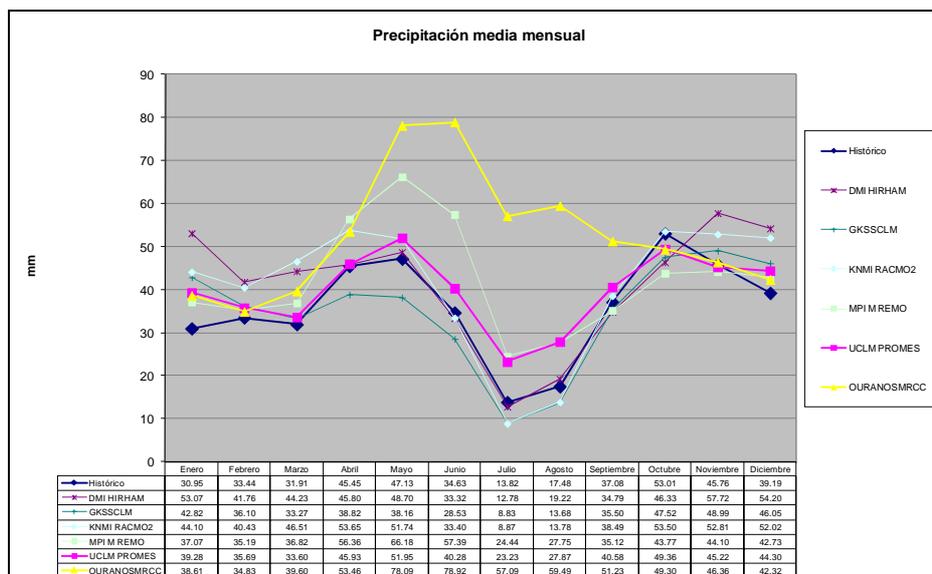


Figura 34: Comparación de la precipitación media mensual histórica y de los MCRs seleccionados de ENSEMBLES para la cuenca del Júcar.

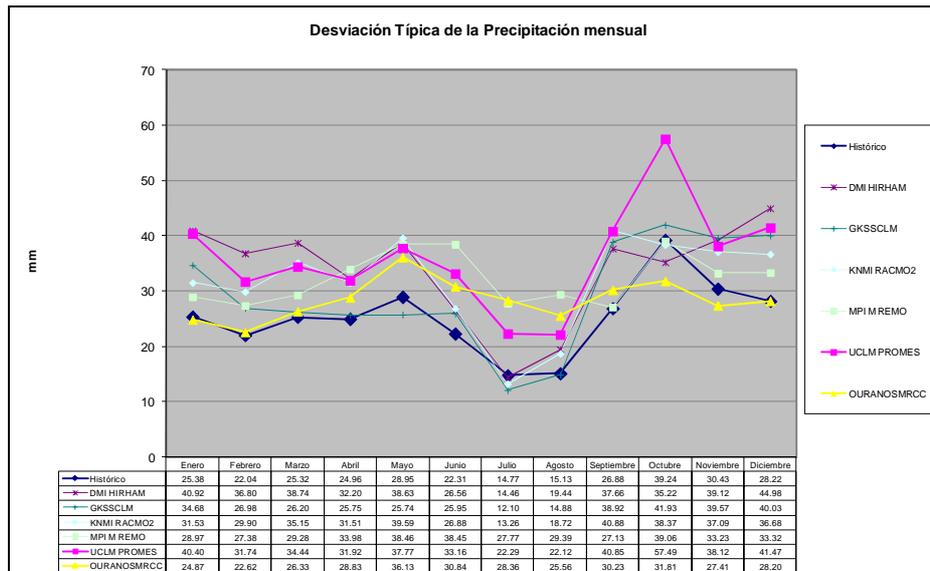


Figura 35: Comparación de la desviación típica de la precipitación mensual histórica y de los MCRs seleccionados de ENSEMBLES para la cuenca del Júcar.

5.2.2.3 Comprobación de los ajustes en los años húmedos y secos

Para comprobar la bondad de los ajustes también en años húmedos o secos, se ha seguido la misma metodología por separado para las series de los 10 años más húmedos y los 10 años más secos que se han obtenido de la precipitación acumulada promedio para todo el ámbito de estudio.

	Año	Precipitación acumulada
Años húmedos (Pm=550 mm)	1969	683.80
	1971	600.05
	1972	559.90
	1989	558.44
	1963	555.10
	1976	520.13
	1962	519.38
	1961	501.86
	1979	501.42
	1977	501.04
Años medios (Pm=427 mm)	1997	499.48
	1965	487.08
	1987	476.60
	1975	469.73
	1966	468.78
	1984	461.40
	1968	454.92
	1996	453.56
	1982	431.98
	1986	428.77
1991	425.23	
1974	419.37	
1988	414.95	
1998	413.58	
2000	408.25	

	1980	381.77
	1992	378.13
	1993	377.99
	1990	345.42
	1967	344.37
Años secos (Pm=315 mm)	1999	344.34
	1985	340.86
	1978	337.73
	1981	335.55
	1964	327.79
	1970	316.86
	1995	304.07
	1973	301.39
	1994	290.28
	1983	252.69

Así pues, y una vez realizado el análisis multiobjetivo para los años húmedos siguiendo la misma metodología expuesta anteriormente, los mejores ajustes para la serie de los 10 años más lluviosos se obtienen con los modelos: C4IRCA3, CHMIALADIN, DMI HIRHAM, ETHZ CLM, KNMI RACMO2, MPI M REMO y OURANOS SMRCC, tal como se puede ver en la tabla de los indicadores:

Análisis Multiobjetivo para la serie de los Años Húmedos													
	C4IRCA3	CHMIALADIN	CNRM	DMI HIRHAM	ETHZ CLM	GKSSCLM	METO HC	ICTP REGCM3	KNMI RACMO2	MPI M REMO	SMHIRCA	UCLM PROMES	OURANOSMRCC
$I_{d_i}T^a$	1.48	1.94	0.58	0.56	0.98	1.52	3.74	1.97	1.39	0.54	1.75	1.78	2.39
$I_{d_o}T^a$	1.76	1.32	2.63	1.86	2.22	2.05	6.06	2.21	1.61	1.78	1.86	2.48	1.19
$I_{d_i}P$	4.15	3.44	7.62	2.96	2.68	2.55	14.15	9.50	2.23	3.85	3.47	2.99	6.93
$I_{d_o}P$	3.84	5.83	7.85	6.09	7.67	4.13	4.13	9.36	3.86	5.99	4.89	8.76	4.65

Tabla 9: Índice I_d , representativo de la distancia entre las medias y las desviaciones estándar entre la serie histórica y las del escenario de control para los años húmedos. En gris los modelos que quedarían descartados.

Del mismo modo, y una vez realizado el análisis multiobjetivo para los años secos, los mejores ajustes para la serie de los 10 años con menos lluvia se obtienen con los modelos: DMI HIRHAM, GKSS CLM, MPI M REMO, SM HIRCA y OURANOS SMRCC, tal como se puede ver en la tabla de los indicadores:

Análisis Multiobjetivo para la serie de Años Secos													
	C4IRCA3	CHMIALADIN	CNRM	DMI HIRHAM	ETHZ CLM	GKSSCLM	METO HC	ICTP REGCM3	KNMI RACMO2	MPI M REMO	SMHIRCA	UCLM PROMES	OURANOSMRCC
$I_{d_i}T^a$	1.81	2.38	0.89	0.63	1.08	1.63	4.33	1.99	1.56	0.40	2.16	1.82	2.49
$I_{d_o}T^a$	1.71	1.60	2.55	1.18	1.60	1.83	5.76	1.33	1.92	1.82	1.60	2.48	1.42
$I_{d_i}P$	8.22	6.66	15.27	4.36	4.55	1.91	36.93	16.34	4.58	6.02	6.93	5.80	14.96
$I_{d_o}P$	5.79	7.79	9.10	5.71	5.72	2.81	8.11	10.30	6.30	6.34	4.71	8.70	5.45

Tabla 10: Índice I_d , representativo de la distancia entre las medias y las desviaciones estándar entre la serie histórica y las del escenario de control para los años secos. En gris los modelos que quedarían descartados.

5.2.2.4 Conclusiones sobre la bondad de los ajustes

De la observación de las tablas de resultados de los análisis multiobjetivo se extrae que los modelos DMI HIRHAM, MPI REMO Y OURANOS MRCC superarían el análisis multiobjetivo también en las series de Años Húmedos y de Años Secos, los modelos GKSSCLM y KNMI RACMO se caerían en alguno de los análisis multiobjetivo de las series extremas, y el modelo UCLM PROMES no sería seleccionado en ninguna de las series de años extremos. También se puede observar que alguno de los otros modelos superaría el análisis multiobjetivo en alguna de las series de los años extremos.

Como conclusión se extrae que los modelos que presentan buenos ajustes en la serie completa, aunque con algún pequeño matiz, también presentan buenos ajustes en las series de años extremos, por lo que se ha decidido seguir con estos seis modelos —los que fueron seleccionados para la serie completa— para los análisis posteriores.

5.3 Obtención de las series de datos climáticos futuros

5.3.1 Análisis de la evolución futura de las principales variables climáticas

5.3.1.1 Introducción

En el presente epígrafe se estudiarán las evoluciones futuras de las principales variables climáticas —temperatura y precipitación— extraídas de los datos que se presentan en el proyecto ENSEMBLES para el escenario A1B de los modelos que se ha demostrado anteriormente que presentan un mejor ajuste en el ámbito del Sistema de Explotación Júcar. Estos modelos son los siguientes:

- DMI HIRHAM
- GKSS CLM
- KNMI RACMO
- MPI M REMO
- UCLM PROMES
- OURANOS

Se realizará el análisis para el corto plazo (2011 – 2040), el medio plazo (2041 – 2070), y el largo plazo (2071 – 2100)³.

5.3.1.2 Evolución de los promedios mensuales de temperatura

Se presentan a continuación los resultados del análisis del promedio mensual y la desviación estándar mensual de la temperatura.

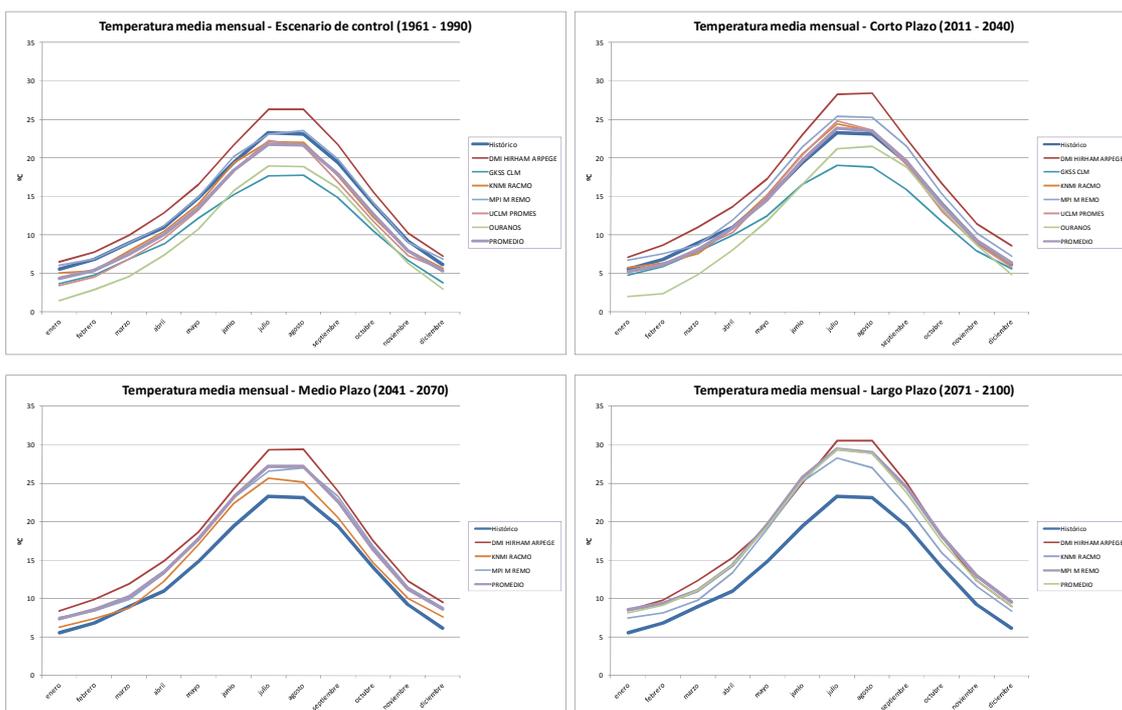


Figura 36: Evolución de la temperatura media mensual para el escenario de control y los tres escenarios futuros extraídos de los MCRs de ENSEMBLES seleccionados.

Como se puede ver en los promedios mensuales de temperatura existe una tendencia prevista en todos los modelos de un aumento de temperatura, más acusada en función del paso de los años en el siglo XXI. Para poder comparar se ha incluido en azul más gruesa la línea que marca el promedio mensual de la temperatura histórica.

En lo que se refiere a la desviación típica que se presenta a continuación, no existe una tendencia clara de los modelos en ninguno de los escenarios.

³ Es necesario comentar que los modelos GKSS CLM, UCLM PROMES y OURANOS solamente tienen publicados datos hasta el 2050, por lo que únicamente se realizará el análisis para el corto plazo.

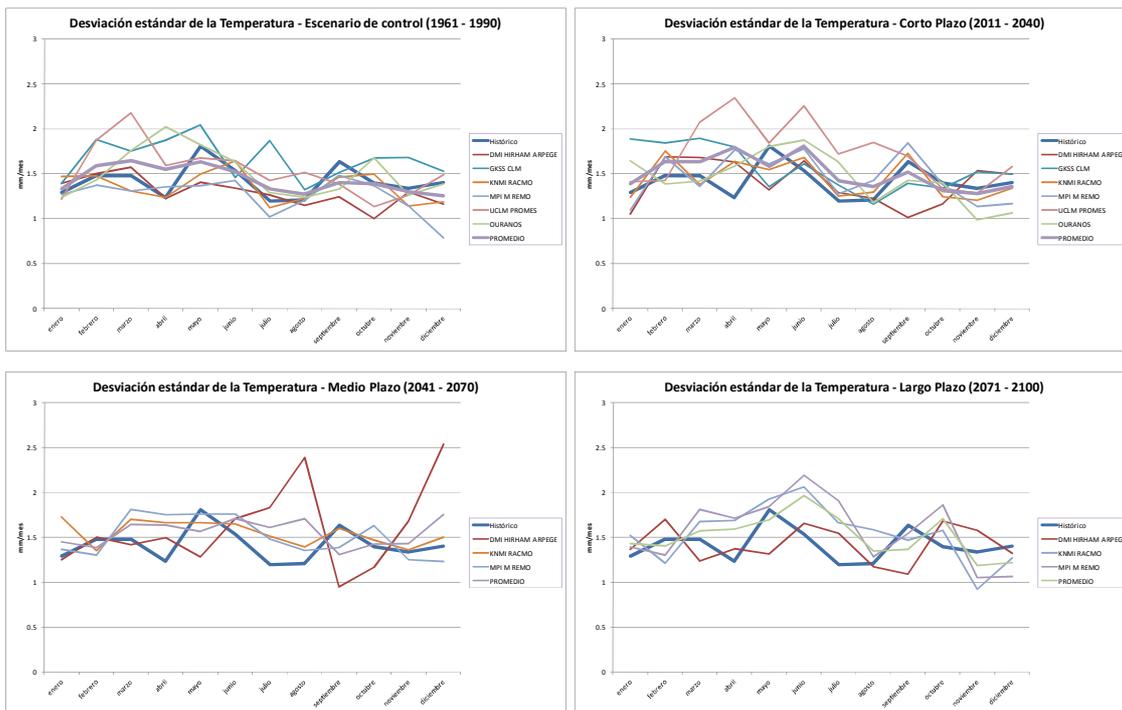


Figura 37: Evolución de la desviación típica de la temperatura mensual para el escenario de control y los tres escenarios futuros extraídos de los MCRs de ENSEMBLES seleccionados.

5.3.1.3 Evolución de los promedios mensuales de la precipitación

Se presentan a continuación los resultados del análisis del promedio mensual y la desviación estándar mensual de la precipitación.

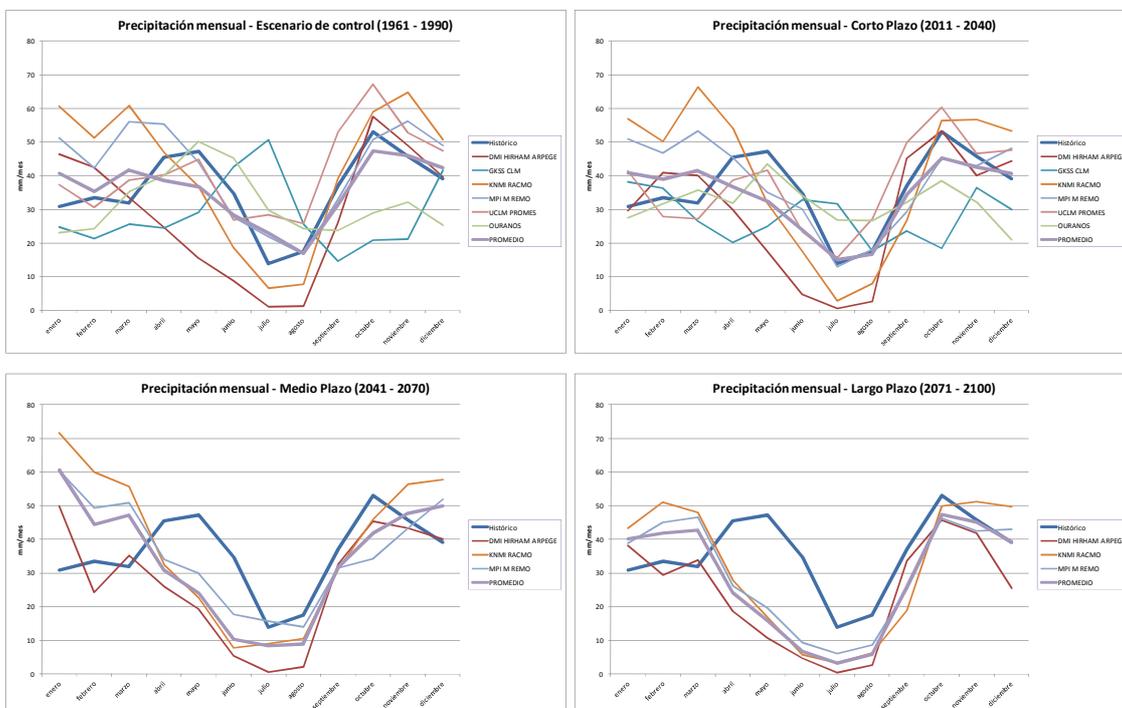


Figura 38: Evolución de la precipitación media mensual para el escenario de control y los tres escenarios futuros extraídos de los MCRs de ENSEMBLES seleccionados.

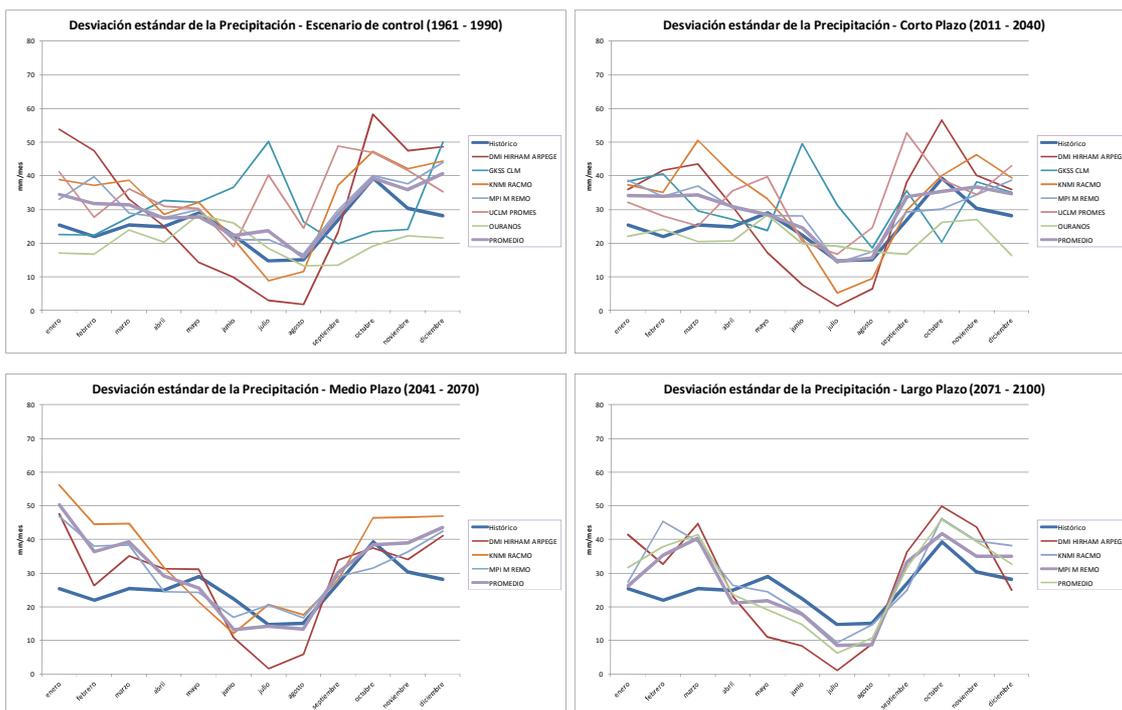


Figura 39: Evolución de la desviación típica de la precipitación mensual para el escenario de control y los tres escenarios futuros extraídos de los MCRs de ENSEMBLES seleccionados.

Por lo que se refiere a la variación de los promedios mensuales de precipitación, se puede apreciar un descenso significativo en verano en los sucesivos escenarios, mientras que en el medio plazo y en el largo plazo se presenta un aumento acusado de la precipitación en los meses de invierno, lo que puede hacer suponer un cambio de tendencia en la distribución anual de la precipitación. Por lo que se refiere a la desviación típica, del mismo modo que en la temperatura, tampoco se aprecia una tendencia clara.

5.3.1.4 Serie completa de la evolución de la temperatura

Se presenta a continuación la evolución del promedio para todos los modelos de la serie completa de temperaturas y las anomalías respecto a la serie de control.

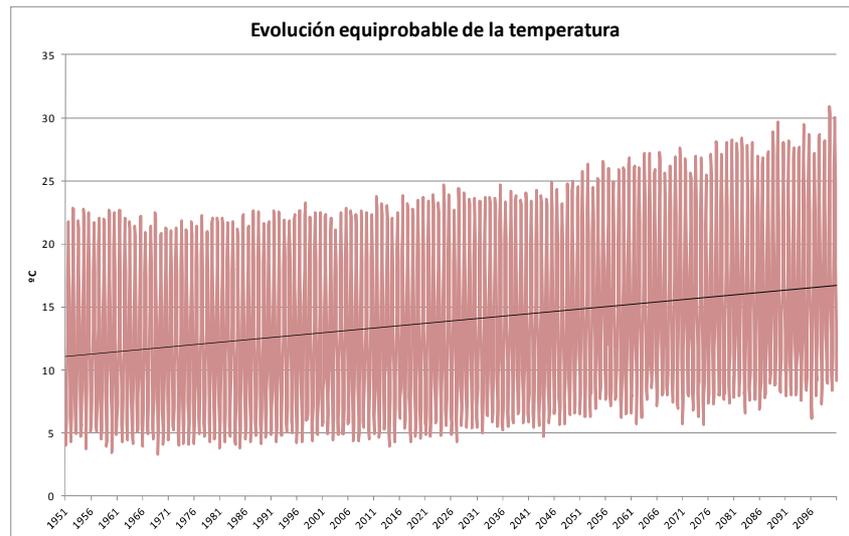


Figura 40: Evolución equiprobable de la temperatura con los modelos ENSEMBLES seleccionados.

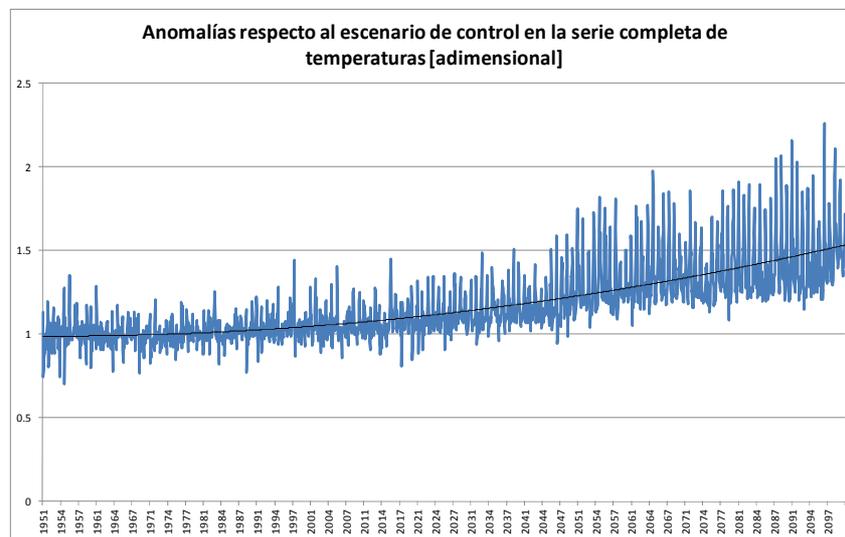


Figura 41: Anomalías respecto al escenario de control en la serie completa de temperaturas [adimensional].

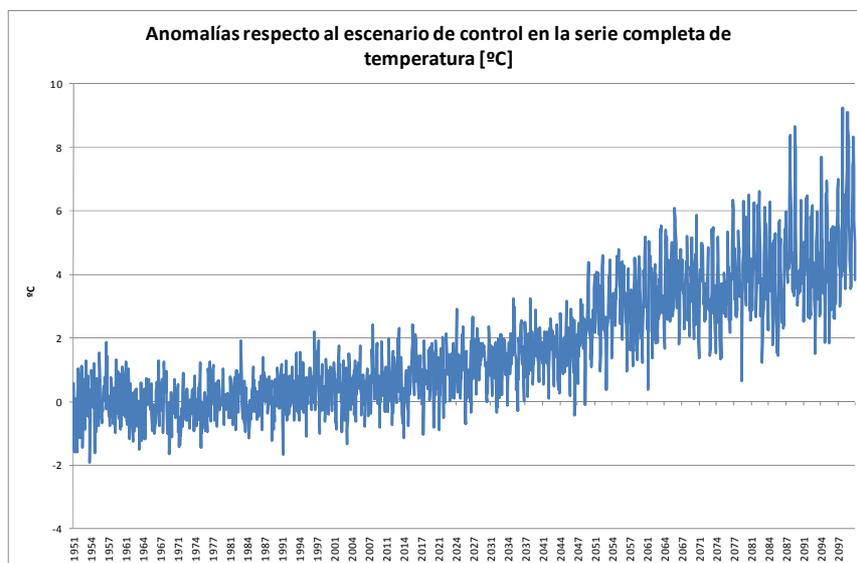


Figura 42: Anomalías respecto al escenario de control en la serie completa de temperaturas [°C].

5.3.1.5 Serie completa de la evolución de la precipitación

Se presenta a continuación la evolución del promedio para todos los modelos de la serie completa de precipitación y las anomalías respecto a la serie de control.

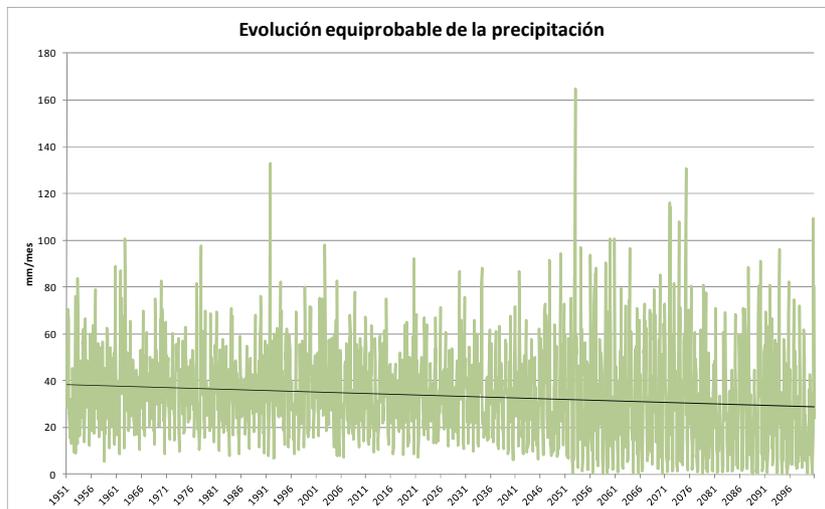


Figura 43: Evolución equiprobable de la precipitación con los modelos ENSEMBLES seleccionados.

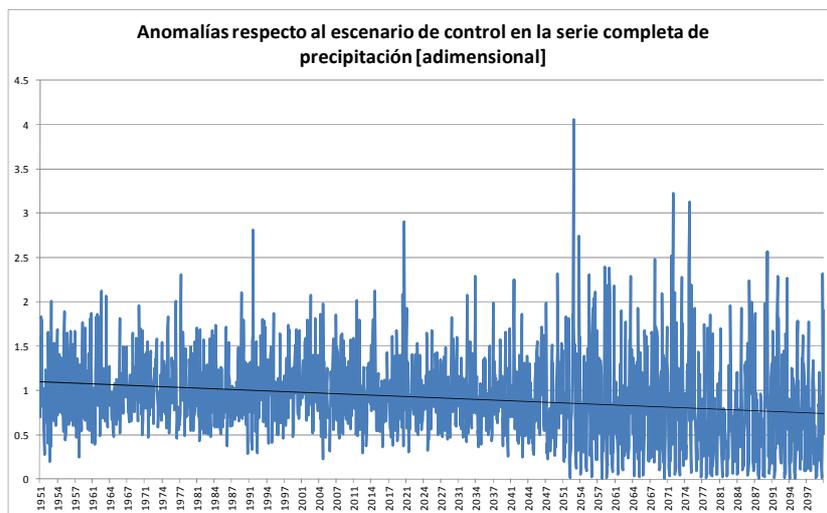


Figura 44: Anomalías respecto al escenario de control en la serie completa de precipitación [adimensional].

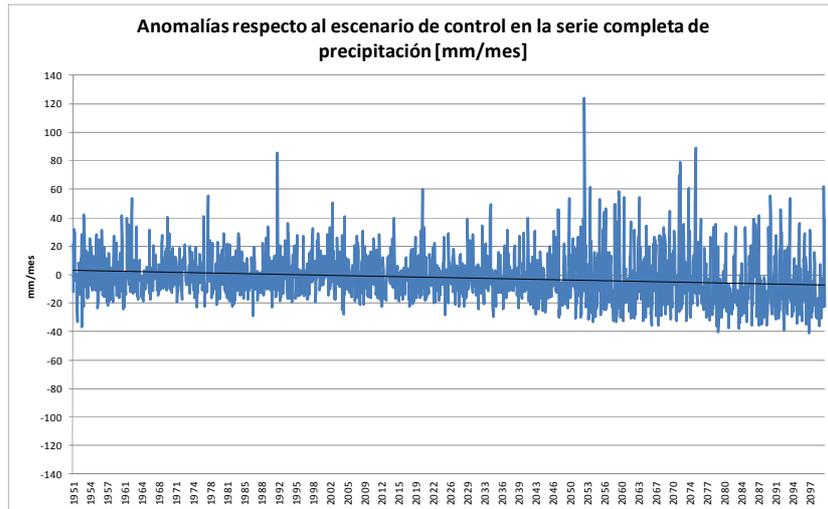


Figura 45: Anomalías respecto al escenario de control en la serie completa de precipitación [mm].

5.3.1.6 Anomalías mensuales respecto a la serie de control

Se presentan en los siguientes gráficos las anomalías del promedio de las series para los tres escenarios y para las dos variables climáticas:

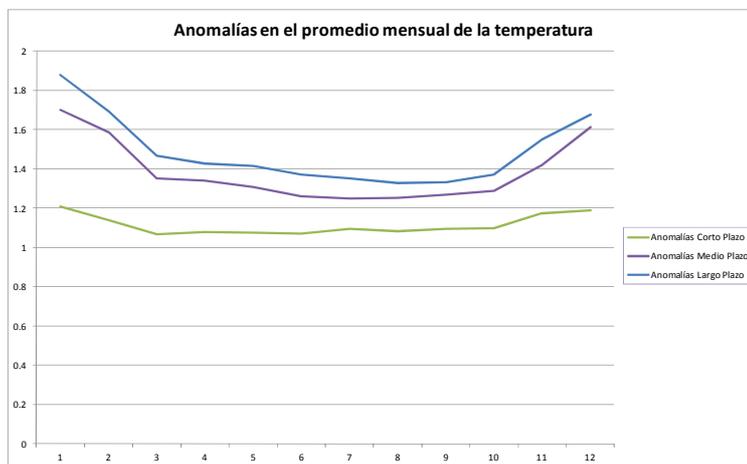


Figura 46: Anomalías en el promedio mensual de temperatura para los escenarios futuros.

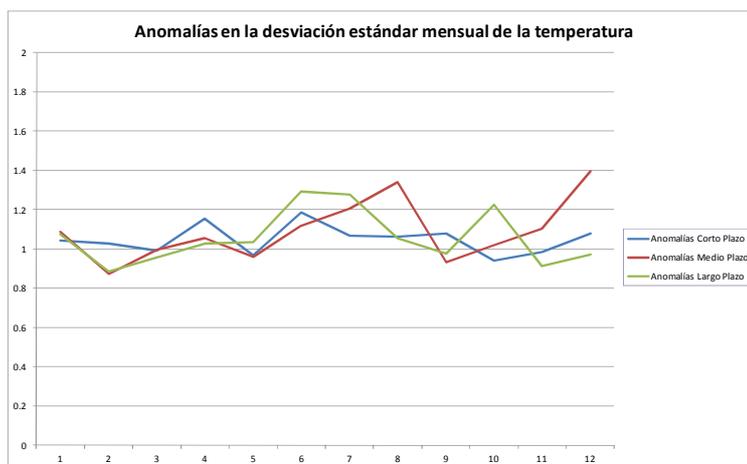


Figura 47: Anomalías en la desviación estándar mensual de la temperatura para los escenarios futuros.

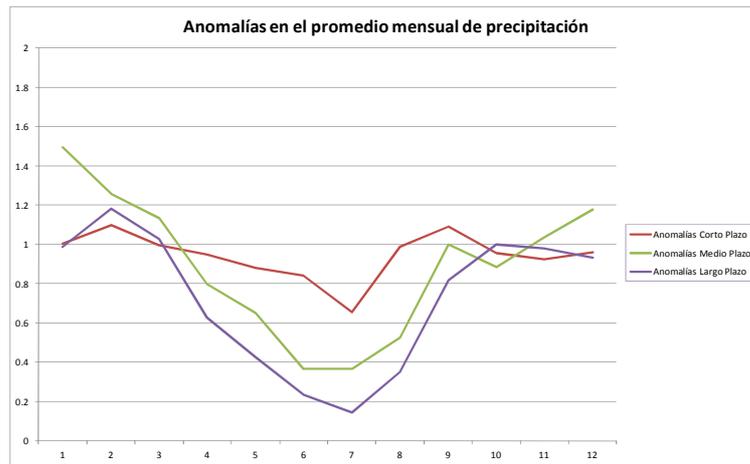


Figura 48: Anomalías en el promedio mensual de precipitación para los escenarios futuros.

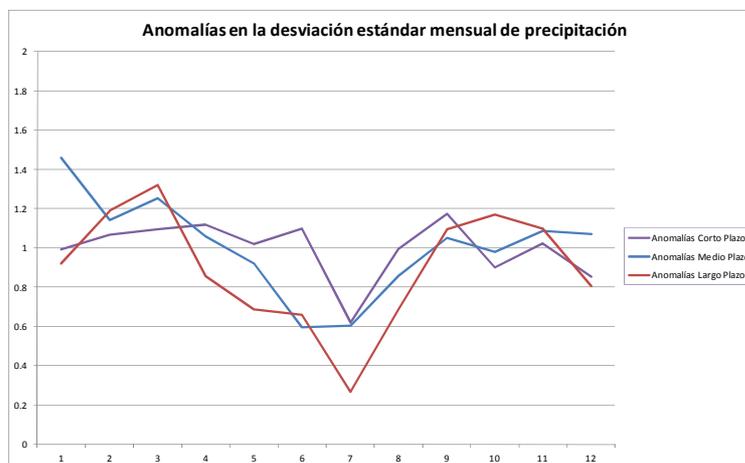


Figura 49: Anomalías en la desviación estándar mensual de la precipitación para los escenarios futuros.

5.3.2 Generación de series de datos climáticos para escenarios futuros

En el apartado 3.3 se ha descrito la metodología para realizar un reescalado estadístico para obtener los valores de temperatura y precipitación en el sistema, a partir de las variaciones estimadas para dichas variables por los modelos del proyecto ENSEMBLES seleccionados en este estudio.

Así pues, a partir de las series históricas, y con los valores de las variaciones existentes en las medias y desviaciones típicas mensuales de las series de precipitación y temperatura para el corto, medio y largo plazo respecto a la serie de control, se obtienen las series modificadas que se usarán como datos de entrada en el modelo lluvia – escorrentía y en el cálculo de las demandas futuras.

5.4 Modelo lluvia – escorrentía

5.4.1 Introducción

Para generar las aportaciones de los escenarios futuros es necesario implementar un modelo lluvia-escorrentía que se ajuste razonablemente bien a las condiciones históricas de las cuencas y que a partir de los datos climáticos futuros sea capaz de prever las aportaciones para los escenarios que se proponen.

Así pues, a partir de los caudales en régimen natural obtenidos por la restitución realizada por el Sistema Integrado de Precipitación Aportación (SIMPA) desarrollado por el CEDEX, se ha implementado un Modelo Hidrológico Lluvia – Escorrentía para cada una de las subcuencas en las que se ha subdividido la cuenca, y que se utilizarán más adelante en el modelo de gestión de recursos hídricos siguiendo la formulación descrita por Témez (Témez, 1977; Estrela y Quintas, 1996).

Además de ello, y ya que los Modelos Climáticos Regionales del proyecto ENSEMBLES también presenta como dato de salida la escorrentía de cada una de las celdas, se han obtenido los datos de estas escorrentías para tratar de compararlas con los resultados del modelo de Témez.

Una vez obtenidos los modelos ajustados para las series históricas, se alimentarán estos modelos con las series de datos climáticos futuros —precipitación y temperatura— y se obtendrán las series de aportaciones para los escenarios futuros, con los que se podrán comparar las variaciones de media y desviación típica para los escenarios futuros y de control, y generar nuevas series a partir de las series históricas reescaladas estadístico siguiendo la misma metodología del apartado 3.3.

5.4.2 Modelo de Témez

5.4.2.1 Introducción

El modelo de Témez es un modelo de simulación de balance continuo de pocos parámetros que considera el terreno dividido en dos zonas (Témez, 1977):

- Zona superior no saturada, o de humedad del suelo.
- Zona inferior o acuífero, saturada de agua, funcionando como embalse subterráneo con desagüe a la red superficial de drenaje.

Realiza una simulación hidrológica en cada una de las celdas, evaluando el balance de flujos entrantes y salientes en cada celda, a través de un proceso hidrológico completo, gobernado por el principio de continuidad y de balance de masas.

Como datos de entrada se tiene la precipitación y la evapotranspiración potencial (obtenida a partir de la temperatura), mientras que como datos de salida se obtiene la evapotranspiración real, las aportaciones superficiales y subterráneas. También se pueden obtener los flujos y almacenamientos intermedios en cada celda.

Para la aplicación a la cuenca de estudio de los modelos de Témez, se ha subdividido la cuenca en 8 subcuencas —en función de las aportaciones que son datos de entrada del modelo de gestión de recursos hídricos Aquatool— y se ha ajustado un modelo de Témez a cada uno de ellos con distintos parámetros, teniendo como datos de entrada la precipitación y la evapotranspiración —obtenidas a partir de los datos de precipitación y temperatura históricas del proyecto Spain02 (Herrera et al., 2010)— y como dato de comparación los caudales en régimen natural de SIMPA, para la serie mensual de aportaciones entre 1961 y 2000.

Las subcuencas en las que se ha subdividido la cuenca del Júcar son las siguientes:

- Alarcón
- El Molinar
- Contreras
- Tous
- Río Sellent
- Río Albaida
- Río Verde
- Río Magro

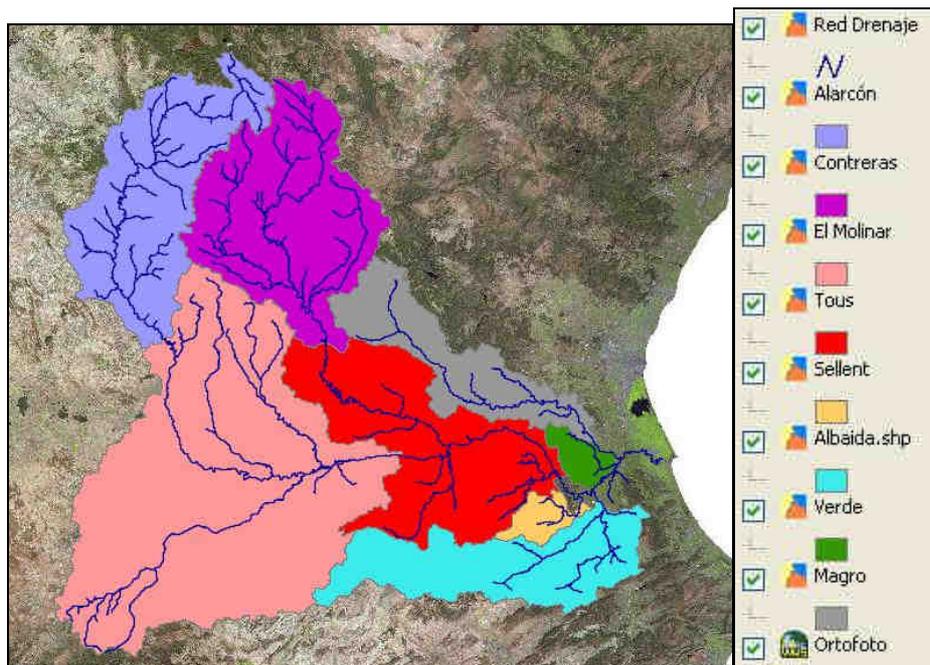


Figura 50: Subcuencas consideradas para la implementación de los modelos de Témex.

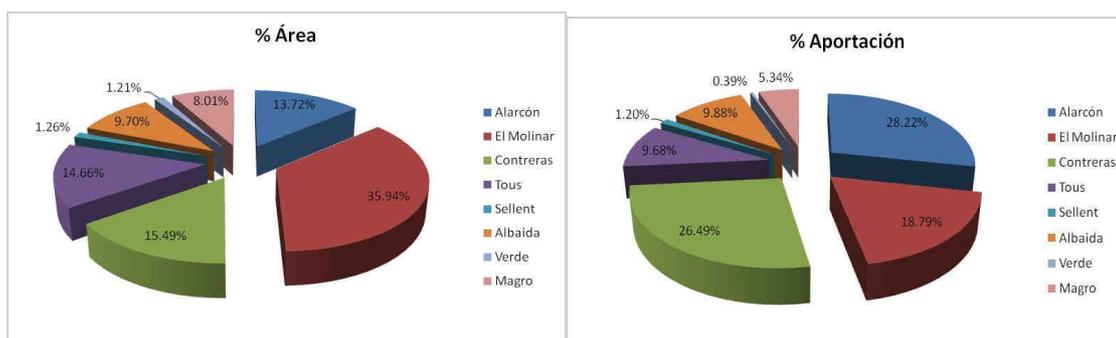


Figura 51: Porcentaje de superficie y aportación que representan cada una de las cuencas sobre el total del Sistema Júcar.

5.4.2.2 Resultados obtenidos en los ajustes

Para el ajuste se calibró el modelo de cada una de las subcuencas para la serie entre los años 1961 y 1990, y la validación de éste para la serie entre los años 1991 y 2000.

Se presentan a continuación los resultados de los ajustes de aportaciones mensuales, aportaciones acumuladas anuales y aportación media mensual para cada una de las subcuencas para la serie completa de datos, y una tabla con los resultados del ajuste en la que se presentan la comparación entre los volúmenes simulados y de las aportaciones SIMPA, los errores absolutos y cuadráticos medios anuales, el coeficiente de correlación (R) y el coeficiente de eficiencia de Nash (C_{eff}).

5.4.2.2.1 Alarcón

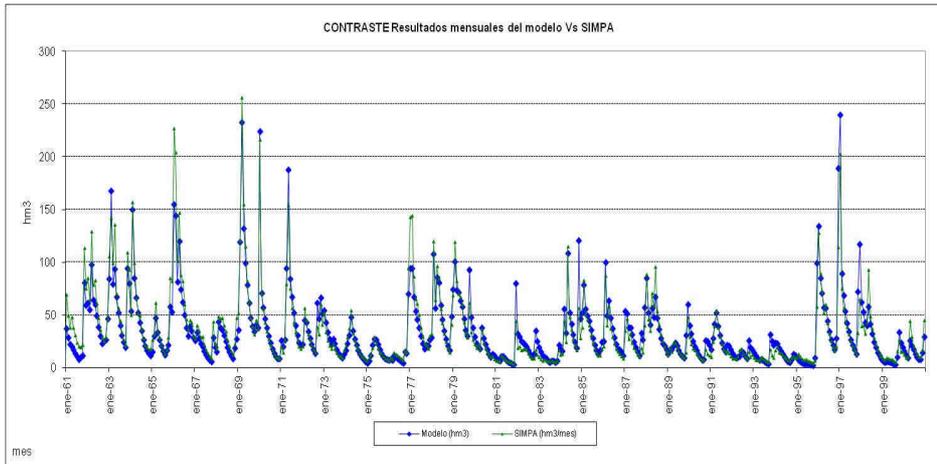


Figura 52: Ajuste de las aportaciones mensuales en Alarcón para la serie 1961-2000.

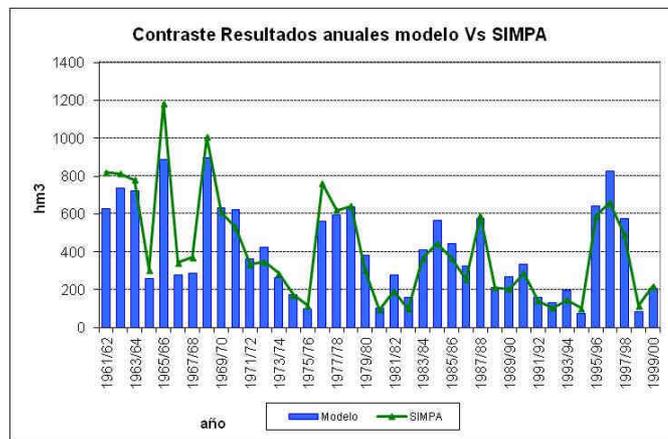


Figura 53: Contraste de resultados anuales en Alarcón para la serie 1961-2000.

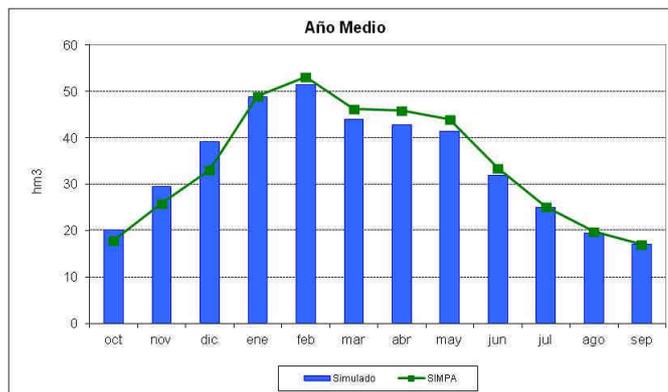


Figura 54: Comparación del año medio en Alarcón para la serie 1961-2000.

RESULTADOS			
Simulado	410.7	Error Medio Anual	84.42
SIMPA	410.7	Error Cuadrático	31.05
		R	0.94
		Ceff	0.88

Tabla 11: Resultados de los ajustes para Alarcón.

5.4.2.2.2 El Molinar

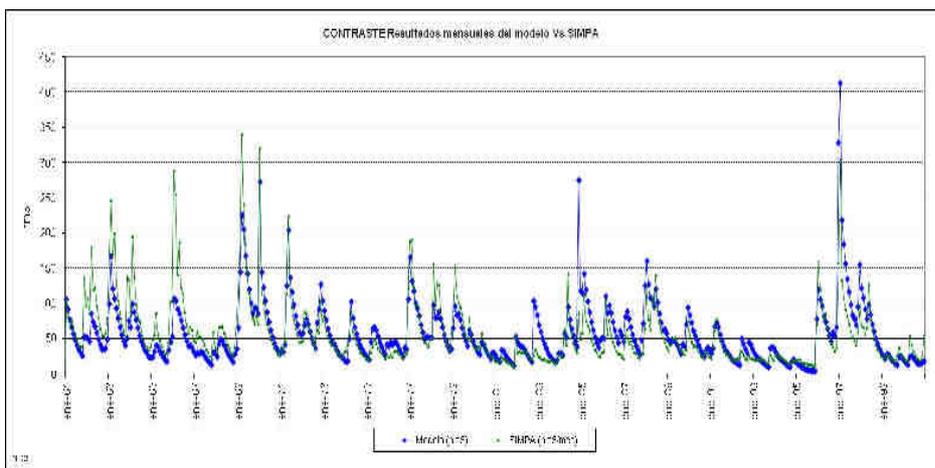


Figura 55: Ajuste de las aportaciones mensuales en El Molinar para la serie 1961-2000.

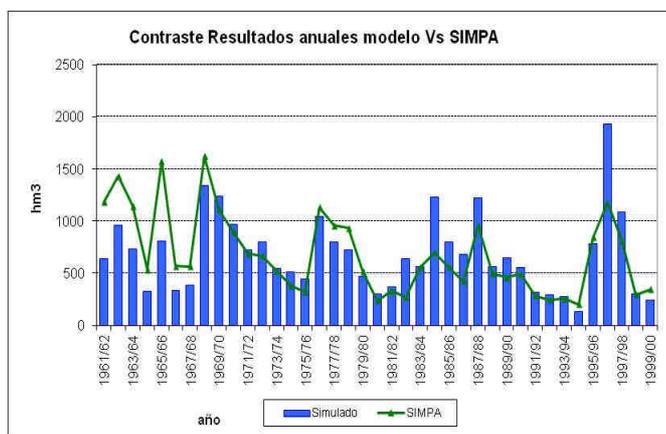


Figura 56: Contraste de resultados anuales en El Molinar para la serie 1961-2000.

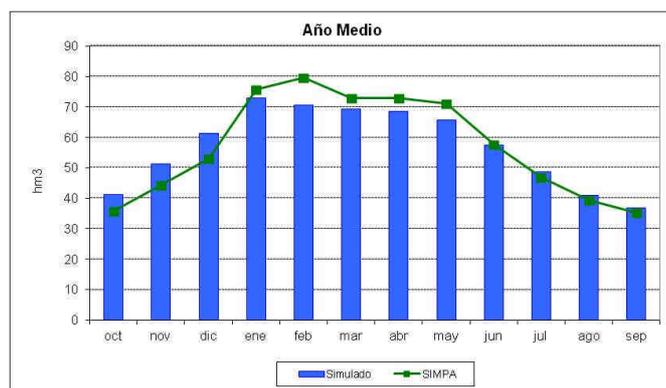


Figura 57: Comparación del año medio en El Molinar para la serie 1961-2000.

RESULTADOS			
Simulado	684.7	Error Medio Anual	221.44
SIMPA	684.4	Error Cuadrático	122.89
		R	0.78
		Ceff	0.59

Tabla 12: Resultados de los ajustes para El Molinar.

5.4.2.2.3 Contreras

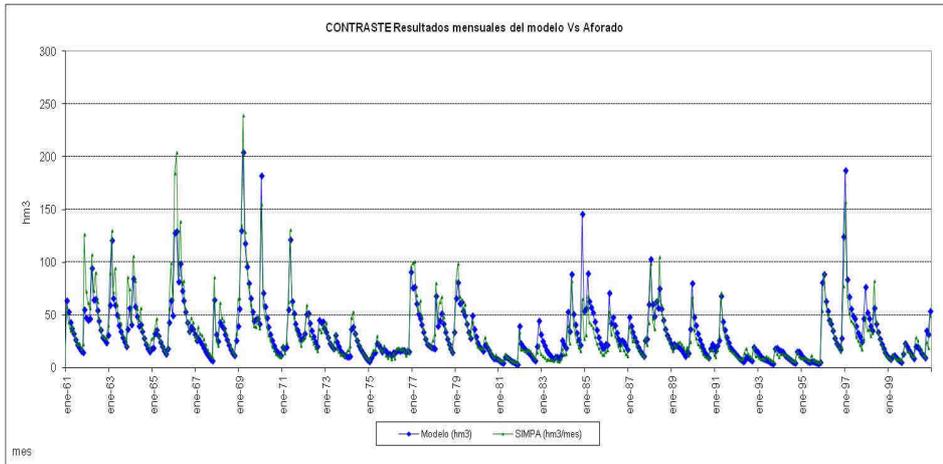


Figura 58: Ajuste de las aportaciones mensuales en Contreras para la serie 1961-2000.

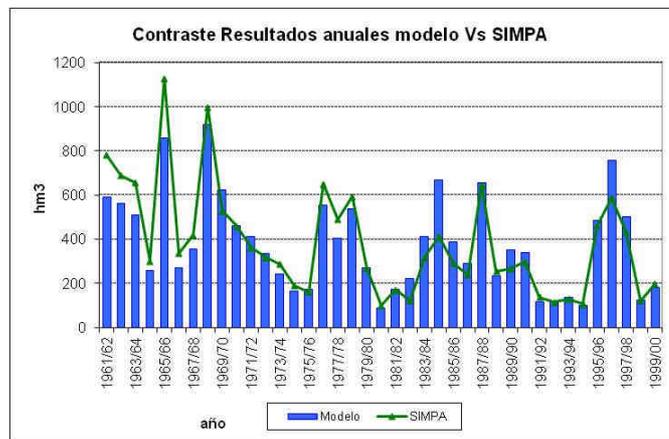


Figura 59: Contraste de resultados anuales en Contreras para la serie 1961-2000.

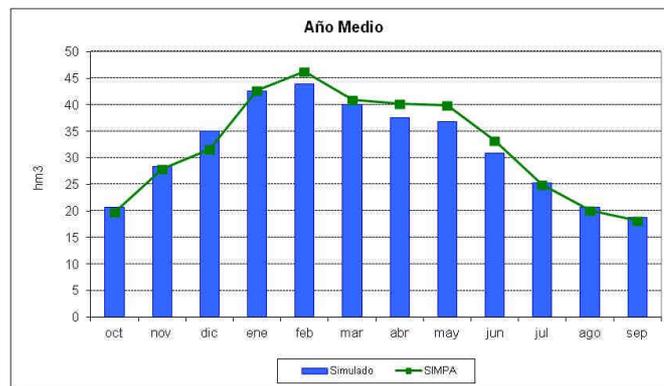


Figura 60: Comparación del año medio en Contreras para la serie 1961-2000.

RESULTADOS			
Simulado	380.5	Error Medio Anual	79.57
SIMPA	385.5	Error Cuadrático	28.35
		R	0.92
		Ceff	0.85

Tabla 13: Resultados de los ajustes para Contreras.

5.4.2.2.4 Tous

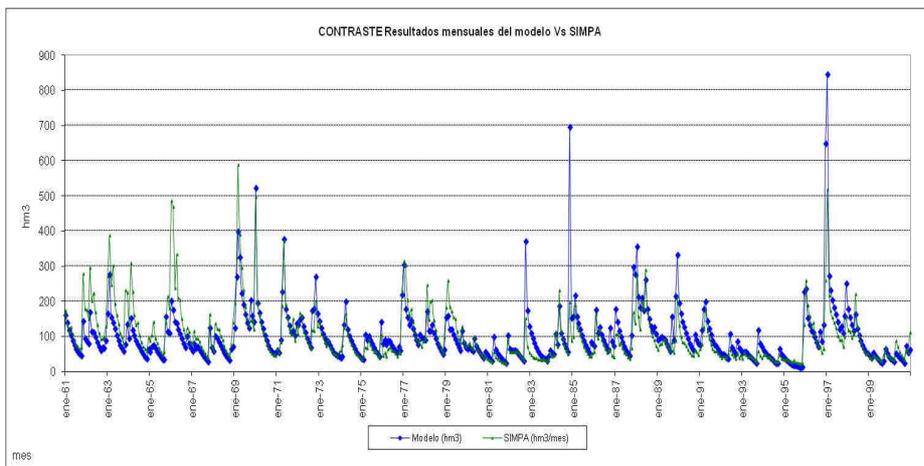


Figura 61: Ajuste de las aportaciones mensuales en Tous para la serie 1961-2000.

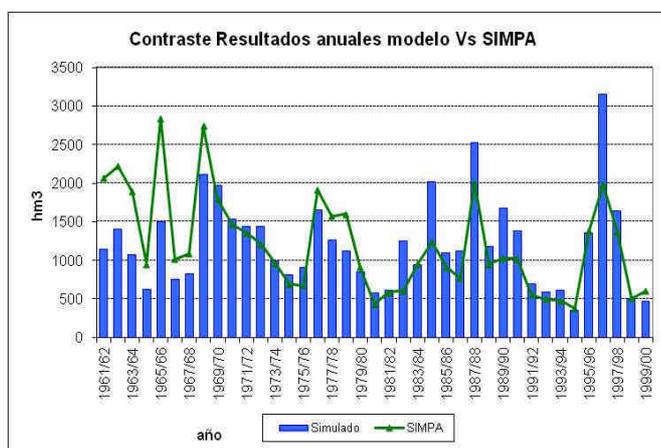


Figura 62: Contraste de resultados anuales en Tous para la serie 1961-2000.

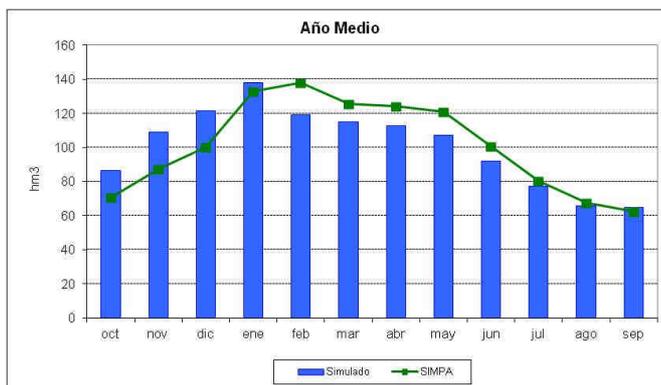


Figura 63: Comparación del año medio en Tous para la serie 1961-2000.

RESULTADOS			
Simulado	1,209.7	Error Medio Anual	369.86
SIMPA	1,210.8	Error Cuadrático	208.82
		R	0.75
		Ceff	0.48

Tabla 14: Resultados de los ajustes para Tous.

5.4.2.2.5 Sellent

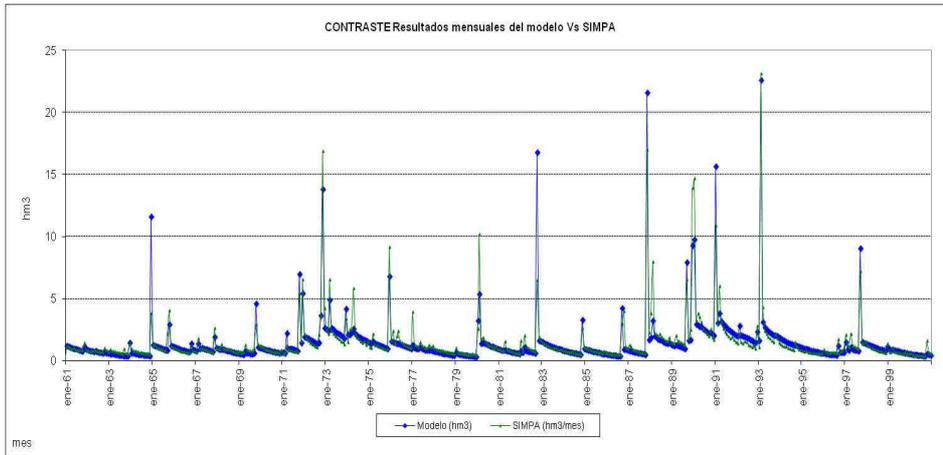


Figura 64: Ajuste de las aportaciones mensuales en Sellent para la serie 1961-2000.

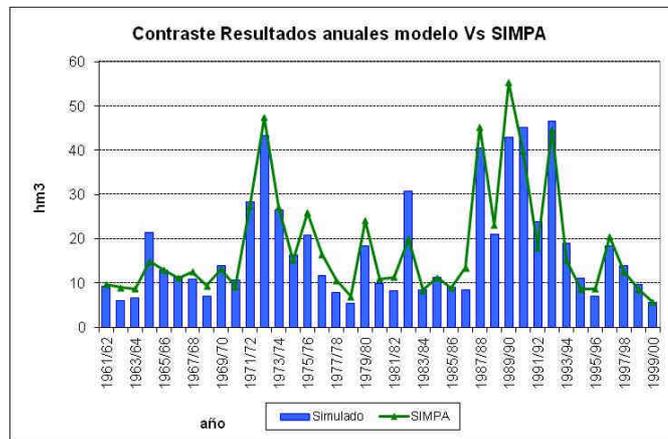


Figura 65: Contraste de resultados anuales en Sellent para la serie 1961-2000.

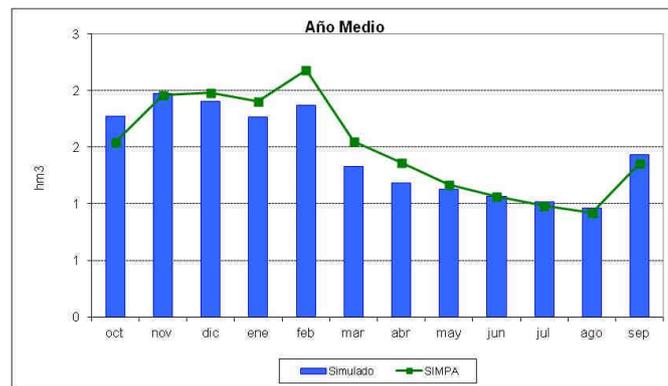


Figura 66: Comparación del año medio en Sellent para la serie 1961-2000.

RESULTADOS			
Simulado	17.4	Error Medio Anual	4.33
SIMPA	18.0	Error Cuadrático	2.08
		R	0.90
		Ceff	0.79

Tabla 15: Resultados de los ajustes para Sellent.

5.4.2.2.6 Albaida

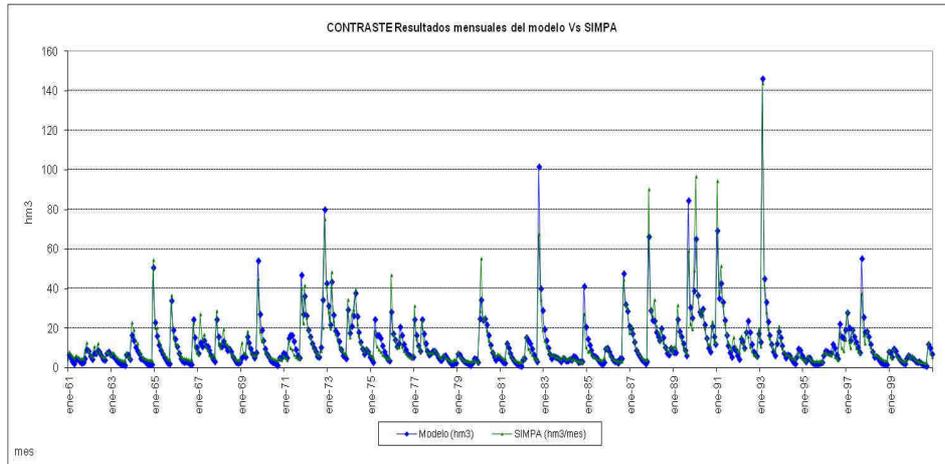


Figura 67: Ajuste de las aportaciones mensuales en Albaida para la serie 1961-2000.

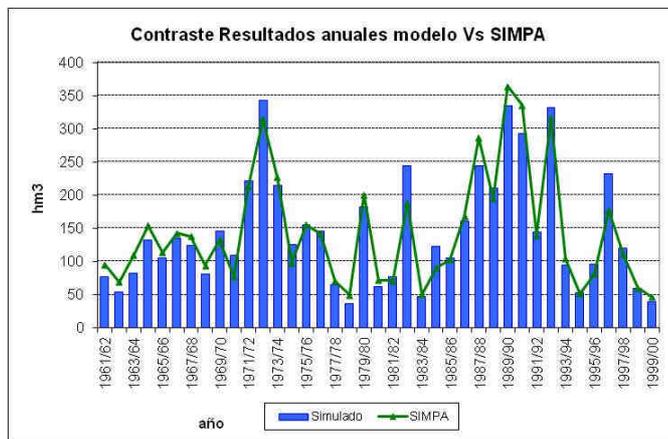


Figura 68: Contraste de resultados anuales en Albaida para la serie 1961-2000.

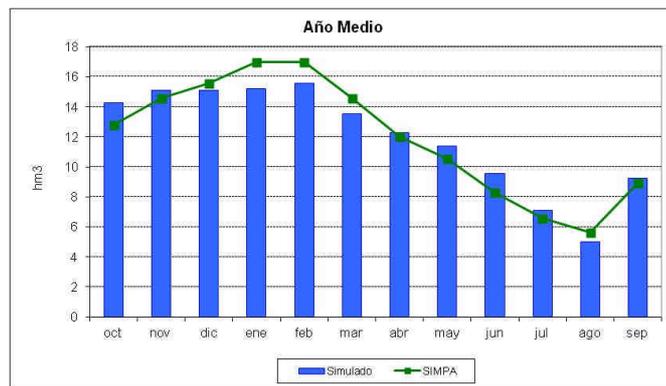


Figura 69: Comparación del año medio en Albaida para la serie 1961-2000.

RESULTADOS			
Simulado	143.5	Error Medio Anual	28.97
SIMPA	143.6	Error Cuadrático	10.16
		R	0.95
		Ceff	0.89

Tabla 16: Resultados de los ajustes para Albaida.

5.4.2.2.7 Verde

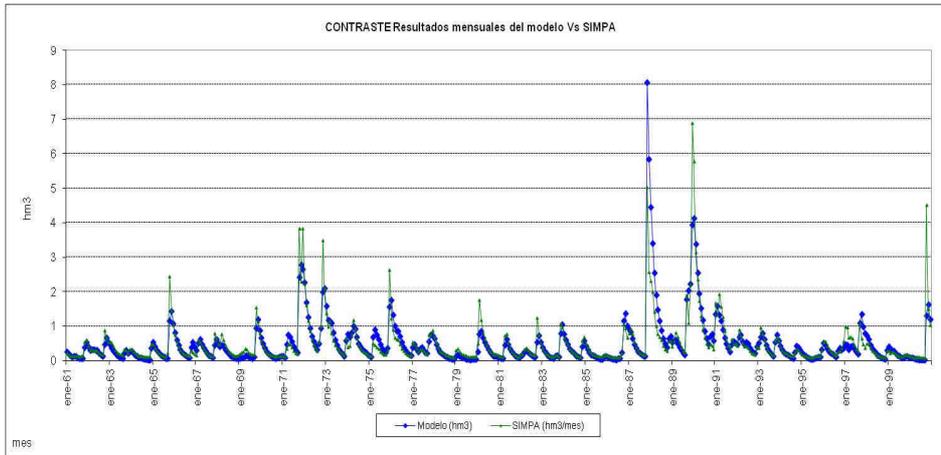


Figura 70: Ajuste de las aportaciones mensuales en Verde para la serie 1961-2000.

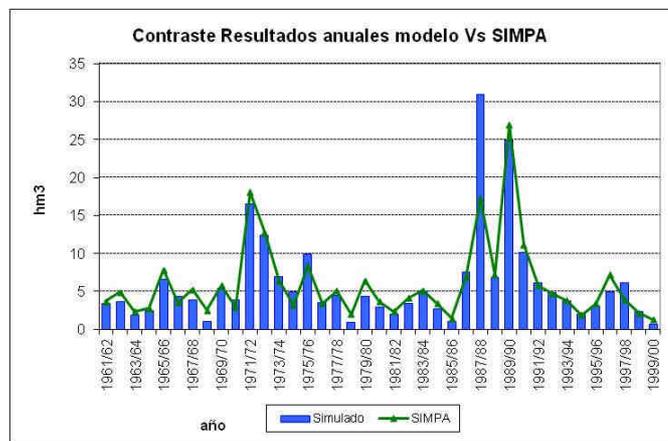


Figura 71: Contraste de resultados anuales en Verde para la serie 1961-2000.

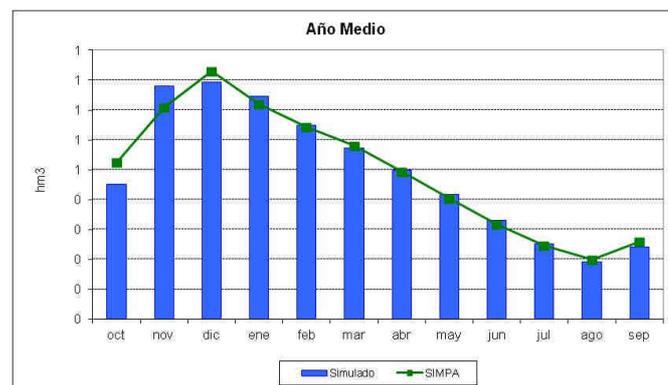


Figura 72: Comparación del año medio en Verde para la serie 1961-2000.

RESULTADOS			
Simulado	5.9	Error Medio Anual	1.78
SIMPA	5.9	Error Cuadrático	0.93
		R	0.85
		Ceff	0.70

Tabla 17: Resultados de los ajustes para Verde.

5.4.2.2.8 Magro

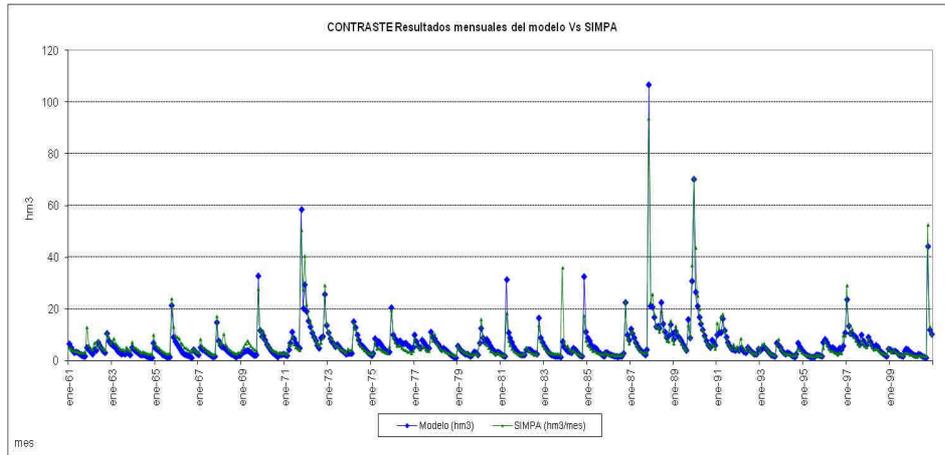


Figura 73: Ajuste de las aportaciones mensuales en Magro para la serie 1961-2000.

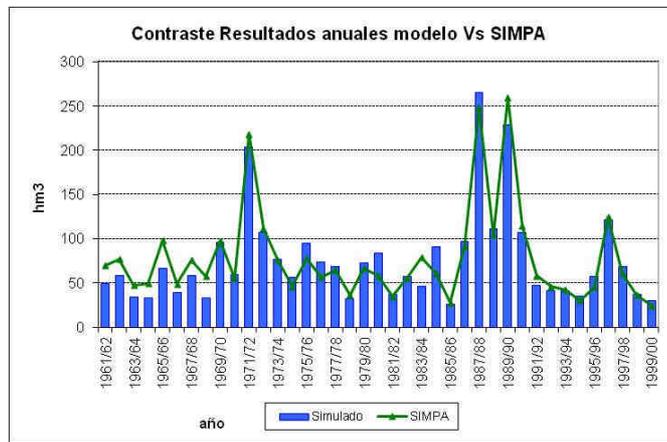


Figura 74: Contraste de resultados anuales en Magro para la serie 1961-2000.

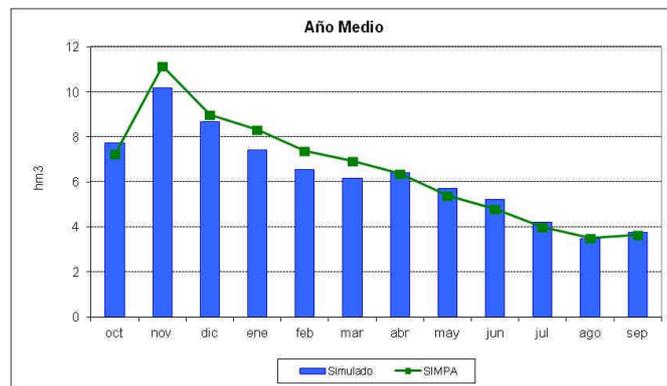


Figura 75: Comparación del año medio en Magro para la serie 1961-2000.

RESULTADOS			
Simulado	75.4	Error Medio Anual	15.84
SIMPA	77.8	Error Cuadrático	5.33
		R	0.95
		Ceff	0.90

Tabla 18: Resultados de los ajustes para Magro.

5.4.2.3 Conclusiones sobre los ajustes obtenidos para la serie histórica

En la siguiente tabla se presenta un resumen de los resultados de los ajustes para los modelos de Témez de todas las subcuencas.

Subcuenca	Área (km ²)	Volumen Anual SIMPA (hm ³)	Volumen Anual Modelo	R (Coef. Correlación)	C _{eff} (Índice Nash)
Alarcón	2,937	410.70	410.72	0.94	0.88
El Molinar	10,648	684.66	684.35	0.78	0.59
Contreras	3,317	380.48	385.53	0.92	0.85
Tous	17,099	1,209.74	1,210.82	0.75	0.48
Sellent	271	17.41	17.99	0.90	0.79
Albaida	2,076	143.52	143.59	0.95	0.89
Verde	259	5.92	5.93	0.85	0.70
Magro	1,714	75.45	77.81	0.95	0.90

Tabla 19: Tabla resumen de los resultados de los resúmenes para los modelos de Témez ajustados para todas las subcuencas del sistema Júcar.

Como se puede observar en la tabla y en los gráficos de los apartados anteriores, se han conseguido ajustar unos modelos de Témez óptimos para la mayoría de las cuencas. Únicamente el ajuste en El Molinar y Tous es un poco menos bueno, pero se considera más que aceptable.

Se han optimizado los ajustes para tener un error absoluto mínimo, aunque como se puede ver, el coeficiente de correlación y el Índice de Nash de los ajustes son muy elevados.

5.4.2.4 Generación de aportaciones para los escenarios de cambio climático a partir de los modelos de Témez

5.4.2.4.1 Introducción

Una vez se tienen los ajustes de los modelos de Témez para cada una de las subcuencas, únicamente se tienen que modificar los datos de entrada del modelo considerando las series climáticas de precipitación y temperatura —a partir de la cual se obtendrá la evapotranspiración potencial— generadas para los escenarios de cambio, y así se obtendrán las series de aportaciones de los escenarios futuros.

La precipitación y la temperatura de los escenarios futuros es la serie equiprobable, es decir el valor promedio de las series de los 6 Modelos Climáticos Regionales que se seleccionaron en el análisis de los modelos ENSEMBLES.

Así pues, se han generado nuevas series de aportaciones a partir de la modificación de las series históricas de precipitación y temperatura en los modelos de Témez, para el corto plazo (2011 – 2040), el medio plazo (2041 – 2070) y el largo plazo (2071 – 2100).

En los siguientes epígrafes se muestran los gráficos con los resultados de las aportaciones medias mensuales para cada una de las subcuencas consideradas.

5.4.2.4.2 Alarcón

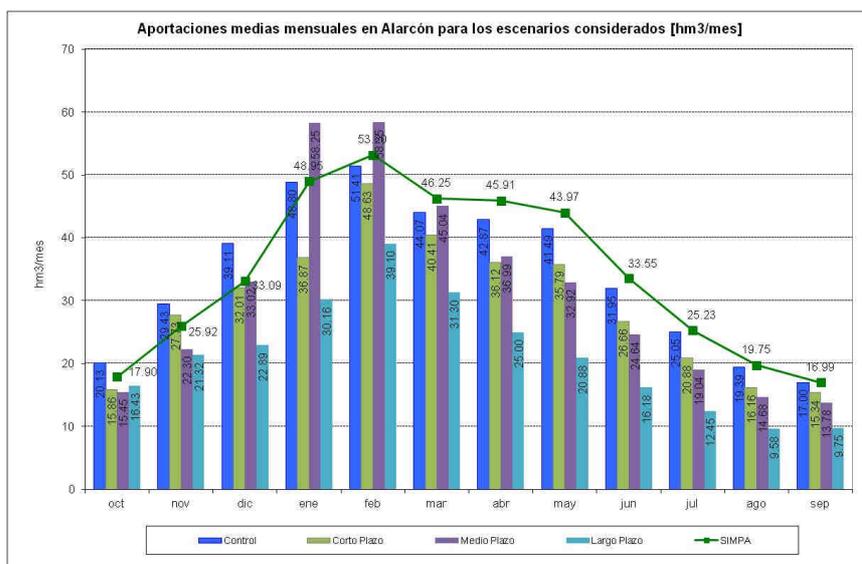


Figura 76: Aportaciones medias mensuales en Alarcón para los escenarios considerados.

5.4.2.4.3 El Molinar

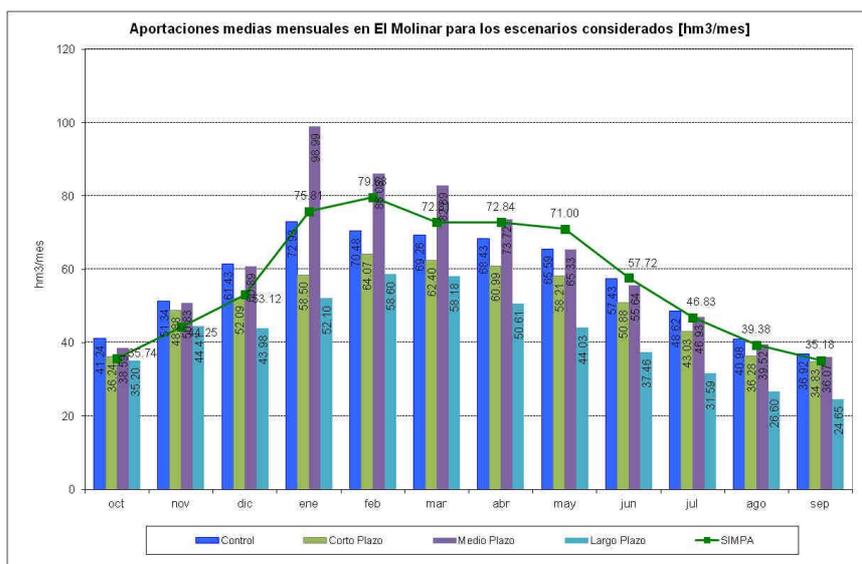


Figura 77: Aportaciones medias mensuales en El Molinar para los escenarios considerados.

5.4.2.4.4 Contreras

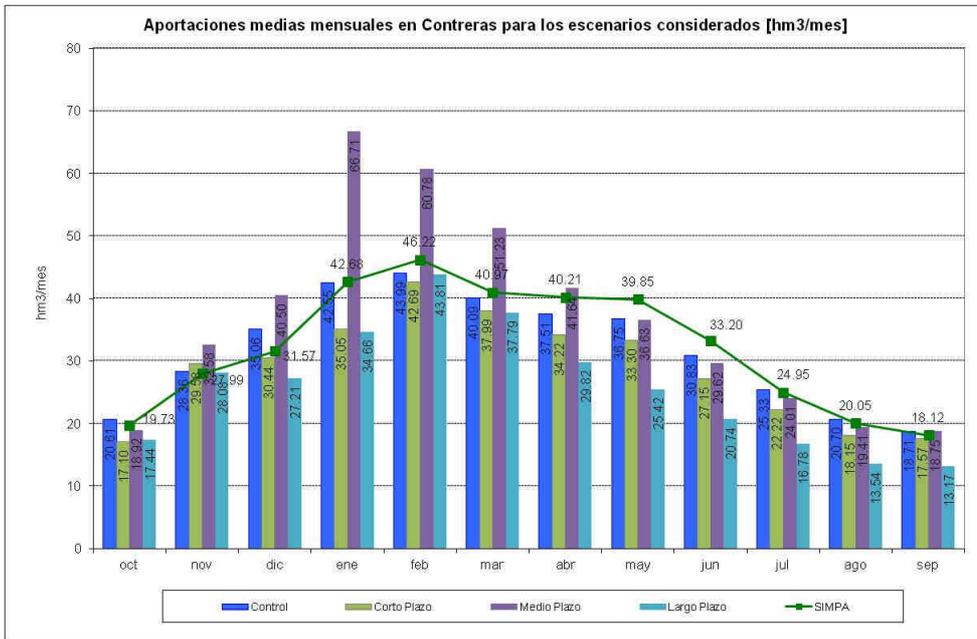


Figura 78: Aportaciones medias mensuales en Contreras para los escenarios considerados.

5.4.2.4.5 Tous

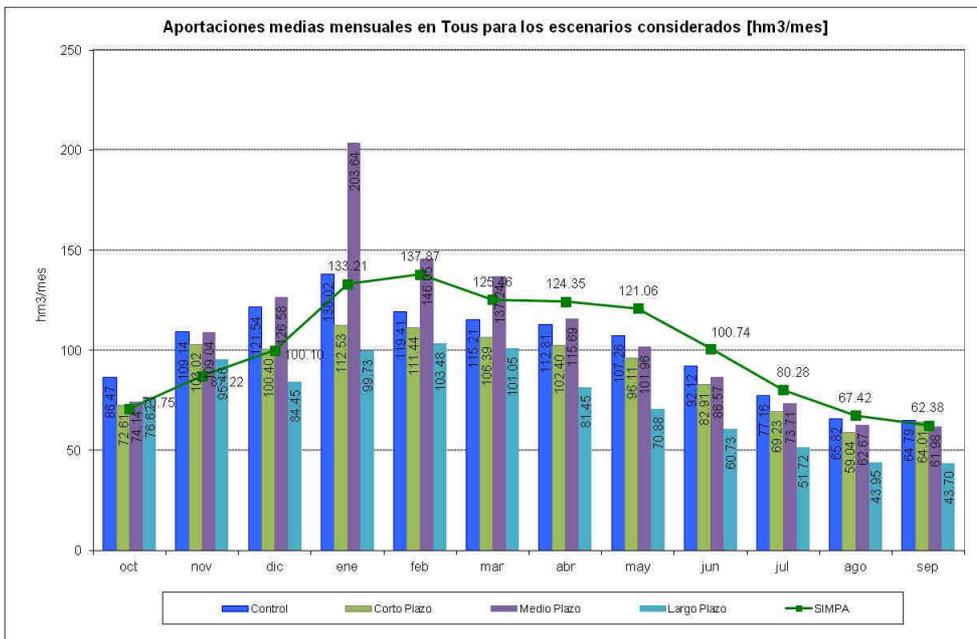


Figura 79: Aportaciones medias mensuales en Tous para los escenarios considerados.

5.4.2.4.6 Sellent

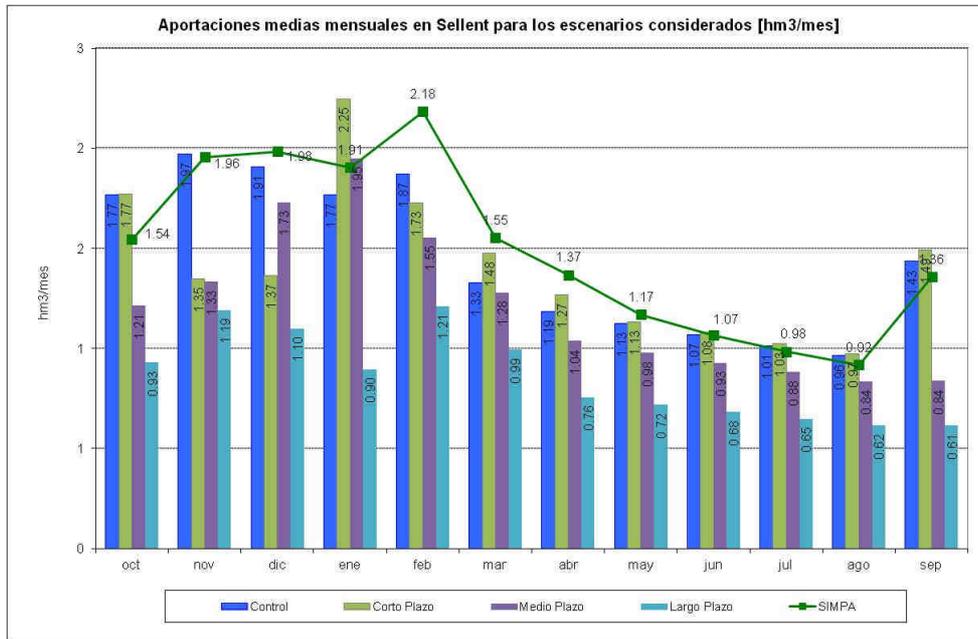


Figura 80: Aportaciones medias mensuales en Sellent para los escenarios considerados.

5.4.2.4.7 Albaida

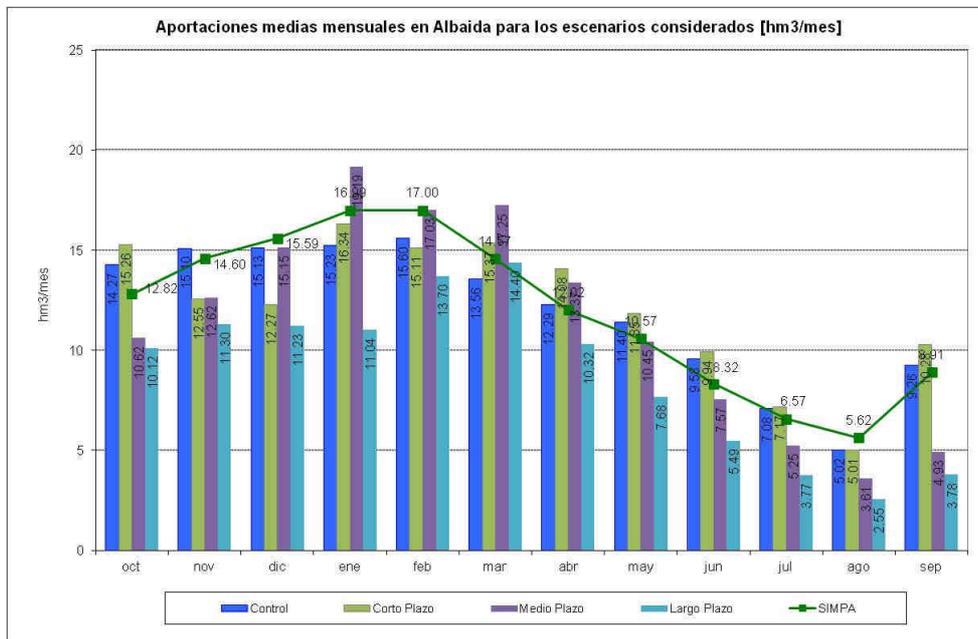


Figura 81: Aportaciones medias mensuales en Albaida para los escenarios considerados.

5.4.2.4.8 Verde

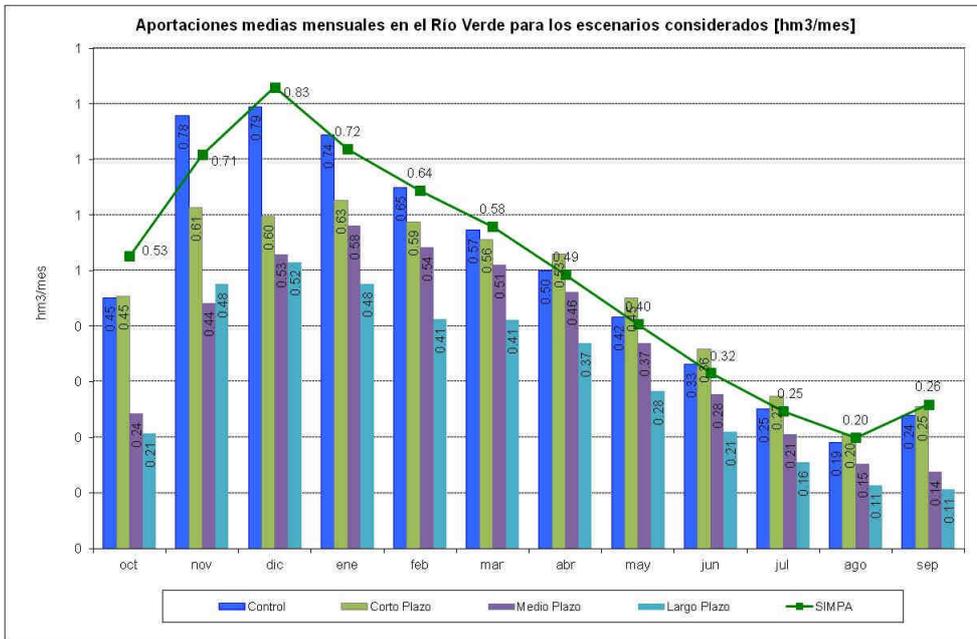


Figura 82: Aportaciones medias mensuales en Verde para los escenarios considerados.

5.4.2.4.9 Magro

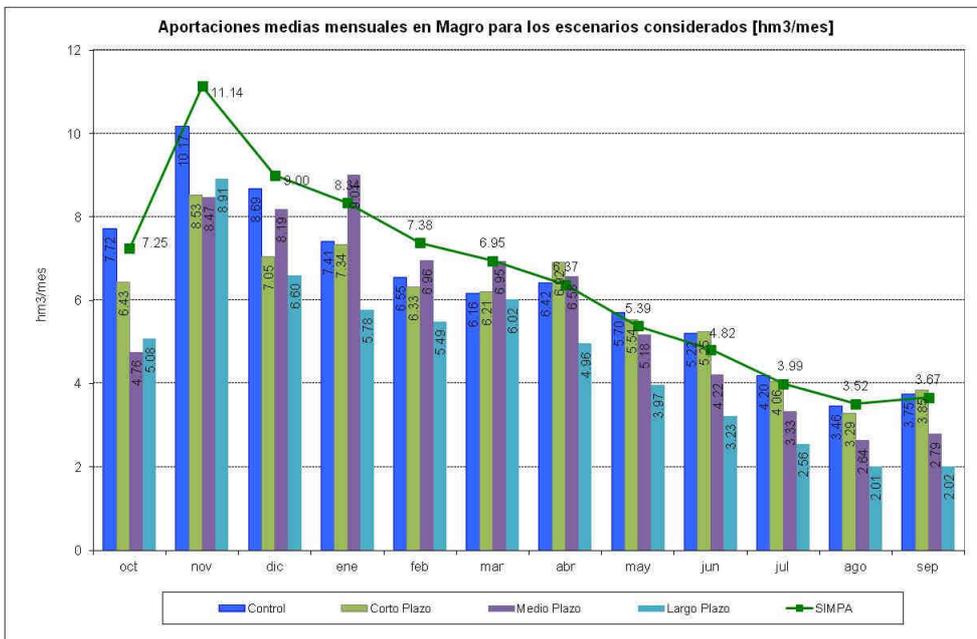


Figura 83: Aportaciones medias mensuales en Magro para los escenarios considerados.

5.4.3 Modelos lluvia-escorrentía en ENSEMBLES

5.4.3.1 Introducción

En el caso de los modelos ENSEMBLES, y dado que se dispone de datos de escorrentía⁴ total para los modelos climáticos regionales para cada una de las celdas en que se divide el ámbito, se han sacado los porcentajes de las celdas incluidas en cada una de las subcuencas y se ha obtenido directamente la escorrentía tanto para el escenario de control como para los escenarios futuros.

Del mismo modo que en el caso de la precipitación y temperatura, y dado que todos los MCRs se suponen igualmente probables, se ha evaluado la escorrentía como el valor promedio obtenido de los 6 MCRs que se seleccionaron en el análisis de los modelos ENSEMBLES.

Así pues, se presentan a continuación los valores para el año medio para el escenario de control y las aportaciones de los escenarios futuros —corto, medio y largo plazo— para cada una de las subcuencas, incluyendo también el valor de la aportación obtenida con SIMPA, para comparar la bondad del ajuste.

⁴ En algunos de los MCRs se distingue entre escorrentía superficial y subterránea, pero para el caso del presente análisis se ha tomado la escorrentía total.

5.4.3.2 Generación de aportaciones para los escenarios de cambio climático a partir de los modelos de ENSEMBLES

5.4.3.2.1 Alarcón

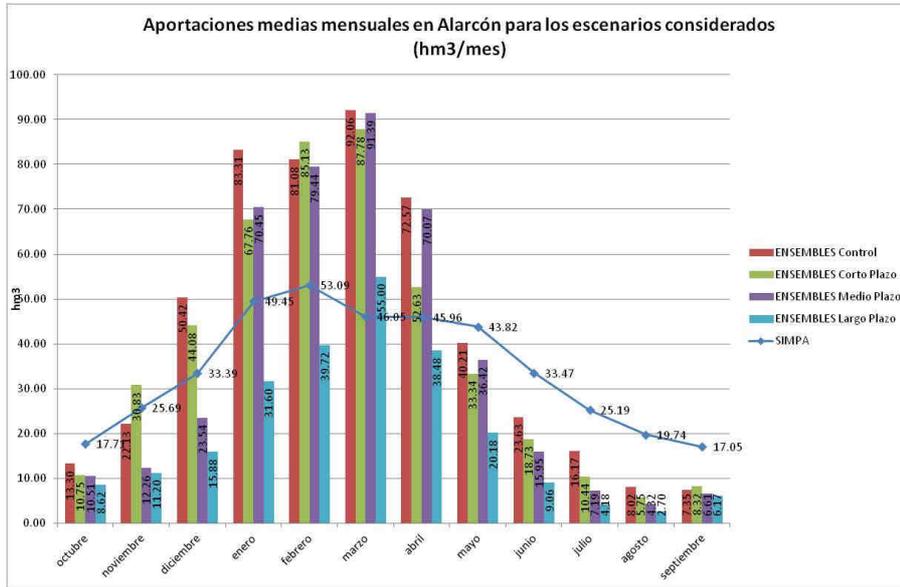


Figura 84: Aportaciones medias mensuales en Alarcón para los escenarios considerados con ENSEMBLES.

5.4.3.2.2 El Molinar

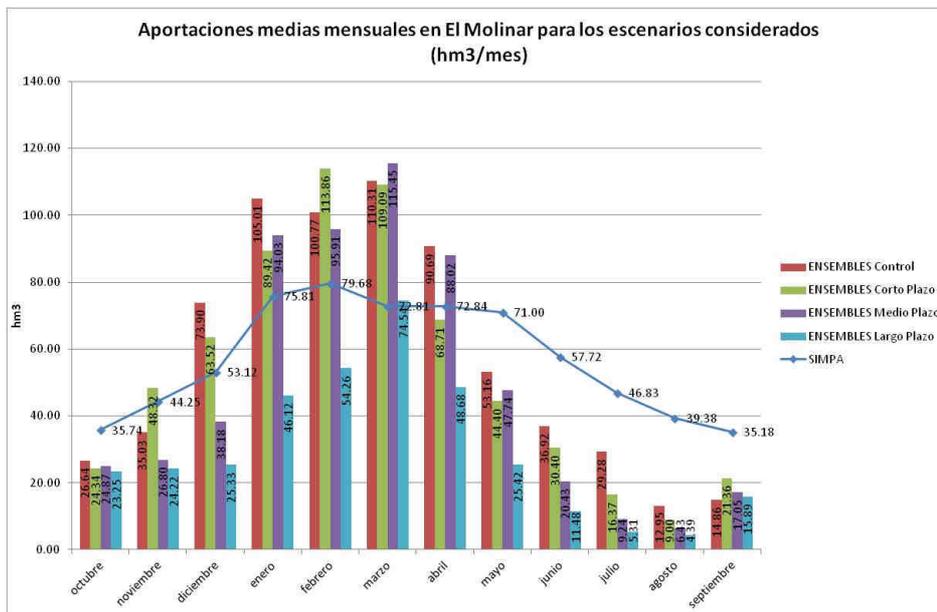


Figura 85: Aportaciones medias mensuales en El Molinar para los escenarios considerados con ENSEMBLES.

5.4.3.2.3 Contreras

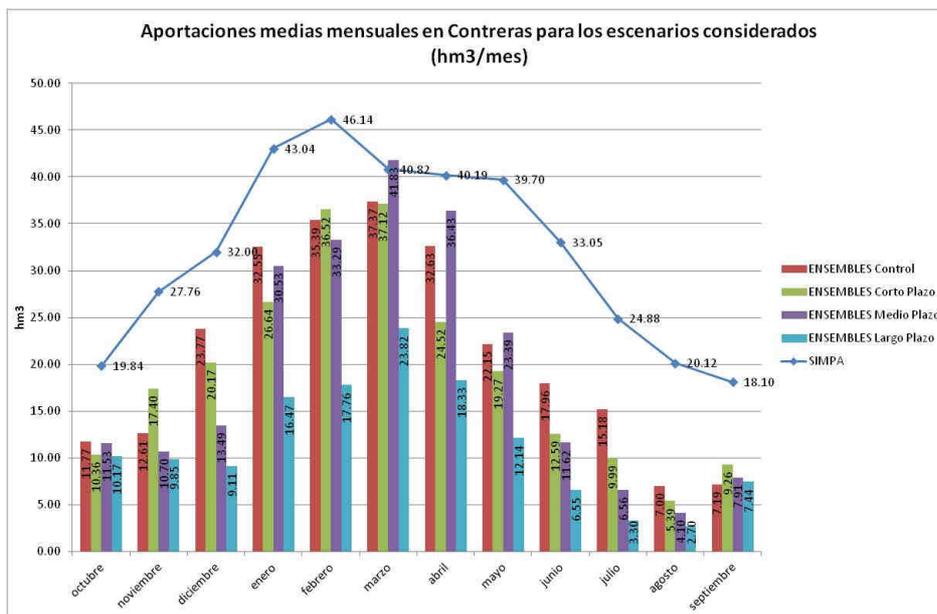


Figura 86: Aportaciones medias mensuales en Contreras para los escenarios considerados con ENSEMBLES.

5.4.3.2.4 Tous

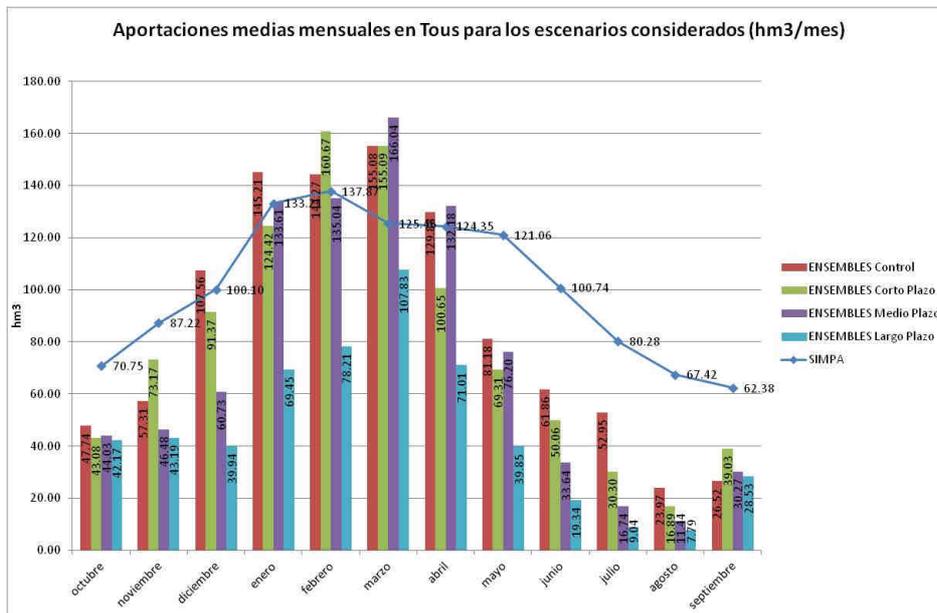


Figura 87: Aportaciones medias mensuales en Tous para los escenarios considerados con ENSEMBLES.

5.4.3.2.5 Sellent

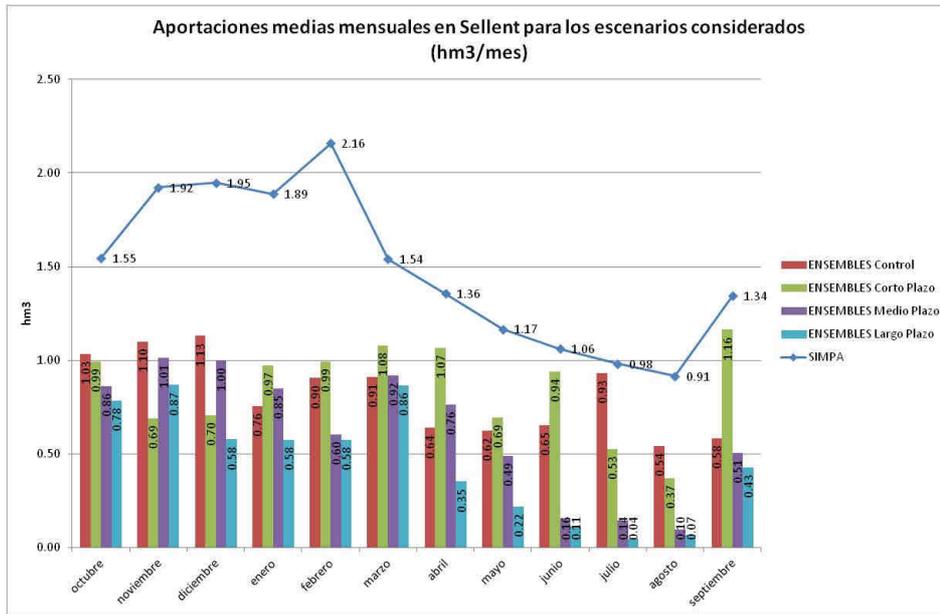


Figura 88: Aportaciones medias mensuales en Sellent para los escenarios considerados con ENSEMBLES.

5.4.3.2.6 Albaida

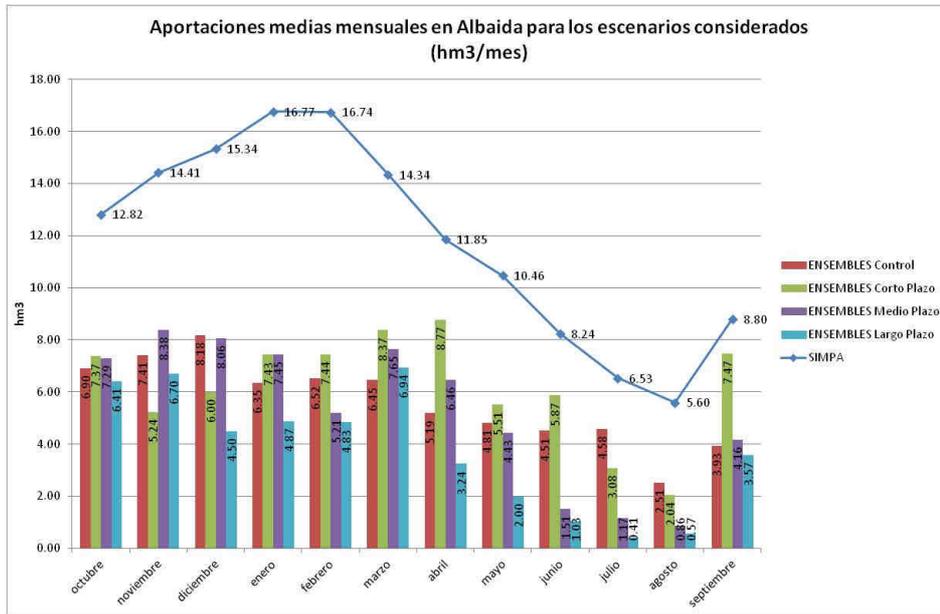


Figura 89: Aportaciones medias mensuales en Albaida para los escenarios considerados con ENSEMBLES.

5.4.3.2.7 Verde

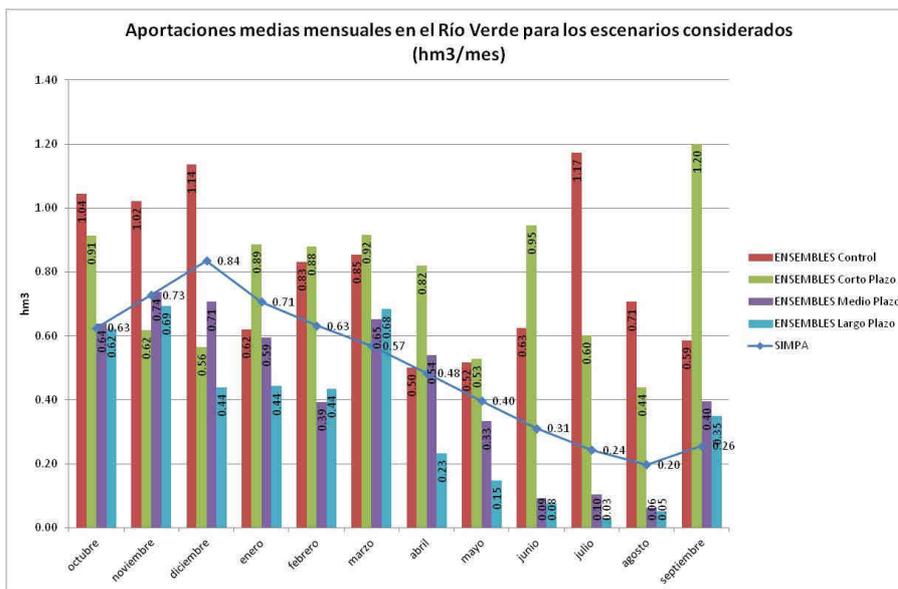


Figura 90: Aportaciones medias mensuales en Verde para los escenarios considerados con ENSEMBLES.

5.4.3.2.8 Magro

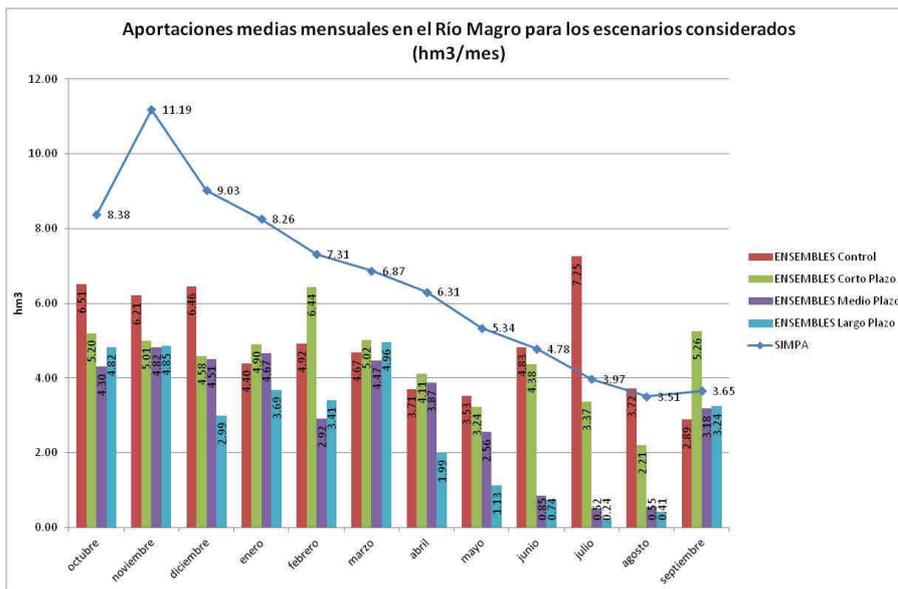


Figura 91: Aportaciones medias mensuales en Magro para los escenarios considerados con ENSEMBLES.

5.4.4 Comparación, conclusiones y discusión

Se han obtenido las series futuras de aportaciones mediante dos métodos:

- Perturbando las series históricas con la variación en media y desviación típica de las series futuras de precipitación y temperatura a partir de los modelos de Témex calibrados.
- A partir de los datos de aportaciones que se extraen de los 6 MCR de ENSEMBLES que presentaron mejores ajustes en el periodo de control.

A continuación se presentan los gráficos de la variación porcentual de los escenarios futuros respecto al escenario de control y los diagramas de caja y bigotes mostrando la variabilidad de las subcuencas, para los tres escenarios futuros propuestos, comparando los resultados de los modelos de Témex y los tomados directamente de Ensembles.

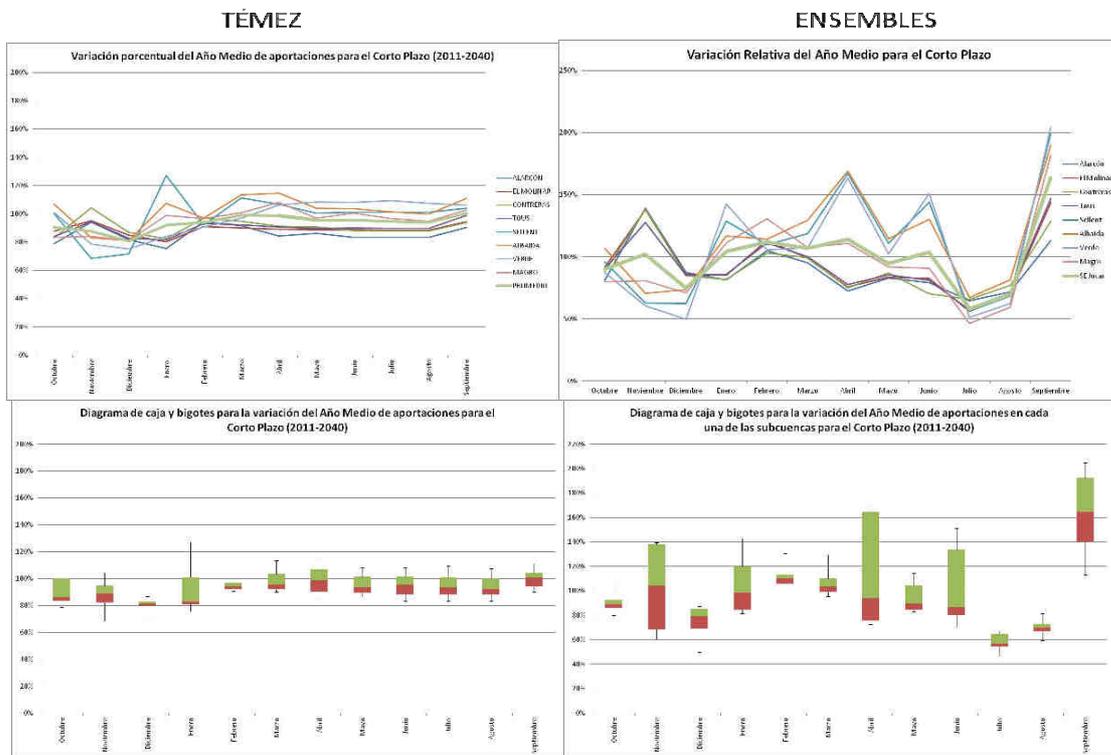


Figura 92: Variación porcentual del año medio y diagrama de caja y bigotes para la variación del año medio en cada una de las subcuencas en el escenario de Corto Plazo según los ajustes de los modelos de Témex y de los MCRs de ENSEMBLES.

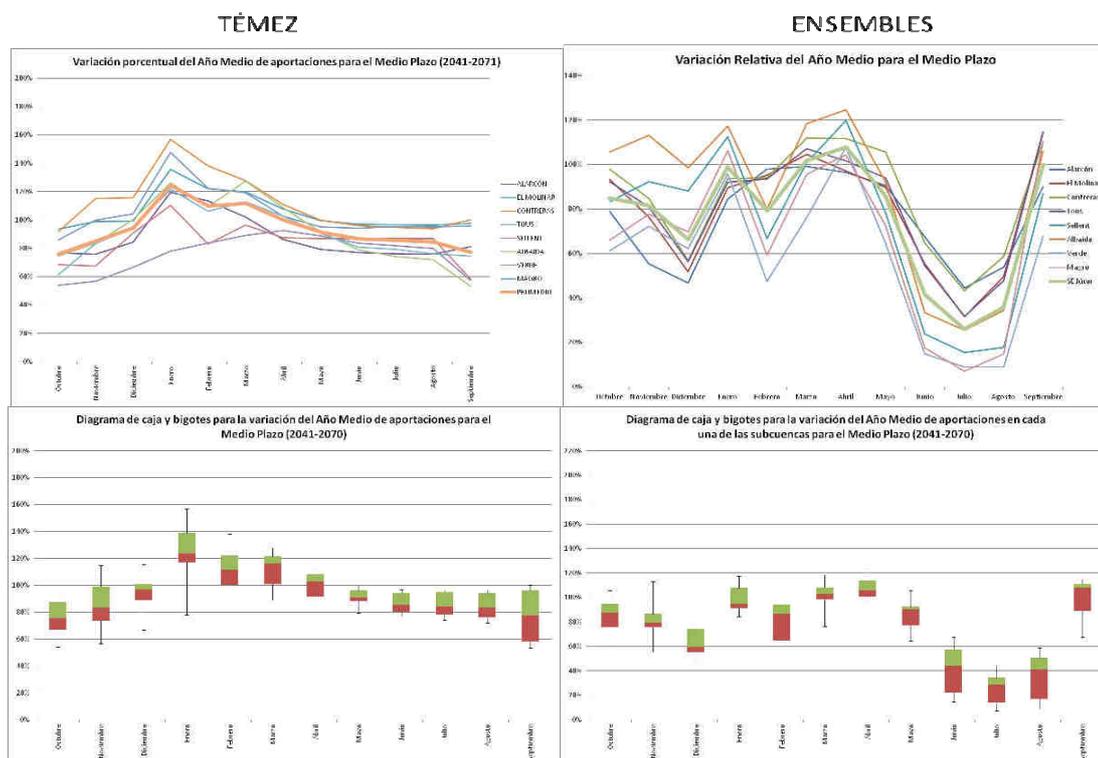


Figura 93: Variación porcentual del año medio y diagrama de caja y bigotes para la variación del año medio en cada una de las subcuencas en el escenario de Medio Plazo según los ajustes de los modelos de Téméz y de los MCRs de ENSEMBLES.

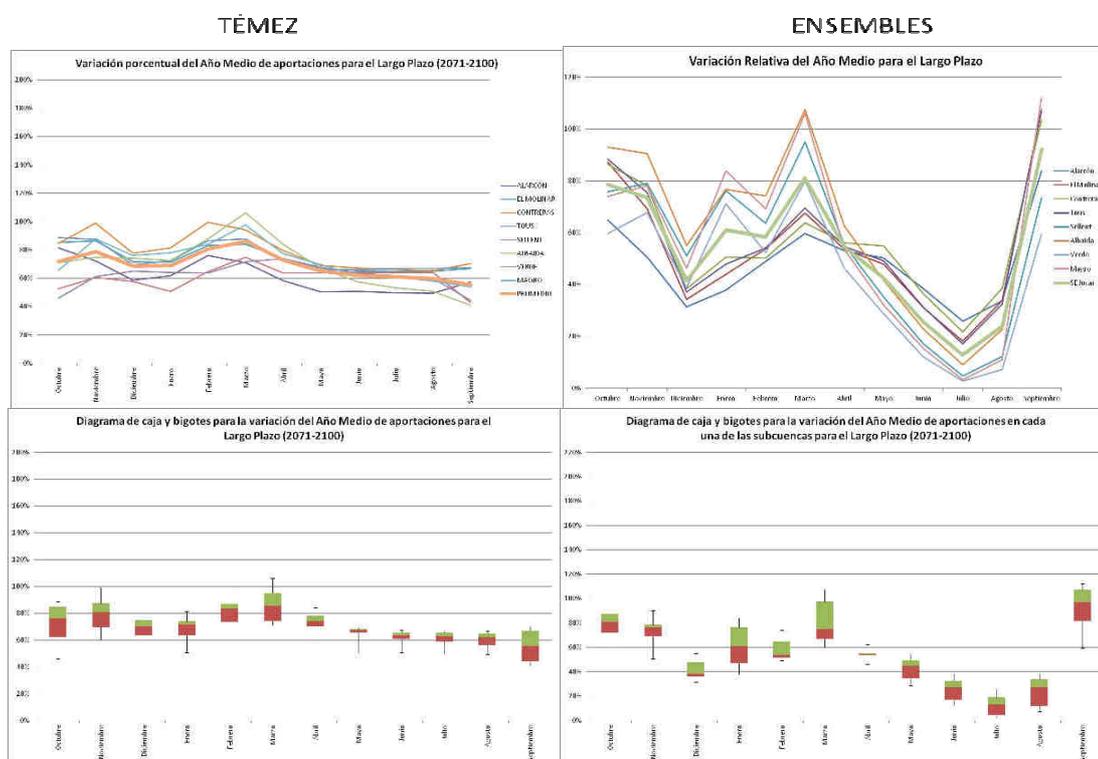


Figura 94: Variación porcentual del año medio y diagrama de caja y bigotes para la variación del año medio en cada una de las subcuencas en el escenario de Largo Plazo según los ajustes de los modelos de Téméz y de los MCRs de ENSEMBLES.

Al respecto de la comparación los ajustes de los modelos de Témez a la serie histórica son mucho mejores que los ajustes de los modelos de ENSEMBLES, que en muchas de las subcuencas dan unos resultados muy pobres respecto a las aportaciones simuladas.

Además, en lo que se refiere a la variabilidad de las aportaciones en los escenarios futuros, se puede observar en los gráficos de caja y bigotes, que los modelos de Témez tienen mucha mayor consistencia, ya que la respuesta es muy similar en todas las subcuencas, mientras que los modelos de ENSEMBLES tienen una variabilidad mucho mayor, lo que les resta mucha fiabilidad.

Así pues, se concluye que las aportaciones obtenidas a partir de los modelos de Témez tienen mucha mayor fiabilidad que los datos de aportaciones obtenidos a partir de los MCRs de ENSEMBLES.

En las siguientes tablas se presenta la variación de las aportaciones en cada una de las subcuencas para los doce meses del año, y los acumulados anuales, a partir de los resultados de los modelos de Témez, que a partir de aquí se usarán como datos de entrada:

Corto Plazo	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Anual
ALARCÓN	78.80%	94.20%	81.86%	75.55%	94.59%	91.71%	84.25%	86.26%	83.44%	83.36%	83.35%	90.21%	85.82%
EL MOLINAR	96.55%	96.57%	89.95%	89.65%	80.94%	87.28%	97.32%	92.99%	95.05%	93.96%	93.19%	97.84%	92.69%
CONTRERAS	82.97%	104.29%	86.81%	82.38%	97.05%	94.75%	91.25%	90.61%	88.06%	87.72%	87.67%	93.91%	90.79%
TOUS	78.25%	83.41%	71.34%	84.20%	94.78%	102.49%	104.52%	93.78%	126.63%	124.32%	111.27%	126.86%	88.69%
SELLENT	100.05%	68.48%	71.60%	127.07%	92.34%	111.14%	106.95%	100.56%	101.17%	101.10%	101.10%	103.99%	97.13%
ALBAIDA	106.95%	83.13%	81.07%	107.28%	96.90%	113.35%	114.59%	103.87%	103.74%	101.29%	99.86%	110.98%	101.19%
VERDE	100.79%	78.64%	75.19%	84.05%	90.63%	96.94%	106.13%	108.23%	108.17%	109.45%	107.52%	106.19%	93.04%
MAGRO	83.31%	83.89%	81.20%	99.01%	96.60%	100.76%	107.91%	97.07%	100.57%	96.76%	94.91%	102.82%	93.84%
PROMEDIO	87.21%	91.91%	82.19%	85.23%	93.84%	95.01%	94.00%	91.40%	91.90%	91.15%	90.80%	100.53%	90.81%

Tabla 20: Variación de las aportaciones para el escenario de Corto Plazo respecto al escenario de Control a partir de los resultados de aportaciones extraídos con los Modelos de Témez.

Medio Plazo	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Anual
ALARCÓN	76.73%	75.78%	84.43%	119.36%	113.49%	102.20%	86.27%	79.35%	77.13%	76.01%	75.75%	81.03%	91.17%
EL MOLINAR	109.64%	130.19%	124.85%	168.86%	145.39%	150.26%	143.74%	134.45%	121.68%	118.34%	115.02%	111.90%	131.78%
CONTRERAS	91.80%	114.87%	115.50%	156.78%	138.17%	127.78%	111.03%	99.67%	96.10%	94.79%	93.79%	100.21%	115.85%
TOUS	67.56%	87.07%	100.56%	168.29%	-16.36%	53.34%	4.80%	-0.05%	33.78%	86.07%	90.03%	78.26%	85.06%
SELLENT	68.61%	67.68%	90.76%	110.36%	83.07%	96.41%	87.54%	86.80%	86.92%	86.89%	86.89%	58.44%	83.67%
ALBAIDA	74.39%	83.63%	100.10%	125.96%	109.20%	127.23%	108.83%	91.62%	79.01%	74.09%	71.94%	53.25%	95.48%
VERDE	53.94%	56.74%	66.69%	77.96%	83.53%	88.99%	92.50%	88.81%	83.72%	81.79%	79.78%	57.34%	75.20%
MAGRO	61.66%	83.31%	94.31%	121.61%	106.20%	112.75%	102.61%	90.75%	80.81%	79.29%	76.19%	74.59%	91.56%
PROMEDIO	82.20%	96.17%	102.78%	143.63%	119.47%	119.30%	102.96%	94.46%	91.92%	92.94%	92.64%	88.95%	104.98%

Tabla 21: Variación de las aportaciones para el escenario de Medio Plazo respecto al escenario de Control a partir de los resultados de aportaciones extraídos con los Modelos de Témez.

Largo Plazo	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Anual
ALARCÓN	81.62%	72.44%	58.52%	61.80%	76.05%	71.02%	58.31%	50.34%	50.64%	49.72%	49.41%	57.36%	62.10%
EL MOLINAR	88.90%	105.39%	94.51%	90.93%	102.26%	106.72%	100.20%	96.00%	83.52%	81.19%	78.82%	74.76%	92.12%
CONTRERAS	84.62%	98.99%	77.62%	81.46%	99.61%	94.25%	79.51%	69.16%	67.28%	66.23%	65.40%	70.38%	81.07%
TOUS	97.41%	78.03%	52.89%	57.52%	21.57%	86.80%	14.96%	29.11%	65.44%	104.43%	92.09%	64.33%	67.33%
SELLENT	52.57%	60.42%	57.66%	50.72%	64.73%	74.83%	63.81%	63.89%	63.95%	63.93%	63.93%	42.81%	59.52%
ALBAIDA	70.89%	74.86%	74.24%	72.51%	87.86%	106.21%	84.01%	67.35%	57.30%	53.28%	50.85%	40.85%	73.44%
VERDE	45.98%	61.05%	64.88%	64.03%	63.60%	71.72%	73.90%	67.86%	63.37%	61.84%	60.05%	44.40%	63.12%
MAGRO	65.73%	87.66%	75.99%	77.98%	83.85%	97.72%	77.34%	69.65%	61.94%	60.89%	57.98%	53.97%	75.07%
PROMEDIO	83.98%	85.55%	70.17%	72.27%	86.28%	89.80%	73.47%	66.34%	64.94%	65.61%	65.26%	63.21%	75.02%

Tabla 22: Variación de las aportaciones para el escenario de Largo Plazo respecto al escenario de Control a partir de los resultados de aportaciones extraídos con los Modelos de Témez.

Se observa un efecto *curioso* en el escenario de Medio Plazo, ya que las aportaciones aumentan, sobretodo provocado por el aumento en algunas de las subcuencas más interiores (El Molinar y Contreras). Se ha analizado detenidamente este tema, por si se hubiera incurrido en algún error de cálculo, pero se ha observado —como ya se podía intuir en los escenarios futuros de variación de precipitación—, que se produce una alteración de la evolución anual de las precipitaciones en el medio plazo, aumentando las precipitaciones en los meses de invierno principalmente (enero, febrero y marzo).

Para tratar de refrendar estas hipótesis se ha realizado un análisis espacial de las precipitaciones, en primer lugar sobre la variación respecto el acumulado anual en el escenario de control, y posteriormente en la variación interanual —primavera, verano, otoño e invierno— del escenario de medio plazo. A continuación se presentan los gráficos de estos análisis:

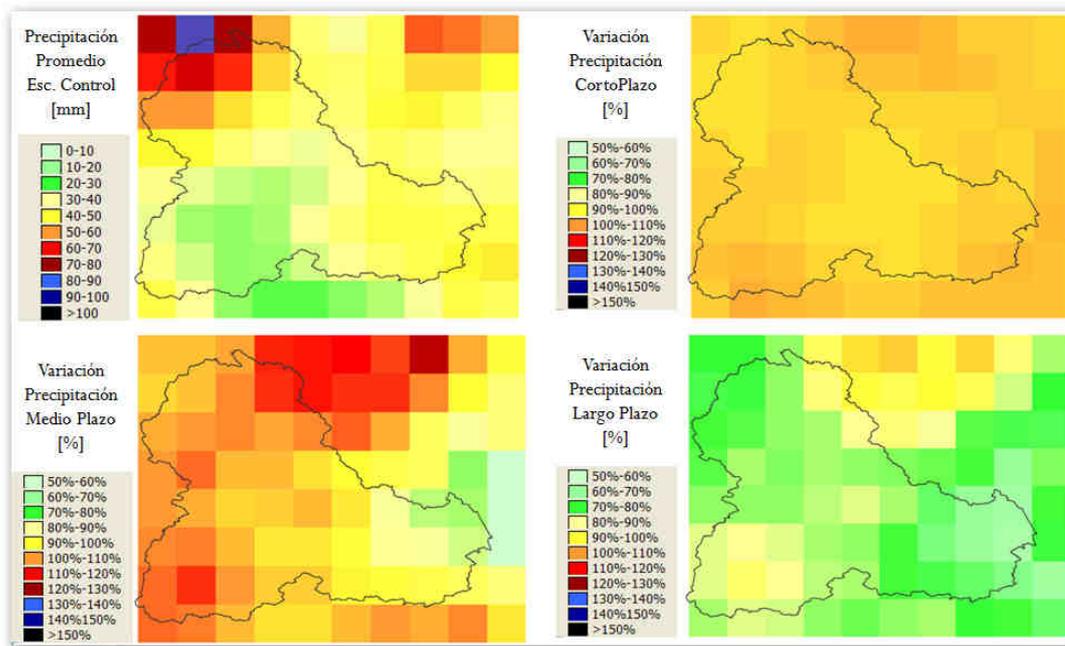


Figura 95: Distribución espacial de la variación de la precipitación anual en los escenarios futuros.

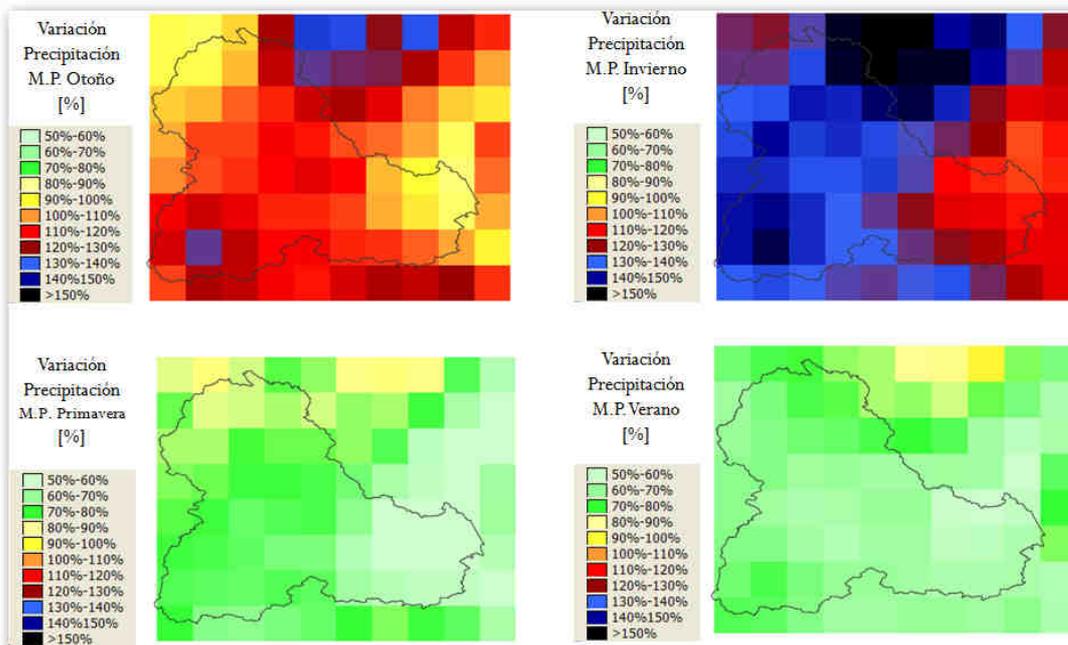


Figura 96: Distribución espacial de la variación interanual de la precipitación en el escenario de Medio Plazo.

Como se puede observar en la primera figura, la precipitación anual aumenta respecto al escenario de control en el escenario de Medio Plazo en algunas zonas, sobre todo en el interior.

En la figura de la variación interanual se aprecia claramente que en otoño, pero sobretodo en invierno, se produce un aumento grande de las precipitaciones, lo que provocaría este cambio en el régimen de precipitaciones anual.

Finalmente, sólo resta remarcar que esta variabilidad en el régimen en el medio plazo no es consecuencia de alguno de los modelos, ya que todos los modelos la predicen como se ve en la gráfica del año medio para todos los modelos en el Medio Plazo:

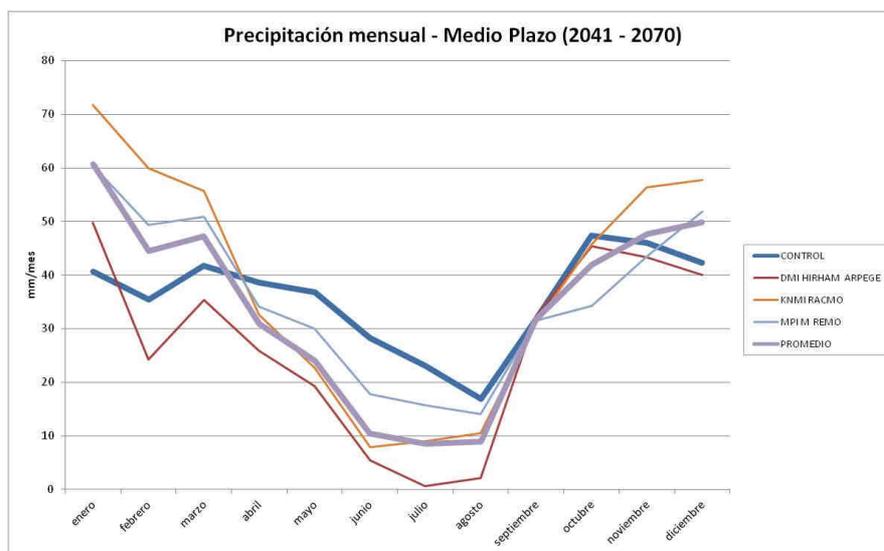


Figura 97: Variación de la precipitación mensual de los RCMs de ENSEMBLES seleccionados respecto al escenario de control.

No tiene porque sorprender este resultado, ya que en el documento "Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España" (AEMET, 2009) se dice en las conclusiones del cambio en la precipitación: "La tendencia (en la precipitación) no es tan consistente como en el caso de la temperatura, sin embargo parece notarse una ligera reducción de la precipitación en la mitad occidental de la Península Ibérica y un ligero aumento en la mitad oriental. En el período siguiente (2041-2070) se mantiene esta tendencia. En el último tercio (2071-2100), la mayor información disponible permite establecer unas conclusiones algo más robustas (...). Merece la pena destacar (para este periodo) que el promedio de los 9 modelos regionales de PRUDENCE muestra una reducción de la precipitación anual media para toda la Península Ibérica".

5.5 Efectos sobre la demanda

5.5.1 Introducción

En el presente apartado se realizará un análisis de los efectos que el cambio climático tendrá sobre la demanda de agua en la cuenca objeto de estudio.

Así pues, en un primer lugar será necesario conocer la demanda actual de los diferentes usos existentes, para pasar a continuación a realizar una estimación de las demandas futuras en función de los criterios que se exponen en el apartado correspondiente.

5.5.2 Demanda actual

Para determinar las demandas actuales de la cuenca del Júcar se ha utilizado el "*Documento Técnico de Referencia: Metodología y Resultados de la Estimación de Demandas en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar*" (CHJ, 2005). En el presente apartado se transcribe la metodología utilizada, y únicamente se han actualizado los datos a los años 2010 o 2011 cuando estos han estado disponibles, recalculando las demandas.

En el mencionado documento se expone la metodología empleada para la caracterización y cuantificación de volúmenes de agua que actualmente (año 2005) demandan los diferentes usos en la Confederación Hidrográfica del Júcar. Los usos considerados son:

- Abastecimiento a poblaciones: incluye el uso doméstico, público y comercial, así como las industrias de pequeño consumo conectadas a la red. Además, incluye el abastecimiento de la población estacional.
- Uso agrario: incluye el riego de cultivos y el uso de agua en la producción ganadera.
- Uso industrial: incluye la producción manufacturera, refrigeración, etc.
- Otros usos: se incluyen aquí tanto el uso energético (tanto para la producción de energía como para la refrigeración de centrales hidroeléctricas, térmicas y nucleares), la acuicultura y los usos recreativos (navegación, riegos de campos de golf, etc.)

5.5.2.1 Abastecimiento a poblaciones

El abastecimiento urbano comprende el uso doméstico, la provisión a servicios públicos locales e institucionales y el servicio de agua para los comercios e industrias ubicadas en el ámbito municipal que se encuentran conectadas a la red de suministro.

En la medida de lo posible, la demanda urbana se ha estimado en el Documento Técnico de Referencia a partir de datos reales obtenidos mediante medidas reales y encuestas.

Para la estimación de la demanda ha sido necesario conocer la población permanente, la estacional y la total equivalente:

- Población permanente, obtenida a nivel municipal con los datos del padrón de 2005⁵.
- Población estacional, obtenida a partir de estadísticas de turismo y censos de viviendas. Tiene en cuenta la información disponible sobre la evolución del número de viviendas secundarias, plazas hoteleras, etc.
- Población total equivalente, entendida como aquella que, habitando de forma permanente en el municipio, consumiría el mismo volumen que la población permanente más la estacional (población que reside ocasionalmente en un municipio, generalmente por motivos turísticos o vacacionales).

Aplicando la metodología sobre los datos reales obtenidos en el mencionado documento se obtiene la siguiente distribución entre población permanente y población total equivalente para cada uno de los sistemas de explotación.

⁵ Aunque en el “Documento Técnico de Referencia: Metodología y Resultados de la Estimación de Demandas en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar” se utilizan los datos del padrón de 2005, en el presente estudio se ha actualizado esta información utilizando el padrón del Instituto Nacional de Estadística de 2011.

Sistema de Explotación		Población Permanente 2005	Población Total Equivalente 2005	Peso de la población estacional
Inter-comunitarios	Mijares-Plana de Castellón	429.995	468.511	8,2%
	Palancia-Los Valles	105.521	116.704	9,6%
	Turia	1.562.171	1.601.485	2,5%
	Júcar	1.030.979	1.076.322	4,2%
	Subtotal	3.128.666	3.263.022	4,1%
Intra-comunitarios	Serpis	231.383	260.591	11,2%
	Marina Alta	200.691	239.303	16,1%
	Marina Baja	166.255	240.742	30,9%
	Subtotal	598.329	740.636	19,2%
Mixtos	Vinalopó-Alacantí	950.639	1.001.232	5,1%
	Cenia-Maestrazgo	114.894	148.385	22,6%
	Subtotal	1.065.533	1.149.617	7,3%
TOTAL CHJ		4.792.528	5.153.275	7,0%

Tabla 23: Población permanente y población total equivalente por sistema de explotación (Fuente: Documento Técnico de Referencia: Metodología y Resultados de la Estimación de Demandas en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar, CHJ. 2005).

Para la estimación de demandas y dotaciones se ha contado con cuatro fuentes principales de información:

- 1) Encuestas en municipios, mancomunidades y consorcios, con datos sobre volúmenes suministrados y registrados, con una estimación de volumen no controlado.
- 2) Datos de explotación de la Confederación Hidrográfica del Júcar que comprende los registros de volúmenes derivados o captados de embalses, conducciones y otros puntos de suministro de los distintos sistemas de explotación.
- 3) Datos de explotación de compañías de suministradoras de agua, que comprenden registros de volúmenes captados o suministrados, y registrados/consumidos por los distintos tipos de usuarios.
- 4) Información procedente de las memorias de explotación de los consorcios y mancomunidades de mayor entidad.

En definitiva se dispone de datos reales de suministro de 209 municipios, que supone el 28% del total de la Demarcación Hidrográfica del Júcar y el 80% de la población abastecida.

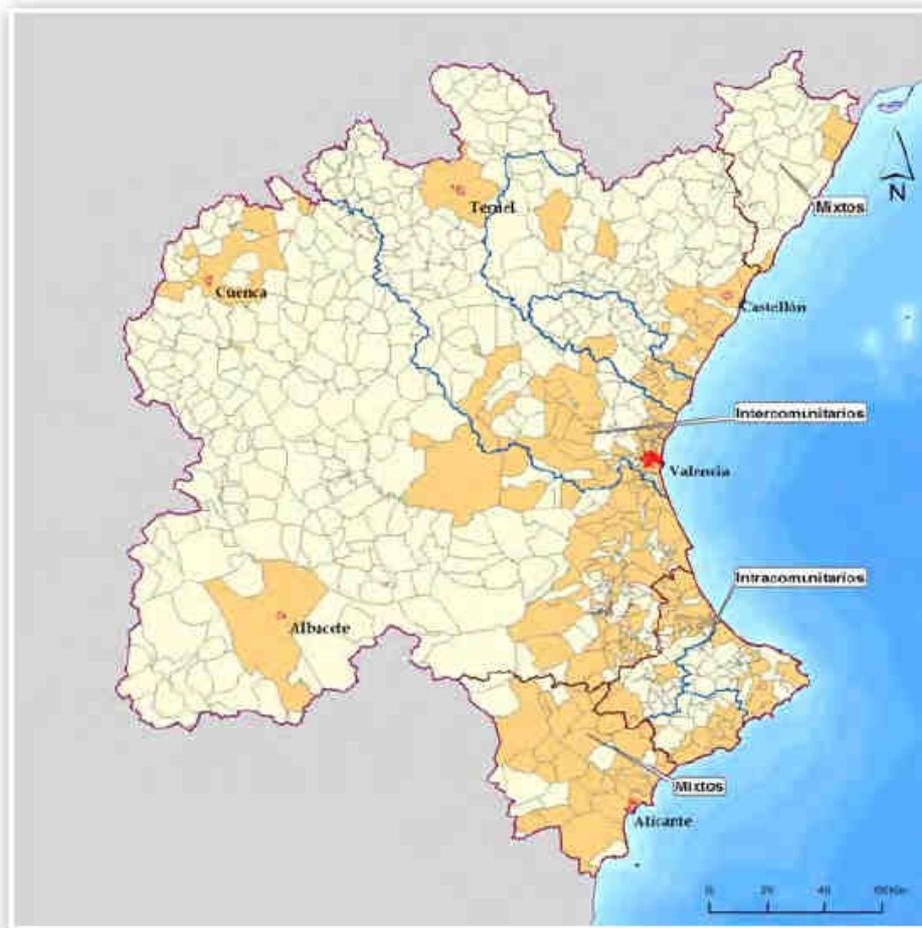


Figura 98: Municipios con datos de demanda disponible (Fuente: Documento Técnico de Referencia: Metodología y Resultados de la Estimación de Demandas en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar, CHJ. 2005).

El cruce de las estimaciones de población total equivalente con los datos de agua suministrada permite determinar las dotaciones para los municipios con datos disponibles. La dotación así obtenida incluye la parte proporcional de la industria, comercios y servicios conectados a la red de abastecimiento municipal.

En base a las dotaciones obtenidas se han calculado las dotaciones promedio para los distintos escalones de población que establece la tabla 49 del anexo IV de la Instrucción de Planificación Hidrológica, aprobada por la Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre. Cabe mencionar que si la tabla de la IPH está definida para población permanente (hab.), dado el peso de la población estacional en el ámbito de la CHJ se ha considerado aplicable para la población total equivalente (heq.).

Así pues se tiene que para el ámbito de estudio las dotaciones medias en función de la población equivalente son las que se muestran en la siguiente tabla.

Población abastecida por el sistema (municipio, área metropolitana, etc.)	Municipios					IPH		Dotación media (l/heq.día)
	Muestra dentro de rango	Muestra	Total	Muestra dentro de rango %	Muestra %	Valor de referencia (l/hab.día)	Rango admisible (l/hab.día)	
Menos de 10.000	122	137	655	19%	21%	340	180-640	353
De 10.000 a 25.000	34	35	51	67%	69%			311
De 25.000 a 50.000	23	25	31	74%	81%			316
De 50.000 a 100.000	6	6	8	75%	75%	330	180-570	315
De 100.000 a 500.000	5	5	5	100%	100%	280	180-490	255
Más de 500.000	1	1	1	100%	100%	270	180-340	243
TOTAL	191	209	751	25%	28%			

Tabla 24: Estimación de dotaciones de agua suministrada en función del tamaño de la población y comparación con los valores de la IPH (Fuente: Documento Técnico de Referencia: Metodología y Resultados de la Estimación de Demandas en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar, CHJ. 2005).

Con toda la metodología y resultados expuestos hasta el momento a partir del "Documento Técnico de Referencia: Metodología y Resultados de la Estimación de Demandas en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar", se ha realizado una actualización de los datos de población permanente a partir de los datos publicados por el Instituto Nacional de Estadística con fecha 1 de enero de 2011, y con el porcentaje de población estacional para la sistema de explotación Júcar se ha obtenido la población equivalente de cada municipio.

Una vez obtenida la población equivalente, y en función del tamaño de población, a partir de los datos de dotación media, se ha obtenido el volumen de agua anual demandado por cada municipio.

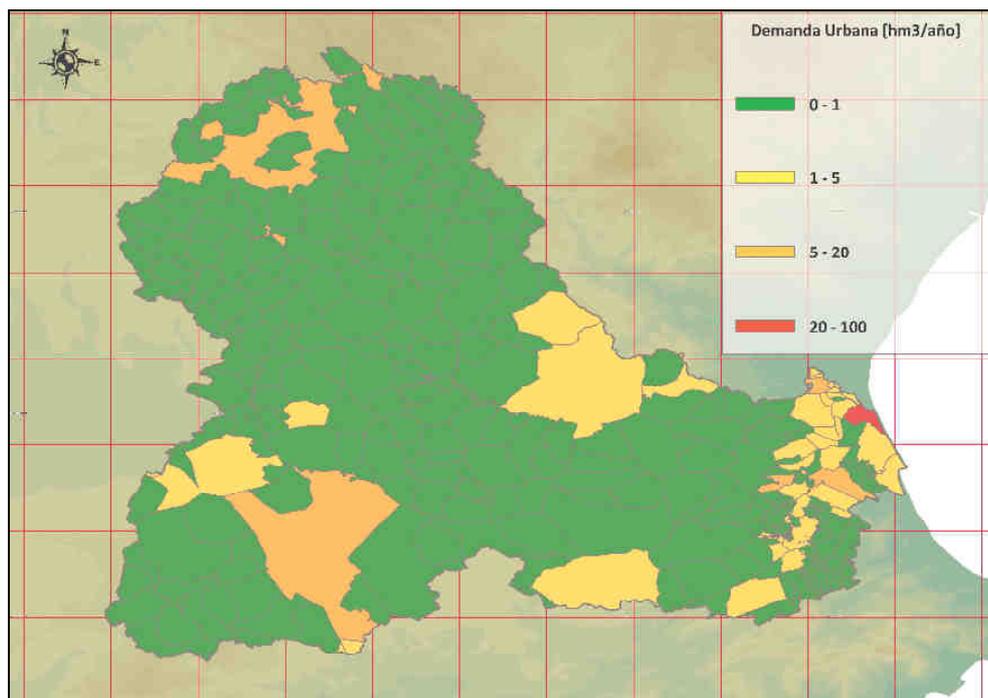


Figura 99: Demanda urbana para el abastecimiento a las poblaciones a partir de los datos del censo del INE de 2011 (Fuente: Elaboración propia).

Por lo que se refiere al esquema concreto que se usará en el modelo de gestión de recursos hídricos, sólo se considerarán cuatro demandas urbanas: Valencia y su área metropolitana, Albacete, Sagunto y los abastecimientos de la Marina Baja. De acuerdo con el Documento Técnico de Referencia, estos abastecimientos urbanos presentan un consumo de 94,61⁶ hm³, 15,01 hm³, 11,83 hm³ y 26,02 hm³ respectivamente. La distribución mensual de estas demandas es la que sigue:

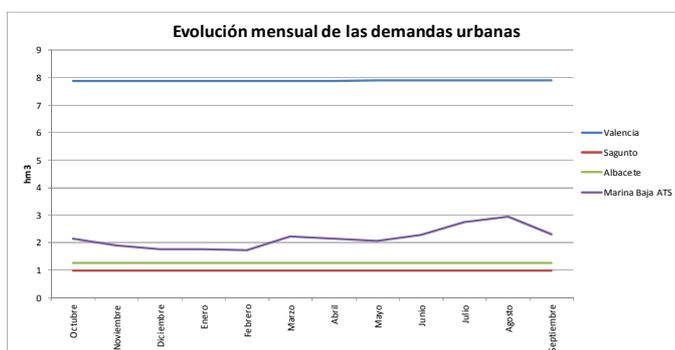


Figura 100: Evolución anual de las demandas urbanas actuales (CHJ, 2009).

⁶ En el DTR el área metropolitana de Valencia tiene una demanda de 140,90 hm³, pero en realidad la concesión desde el canal Júcar-Turisa para el abastecimiento de Valencia es de 3 m³/s, por lo que se considerará el volumen asociado a este caudal (94,61 hm³), como demanda urbana actual del área metropolitana de Valencia para el sistema Júcar.

5.5.2.2 Demanda agraria

De acuerdo con la IPH la demanda agraria comprende la demanda agrícola, forestal y ganadera. No obstante, en el ámbito de la CHJ, el uso forestal se considera prácticamente nulo por lo que queda excluido de los cálculos.

La estimación de la demanda agrícola se ha obtenido a partir de información sobre volúmenes captados en determinadas zonas de la CHJ y de métodos indirectos (demanda bruta estimada) para el resto de zonas. Los volúmenes captados corresponden al consumo real en el año de referencia y que en adelante se denomina demanda bruta medida. La caracterización de la demanda agrícola se hará en base a Unidades de Demanda Agraria (en adelante UDA).

La información de partida para la estimación de la demanda agrícola es la siguiente:

- Caracterización de las unidades de demanda agraria.
- Superficie cultivada de regadío y distribución o mosaico de cultivos, obtenida a partir del Censo Agrario del INE y el Anuario de Estadística del MARM.
- Volumen captado o detraído del sistema: datos de aforos de las principales acequias de regadío superficial y control d extracciones en el caso de regadíos subterráneos, que aportan el dato de demanda bruta de forma directa.

Como ya se ha mencionado anteriormente, la estimación de demanda bruta para uso agrícola para el escenario actual para toda la CHJ combina datos de demanda bruta medida y demanda bruta estimada por métodos indirectos. La metodología seguida para la estimación por métodos indirectos de la demanda bruta se basa en los siguientes pasos:

1. Estimación de la demanda neta, a partir de dotaciones netas de la IPH y del MARM y de la superficie regada.
2. Estimación de las eficiencias, en base a la demanda bruta medida y la correspondiente demanda neta.

3. Estimación de la demanda bruta total como suma de la demanda bruta medida y la estimada.

En la siguiente figura se trata de sintetizar la metodología expuesta.

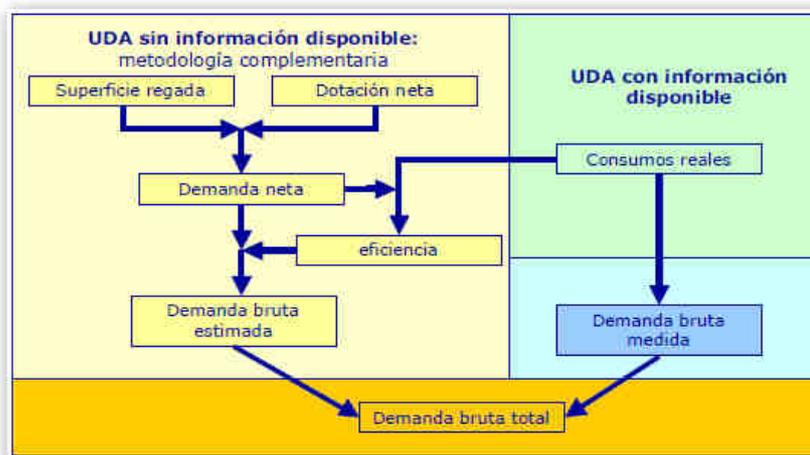


Figura 101: Metodología para la estimación de las demandas brutas (Fuente: Documento Técnico de Referencia: Metodología y Resultados de la Estimación de Demandas en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar, CHJ. 2005).

Con todo esto, se obtienen las demandas brutas totales para cada una de las Unidades de Demanda Agraria, que se distribuyen tal como se indica en la siguiente tabla en función del sistema de explotación.

Sistema de Explotación		Volumen superficial (hm ³ /año)	Volumen subterráneo (hm ³ /año)	Volumen reutilizado (hm ³ /año)	Volumen Total (hm ³ /año)
Inter-comunitarios	Mijares-Plana de Castellón	119,63	88,19	2,52	210,35
	Palancia-Los Valles	253,55	139,22	45,13	437,89
	Turía	48,03	19,67	5,39	73,10
	Júcar	761,57	632,84	10,85	1.405,26
Subtotal		1.182,78	879,93	63,89	2.126,59
Intra-comunitarios	Serpis	42,05	38,78	0,50	81,34
	Marina Alta	5,71	47,49	0,75	53,95
	Marina Baja	10,97	13,49	9,50	33,96
Subtotal		58,74	99,76	10,74	169,25
Mixtos	Vinalopó-Alacantí	4,91	87,18	13,30	105,39
	Cenia-Maestrazgo	5,72	75,10	0,08	80,90
Subtotal		10,63	162,28	13,38	186,29
TOTAL CHJ		1.252,15	1.141,97	88,01	2.482,13

Tabla 25: Demanda agraria en función de su origen y por sistema de explotación (Fuente: Documento Técnico de Referencia: Metodología y Resultados de la Estimación de Demandas en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar, CHJ. 2005).

En la siguiente figura se presenta las Unidades de Demanda Agraria del sistema de explotación Júcar clasificadas en función de la demanda bruta.

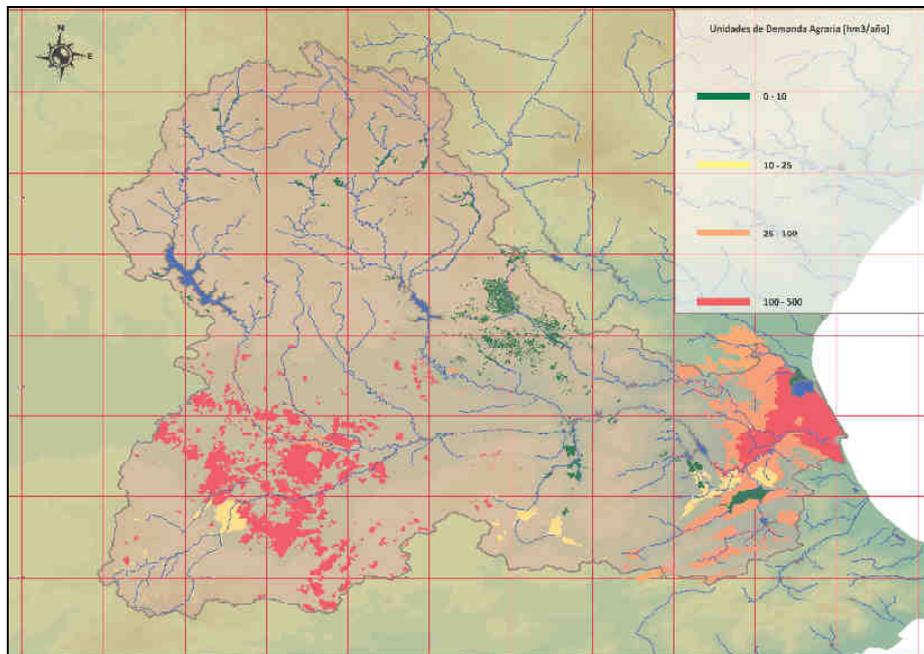


Figura 102: Unidades de Demanda Agraria en el Sistema de Explotación Júcar (Fuente: Elaboración propia)

Por lo que se refiere al esquema concreto que se usará en el modelo de gestión de recursos hídricos, se considerarán las demandas incluidas en la siguiente tabla, que ha sido confeccionada a partir de las demandas incluidas en el Documento Técnico de Referencia (CHJ, 2009) y la distribución de patrones mensuales y la segregación entre cultivos de arroz y resto de cultivos incluidos en el Ejercicio Final de Carrera “Análisis hidroeconómico de sistemas de recursos hídricos mediante modelos de simulación: Aplicación a la cuenca del Río Júcar” de Davide Deidda (Deidda, 2004).

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Anual
Ac. Real y de Antella	6.44	1.69	2.88	1.13	1.99	6.87	6.38	22.38	27.47	39.11	23.21	8.84	148.39
Escalona y Carcagente	1.63	0.43	0.73	0.28	0.50	1.74	1.61	5.65	6.94	9.88	5.87	2.23	37.50
Sueca	1.22	0.44	0.32	0.16	0.40	0.93	1.18	2.27	3.43	4.34	3.73	2.14	20.58
Cuatro Pueblos	0.18	0.07	0.05	0.02	0.06	0.14	0.17	0.34	0.51	0.65	0.55	0.32	3.05
Cullera	0.61	0.21	0.15	0.07	0.19	0.46	0.59	1.15	1.79	2.29	1.95	1.14	10.60
Canal Júcar Turia	9.00	1.80	0.90	0.00	0.00	0.00	4.50	7.20	14.40	18.90	18.90	14.40	90.01
Sustitución Mancha	1.90	0.00	0.00	0.00	0.27	1.08	1.08	1.63	2.17	6.50	7.86	4.61	27.10
Zona Albacete	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.34	150.13	153.98	38.50	384.95
Arroz Ac Real	2.78	0.73	1.24	0.49	0.86	2.97	2.76	9.67	11.87	16.90	10.03	3.82	64.11
Arroz Sueca	9.96	10.74	10.86	8.22	3.79	6.06	8.60	20.09	13.34	12.43	11.64	3.45	119.20
Arroz Cullera	6.86	7.26	7.32	5.53	2.61	4.21	5.95	13.80	9.42	8.91	8.32	2.60	82.78
Arroz Cuatro Pueblos	1.49	1.60	1.62	1.23	0.57	0.90	1.28	3.00	1.99	1.86	1.74	0.52	17.79

Tabla 26: Evolución anual de las demandas agrícolas brutas para la cuenca del Júcar.

5.5.2.3 Uso industrial

En el presente estudio solamente se tendrá en cuenta la demanda industrial de la Central Nuclear de Cofrentes, mientras que el resto de demandas industriales se considerarán incluidas en las demandas urbanas asociadas.

La central nuclear de Cofrentes que actualmente registra una captación de 23,7 hm³/año, si bien de acuerdo a su concesión el consumo no debería superar los 20 hm³/año (CHJ, 2009).

5.5.2.4 Otros usos

Se agrupan en el apartado de otros usos del "*Documento Técnico de Referencia: Metodología y Resultados de la Estimación de Demandas en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar*" aquellos que no suponen una demanda consuntiva significativa en el ámbito de la CHJ: la producción de energía, la acuicultura, los usos recreativos y las actividades de baño y ocio.

En el presente documento solamente se tendrá en cuenta la producción de energía por aprovechamientos hidroeléctricos, por ser un sector económico clave que puede verse afectado por las variaciones futuras de disponibilidad de recursos hídricos que puede suponer el cambio climático.

5.5.2.4.1 Producción de energía por aprovechamientos hidroeléctricos

Según un estudio del Ministerio de Medio Ambiente⁷, la CHJ cuenta con una potencia instalada de 4.410 MW, sin considerar las energías alternativas, que corresponde al 8% del total de la producción total peninsular.

Según los datos de UNESA (Asociación Española de la Industria Eléctrica), la producción hidroeléctrica en el ámbito de la CHJ cuenta con una potencia total de 1.452 MW. De esta potencia 1.369 MW se desarrollan en centrales que trabajan en régimen ordinario y tan solo 82 MW se desarrolla en centrales de régimen especial⁸.

⁷ MMA (2004). *Caracterización económica del uso del agua en el sector energético y análisis de factores determinantes de las presiones y escenarios de evolución del 2015 al 2025*.

⁸ Se distingue entre régimen especial y ordinario en función de la máxima potencia que desarrollan

Según los datos obrantes en la CHJ, actualmente se cuentan 63 aprovechamientos hidroeléctricos, los cuáles cuentan con una potencia instalada de 721 MW y se encuentran ubicados sobretudo en el Júcar, Mijares y Turia.

Sistema de Explotación		CENTRALES HIDROELÉCTRICAS		
		Núm.	Potencia (MW)	Caudal
Inter-comunitarios	Mijares-Plana de Castellón	14	81,52	87.120
	Palancia-Los Valles	2	0,98	-
	Turia	11	11,39	85.093
	Júcar	32	625,65	642.166
	Subtotal	59	719,54	814.379
Intra-Comunitarios	Serpis	3	1,02	5.740
	Marina Alta	-	-	-
	Marina Baja	-	-	-
	Subtotal	3	1,02	5.740
Mixtos	Vinalopó-Alacantí	-	-	-
	Cenia-Maestrazgo	1	0,07	426
	Subtotal	1	0,07	426
TOTAL		63	720,63	820.545

Tabla 27: Distribución de la actividad hidroeléctrica (Fuente: Documento Técnico de Referencia: Metodología y Resultados de la Estimación de Demandas en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar, CHJ. 2005).

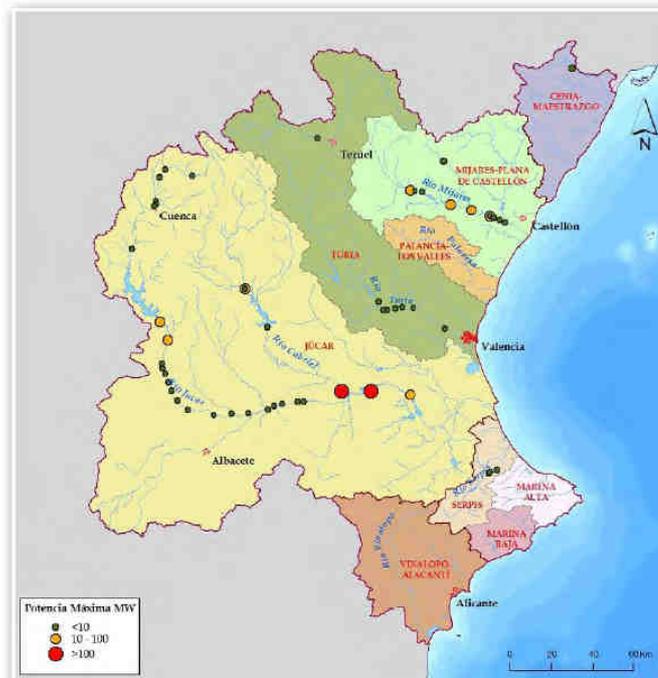


Figura 103: Distribución territorial del uso industrial para producción de energía (Fuente: Documento Técnico de Referencia: Metodología y Resultados de la Estimación de Demandas en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar, CHJ. 2005).

Los datos de la siguiente figura representan la evolución de la producción desde 1990 a 2005 en los principales sistemas de explotación generadores de energía. La producción máxima según el gráfico se registra en 2003 con 536 MWh y el año de menor producción es 1995 con 156 MWh, si bien las diferencias observadas a partir de 2002 en el sistema Júcar se deben a la parada de la central hidroeléctrica de Cofrentes en 2002 y la puesta en marcha de Millares II. En 1994-95 no funcionó la central de Contreras II.

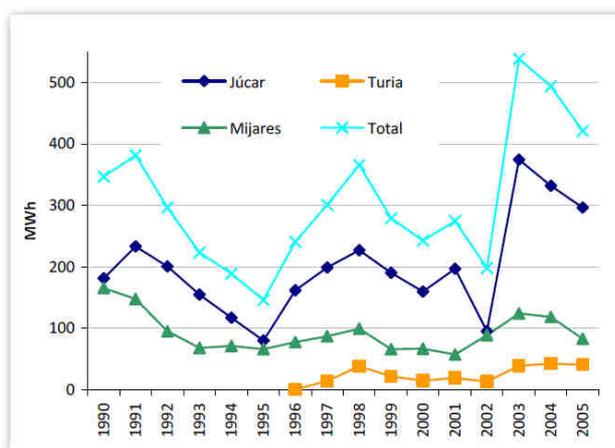


Figura 104: Evolución de la producción hidroeléctrica de las principales centrales de la CHJ desde 1990 a 2005 (Fuente: Documento Técnico de Referencia: Metodología y Resultados de la Estimación de Demandas en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar, CHJ. 2005).

Por lo que se refiere a la cuenca del Júcar, los aprovechamientos hidroeléctricos considerados en el presente trabajo por tener la entidad suficiente 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 28: Demandas anuales y mensuales de las Centrales Hidroeléctricas consideradas en el presente estudio.

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).

5.5.2.5 Caudal ecológico

Se ha incluido un caudal ecológico que se incluirá en este apartado por considerarse como una *demanda ambiental*, obtenido a partir del "Informe de síntesis de la Comisión de Caudales Ecológicos" de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ, 2008). En este informe hay una previsión de caudales para cada uno de los tramos del río. Por ser la de mayor entidad, se ha incluido únicamente la del tramo del bajo Júcar, la que deberá existir aguas debajo de Tous. En la siguiente tabla se presenta el valor de esta demana:

	Caudal (m ³ /s)	Volumen (hm ³ /mes)
Octubre	0.8	2.14
Noviembre	1	2.59
Diciembre	1.2	3.21
Enero	1.2	3.21
Febrero	1.2	2.90
Marzo	1.2	3.21
Abril	1.2	3.11
Mayo	1.2	3.21
Junio	1	2.59
Julio	0.8	2.14
Agosto	0.8	2.14
Septiembre	0.8	2.07
Total Anual		32.56

Tabla 29: Caudal ecológico para la estación de aforo de Huerto Mulet, que se considera para todo el tramo aguas abajo de Tous (CHJ, 2008).

5.5.3 Demandas futuras

5.5.3.1 Introducción

En los siguientes epígrafes se realizarán las estimaciones de las demandas para los escenarios futuros, en ellas se tendrán en cuenta las demandas actuales y las previsiones de incrementos futuros, ya sea por medios estadísticos —para las demandas urbanas— como por modelos de simulación agronómica en el caso de las demandas agrícolas.

5.5.3.2 Demandas urbanas futuras

Para la determinación de las demandas urbanas futuras se ha tenido en cuenta las proyecciones de población del Instituto Valenciano de Estadística —en concreto de la provincia de Valencia, por ser la demanda mayoritaria—, y se realiza la hipótesis de que la población crece hasta el 2050 y a partir de ahí se estabiliza, según se recoge en los resultados de la World Population Prospects Database de la ONU.

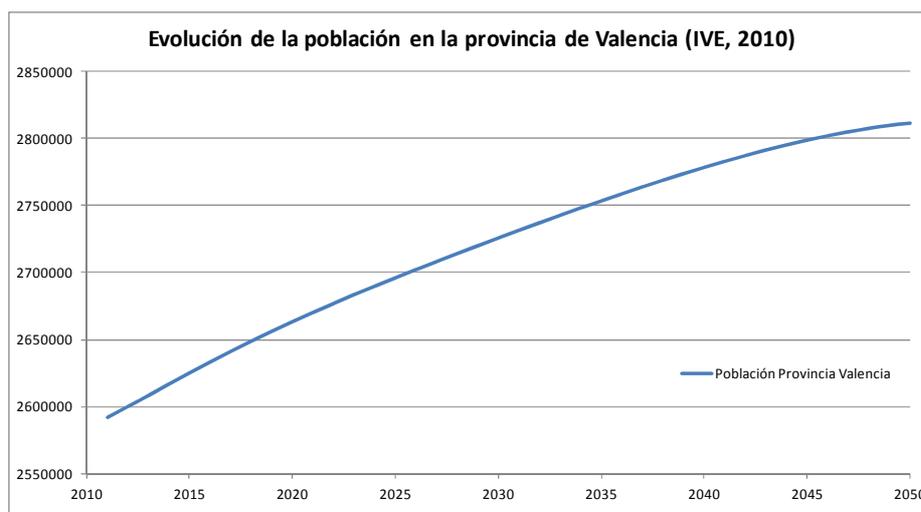


Figura 105: Evolución estimada de la población para la provincia de Valencia.

Así pues, para el corto plazo se tomará el incremento de población de 2027⁹ respecto al de 2010, mientras que para el medio y el largo plazo se tomará el incremento de población para 2050.

	Control	Corto Plazo	Medio Plazo	Largo Plazo
Población	2591750	2707862	2811080	2811080
Variación (%)	100.00%	104.48%	108.46%	108.46%

Tabla 30: Población en la provincia de Valencia y variación porcentual estimada para los escenarios futuros.

Con esto las demandas urbanas para los escenarios futuros se incrementarán con estos porcentajes respecto al escenario histórico.

⁹ Se toma el 2027 por ser el segundo horizonte temporal de la IPH, y por estar cerca de 2025 que sería el año promedio de la serie de Corto Plazo.

5.5.3.3 Demandas agrícolas futuras

En el presente trabajo el cálculo de las demandas agrícolas para los escenarios futuros se ha realizado a partir del programa CROPWAT 8.0, tal como se ha descrito en la metodología del Capítulo 3.

Como los principales aprovechamientos agrícolas están claramente diferenciados espacial y tipológicamente entre los cultivos de la zona de Albacete, y los de la Ribera del Júcar, se ha realizado esta distinción desde el punto de vista climático y de tipología de cultivos.

Tanto para la Mancha Oriental como para la Ribera del Júcar se han usado los datos climáticos de la serie histórica 1960-2000 del proyecto Spain02 (Herrera et al., 2010) usando el valor de una celda representativa (39N 2W para la Mancha Oriental y 39,2N 0,4W para la Ribera del Júcar). Para los datos de los escenarios futuros se han utilizado los valores de la distribución equiprobable de los MRCs de ENSEMBLES que se seleccionaron, usando únicamente el valor de la celda en que están incluidos estas áreas agrícolas.

Por lo que se refiere a la tipología de cultivos, en la Mancha Oriental se han modelado un total de los 6 cultivos mayoritarios que suponen el 70% de la superficie cultivada según la Memoria de la Junta Central de Regantes de la Mancha Oriental de 2011 (JCRMO, 2012). Los valores de los parámetros de entrada en el modelo CROPWAT, se muestran en la siguiente tabla:

Tipo de cultivo	Fecha Siembra	Longitud de desarrollo del cultivo					Coeficiente de Cultivo			Altura Máxima
		Long Inicial	Long Desarrollo	Long Media	Long Final	Total	K _{C_{ij}}	K _{C_{med}}	K _{C_{fin}}	
Trigo	Marzo/Abril	20	25	60	30	135	0.3	1.15	0.25	1
Cebada	Marzo/Abril	20	25	60	30	135	0.3	1.15	0.25	1
Maíz	Abril	30	40	50	30	150	0.3	1.2	0.35	2
Viña	Abril	30	60	40	80	210	0.3	0.7	0.45	1.75
Cebolla	Abril	15	25	70	40	150	0.7	1.05	0.75	0.4
Alfalfa	Marzo	10	30	180	20	240	0.4	0.95	0.4	0.7

Tabla 31: Parámetros de desarrollo de los cultivos para la Mancha Oriental.

Por lo que se refiere a la Ribera del Júcar, se han modelado únicamente los cultivos de cítricos y arroz, por ser los mayoritarios en la zona baja del Júcar. Los valores de los parámetros de entrada en el modelo CROPWAT, se muestran en la siguiente tabla:

Tipo de cultivo	Fecha Siembra	Longitud de desarrollo del cultivo					Coeficiente de Cultivo			Altura Máxima
		Long Inicial	Long Desarrollo	Long Media	Long Final	Total	K _{C_{ij}}	K _{C_{med}}	K _{C_{fin}}	
Cítricos	Enero	60	90	120	95	365	0.7	0.65	0.7	4
Arroz	Mayo	30	30	60	30	150	1.05	1.2	0.75	1

Tabla 32: Parámetros de desarrollo de los cultivos para la Ribera del Júcar.

Así pues, a partir de los datos climáticos históricos y estimados mediante los MRCs para los escenarios futuros, y de los datos de desarrollo de los cultivos se pueden obtener las demandas de los cultivos para cada uno de estos escenarios.

Tipo de cultivo	Zona	Cropwat Histórico (m ³ /ha-año)	Cropwat CP (m ³ /ha-año)	Cropwat MP (m ³ /ha-año)	Cropwat LP (m ³ /ha-año)	Variación Porcentual CP	Variación Porcentual MP	Variación Porcentual LP
Trigo	Mancha Oriental	4923	5195	5935	6235	105.53%	120.56%	126.65%
Cebada	Mancha Oriental	4923	5195	5935	6235	105.53%	120.56%	126.65%
Maíz	Mancha Oriental	5630	5943	6757	7098	105.56%	120.02%	126.07%
Viña	Mancha Oriental	4260	4500	5234	5495	105.63%	122.86%	128.99%
Cebolla	Mancha Oriental	6069	6396	7317	7675	105.39%	120.56%	126.46%
Alfalfa	Mancha Oriental	7507	7880	8945	9372	104.97%	119.16%	124.84%
Cítricos	Ribera del Júcar	2270	2312	3218	3368	101.85%	141.76%	148.37%
Arroz	Ribera del Júcar	4878	5037	5937	6182	103.26%	121.71%	126.73%

Tabla 33: Resultados de la variación de las demandas para los escenarios futuros.

Así pues con estos resultados, y a partir de las demandas existentes en el periodo histórico y de la variación porcentual para los escenarios futuros se han obtenido las demandas agrícolas para los escenarios futuros.

DEMANDAS ESCENARIO CORTO PLAZO													
	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Anual
Ac. Real y de Antella	6.56	1.72	2.93	1.15	2.02	7.00	6.50	22.79	27.97	39.84	23.64	9.01	151.13
Escalona y Carcagente	1.66	0.44	0.74	0.29	0.51	1.77	1.64	5.76	7.07	10.07	5.97	2.28	38.19
Sueca	1.24	0.45	0.33	0.17	0.41	0.95	1.20	2.32	3.49	4.42	3.80	2.18	20.96
Cuatro Pueblos	0.18	0.07	0.05	0.02	0.06	0.14	0.18	0.34	0.52	0.66	0.56	0.32	3.11
Cullera	0.62	0.22	0.15	0.07	0.19	0.47	0.60	1.17	1.82	2.34	1.99	1.16	10.80
Canal Júcar Turia	9.17	1.83	0.92	0.00	0.00	0.00	4.58	7.33	14.67	19.25	19.25	14.67	91.68
Sustitución Mancha	2.00	0.00	0.00	0.00	0.29	1.14	1.14	1.72	2.29	6.86	8.29	4.86	28.59
Zona Albacete	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	44.67	158.39	162.45	40.61	406.12
Arroz Ac Real	2.87	0.75	1.28	0.50	0.89	3.07	2.85	9.98	12.25	17.45	10.35	3.95	66.20
Arroz Sueca	10.28	11.09	11.21	8.49	3.92	6.26	8.88	20.75	13.78	12.83	12.02	3.57	123.08
Arroz Cullera	7.09	7.49	7.56	5.71	2.70	4.35	6.14	14.25	9.73	9.20	8.59	2.68	85.48
Arroz Cuatro Pueblos	1.53	1.65	1.67	1.27	0.58	0.93	1.33	3.09	2.06	1.92	1.79	0.53	18.37

Tabla 34: Demandas agrícolas brutas para el escenario de Corto Plazo (2011 – 2040).

DEMANDAS ESCENARIO MEDIO PLAZO													
	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Anual
Ac. Real y de Antella	9.13	2.40	4.08	1.60	2.82	9.74	9.04	31.72	38.94	55.45	32.90	12.54	210.35
Escalona y Carcagente	2.31	0.61	1.03	0.40	0.71	2.46	2.29	8.02	9.84	14.01	8.31	3.17	53.16
Sueca	1.73	0.63	0.46	0.23	0.57	1.32	1.67	3.22	4.86	6.16	5.29	3.03	29.18
Cuatro Pueblos	0.26	0.09	0.07	0.03	0.08	0.20	0.25	0.48	0.72	0.91	0.79	0.45	4.33
Cullera	0.86	0.30	0.21	0.10	0.27	0.65	0.83	1.62	2.53	3.25	2.77	1.62	15.03
Canal Júcar Turia	12.76	2.55	1.28	0.00	0.00	0.00	6.38	10.21	20.42	26.80	26.80	20.42	127.60
Sustitución Mancha	2.29	0.00	0.00	0.00	0.33	1.31	1.31	1.96	2.62	7.85	9.49	5.56	32.72
Zona Albacete	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	51.13	181.28	185.93	46.48	464.83
Arroz Ac Real	3.39	0.89	1.51	0.59	1.05	3.61	3.36	11.77	14.44	20.57	12.20	4.65	78.03
Arroz Sueca	12.12	13.07	13.22	10.01	4.61	7.37	10.47	24.45	16.24	15.13	14.17	4.20	145.07
Arroz Cullera	8.35	8.83	8.91	6.73	3.18	5.12	7.24	16.79	11.46	10.85	10.13	3.16	100.75
Arroz Cuatro Pueblos	1.81	1.95	1.97	1.49	0.69	1.10	1.56	3.65	2.42	2.26	2.12	0.63	21.65

Tabla 35: Demandas agrícolas brutas para el escenario de Medio Plazo (2041 – 2070).

DEMANDAS ESCENARIO LARGO PLAZO													
	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Anual
Ac. Real y de Antella	9.56	2.51	4.27	1.67	2.95	10.19	9.47	33.20	40.75	58.03	34.43	13.12	220.16
Escalona y Carcagente	2.42	0.64	1.08	0.42	0.75	2.58	2.39	8.39	10.30	14.66	8.70	3.31	55.64
Sueca	1.81	0.66	0.48	0.24	0.60	1.38	1.75	3.37	5.09	6.45	5.54	3.17	30.54
Cuatro Pueblos	0.27	0.10	0.07	0.04	0.09	0.20	0.26	0.50	0.76	0.96	0.82	0.47	4.53
Cullera	0.90	0.32	0.22	0.10	0.28	0.68	0.87	1.70	2.65	3.40	2.90	1.69	15.73
Canal Júcar Turia	13.35	2.67	1.34	0.00	0.00	0.00	6.68	10.68	21.37	28.05	28.05	21.37	133.55
Sustitución Mancha	2.41	0.00	0.00	0.00	0.34	1.37	1.37	2.06	2.75	8.25	9.97	5.84	34.36
Zona Albacete	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	53.69	190.37	195.25	48.81	488.12
Arroz Ac Real	3.53	0.93	1.58	0.62	1.09	3.76	3.49	12.25	15.04	21.42	12.71	4.84	81.25
Arroz Sueca	12.62	13.61	13.76	10.42	4.81	7.68	10.90	25.46	16.91	15.75	14.75	4.38	151.06
Arroz Cullera	8.70	9.20	9.28	7.01	3.31	5.33	7.54	17.48	11.94	11.29	10.54	3.29	104.91
Arroz Cuatro Pueblos	1.88	2.03	2.05	1.55	0.72	1.15	1.63	3.80	2.52	2.35	2.20	0.65	22.54

Tabla 36: Demandas agrícolas brutas para el escenario de Largo Plazo (2071 – 2100).

5.5.3.4 Demandas para otros usos

Para el resto de las demandas, la refrigeración de la central nuclear de Cofrentes y para las demandas no consuntivas de las centrales hidroeléctricas se supone que no presentan variaciones para los escenarios futuros, ya que estos aprovechamientos se supone que no cambiarán, o en el caso de que lo hagan no existen estudios o proyecciones concretas de estos cambios potenciales.

Tampoco se considera una variación para los escenarios futuros del caudal ecológico aguas abajo de Tous.

5.5.4 Resumen de la evolución de las demandas

Así pues, considerando la suma de todas las demandas consuntivas existentes, la variación total de la evolución mensual es la que se muestra a continuación:

Mes	Demandas Totales (hm ³)			
	Histórico	Corto Plazo	Medio Plazo	Largo Plazo
Octubre	56.29	57.99	70.27	72.71
Noviembre	38.96	40.25	46.33	47.66
Diciembre	39.93	41.24	47.61	48.99
Enero	31.00	32.07	36.06	36.95
Febrero	25.05	25.91	29.12	29.74
Marzo	39.69	40.95	48.26	49.71
Abril	48.34	49.82	59.67	61.62
Mayo	101.32	104.20	129.08	134.09
Junio	150.06	155.27	191.07	199.21
Julio	286.77	298.66	360.47	376.93
Agosto	262.82	274.35	327.04	342.00
Septiembre	96.98	100.78	121.37	126.42
Total	1177.22	1221.48	1466.34	1526.02

Tabla 37: Variación de las demandas mensuales totales para los escenarios futuros.

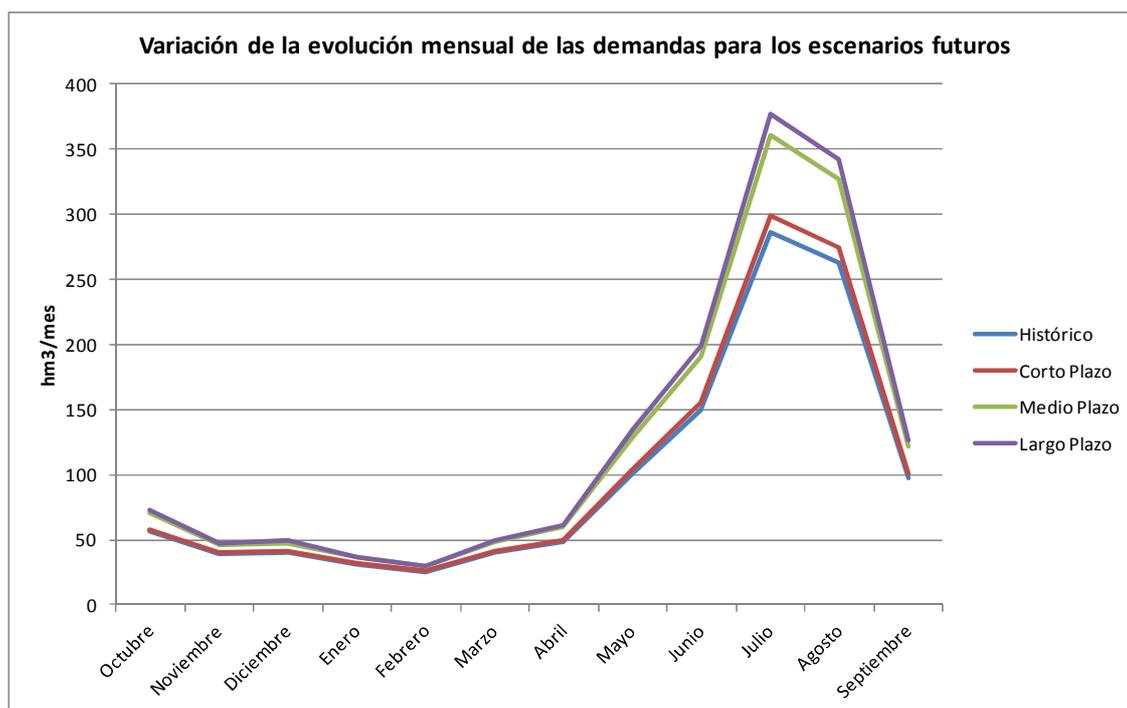


Figura 106: Variación de las demandas mensuales totales para los escenarios futuros.

5.6 Modelo de gestión de recursos hídricos

5.6.1 Descripción del modelo conceptual

5.6.1.1 Introducción

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 realizan simulaciones bajo 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 ya sea 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 coherentes 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.

En la siguiente figura se puede ver el esquema completo del modelo:

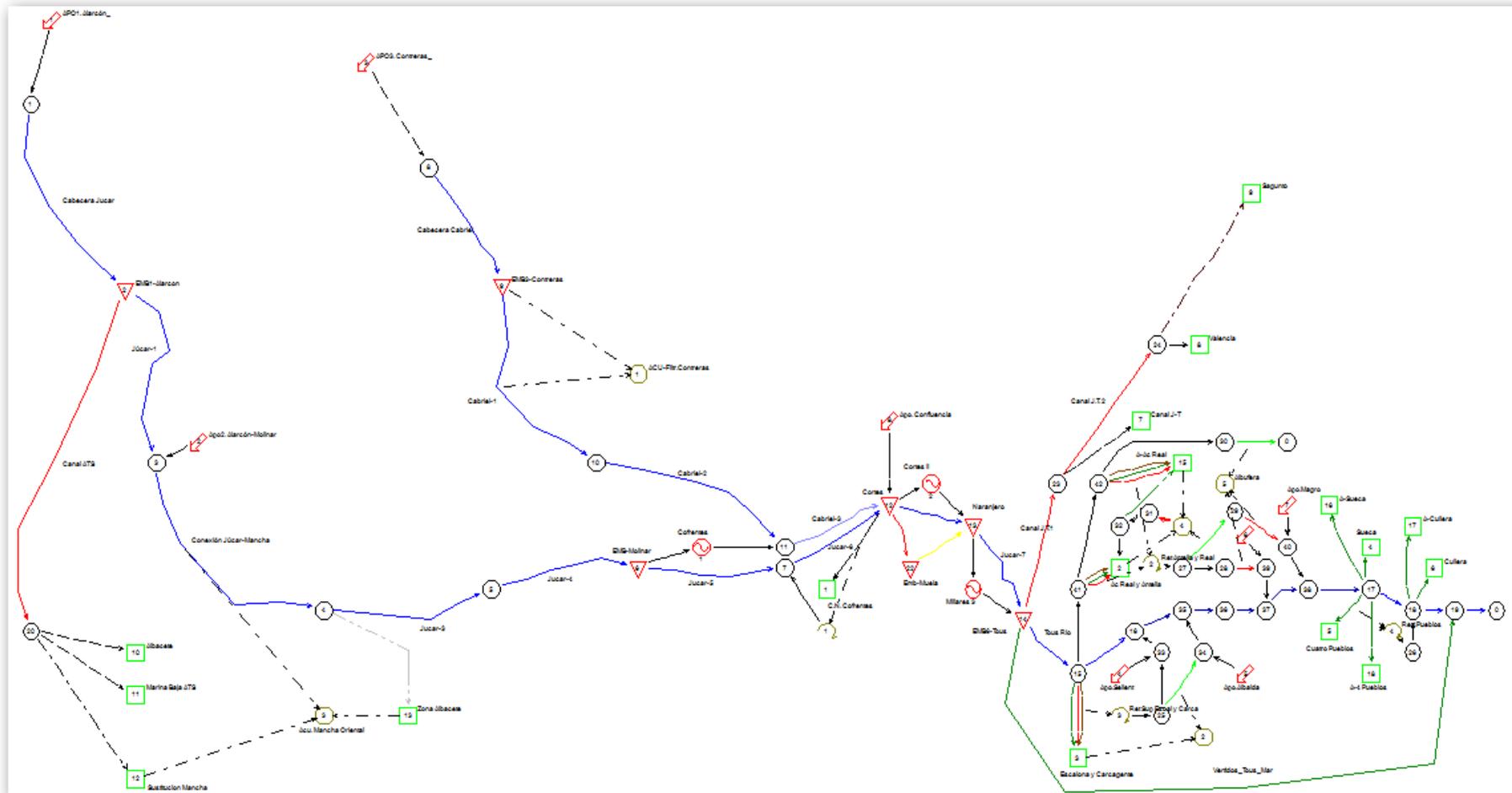


Figura 107: Esquema completo del modelo de Aqwaterol considerado para el Sistema de Explotación Júcar.

5.6.1.2 Río Júcar hasta el embalse de Molinar

Esta parte del sistema incluye el río Júcar desde su cabecera hasta el embalse de Molinar. Debido a las escasas afecciones presentes aguas arriba del embalse de Alarcón (1112 Hm³) 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 bombes de la Mancha Oriental y la ayuda al suministro de la Mancomunidad del Tabilla.

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 bombes 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.

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.

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 110Hm^3 , volumen mínimo 100Hm^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 20Hm^3 , altura de 19.5m y superficie de 115 Has. 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 20Hm^3 , volumen mínimo 18Hm^3) se encuentra justamente aguas abajo del embalse de Cortes II y se ha conectado al embalse de Tous (EMB6-Tous, volumen máximo de 378Hm^3 , limitado de agosto a noviembre a 72Hm^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 Hm³/mes y su caudal máximo de turbinación 144 Hm³/mes (55 m³/s).

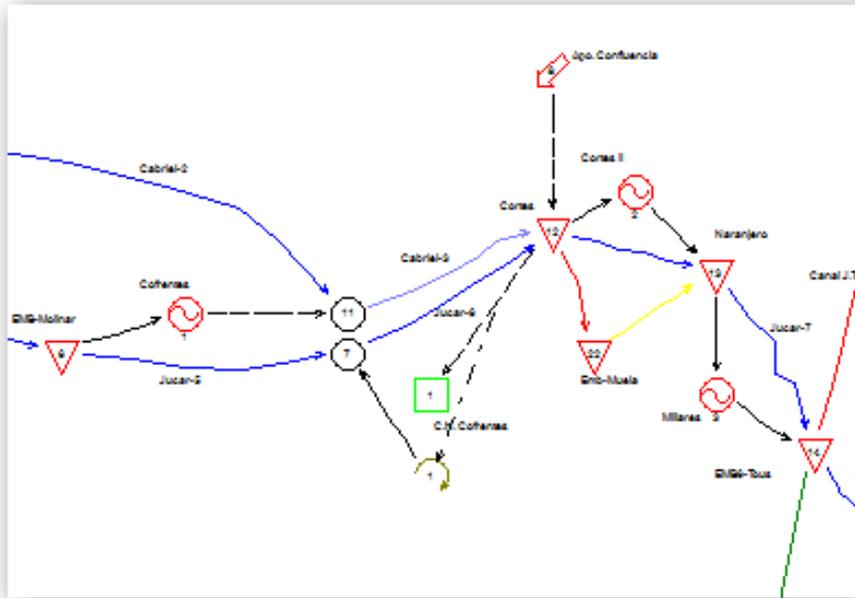


Figura 109: Esquema del sistema entre los embalses de El Molinar y Tous, con la inclusión de las centrales hidroeléctricas y de la demanda de la CN de Cofrentes.

5.6.1.5 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 figura siguiente.

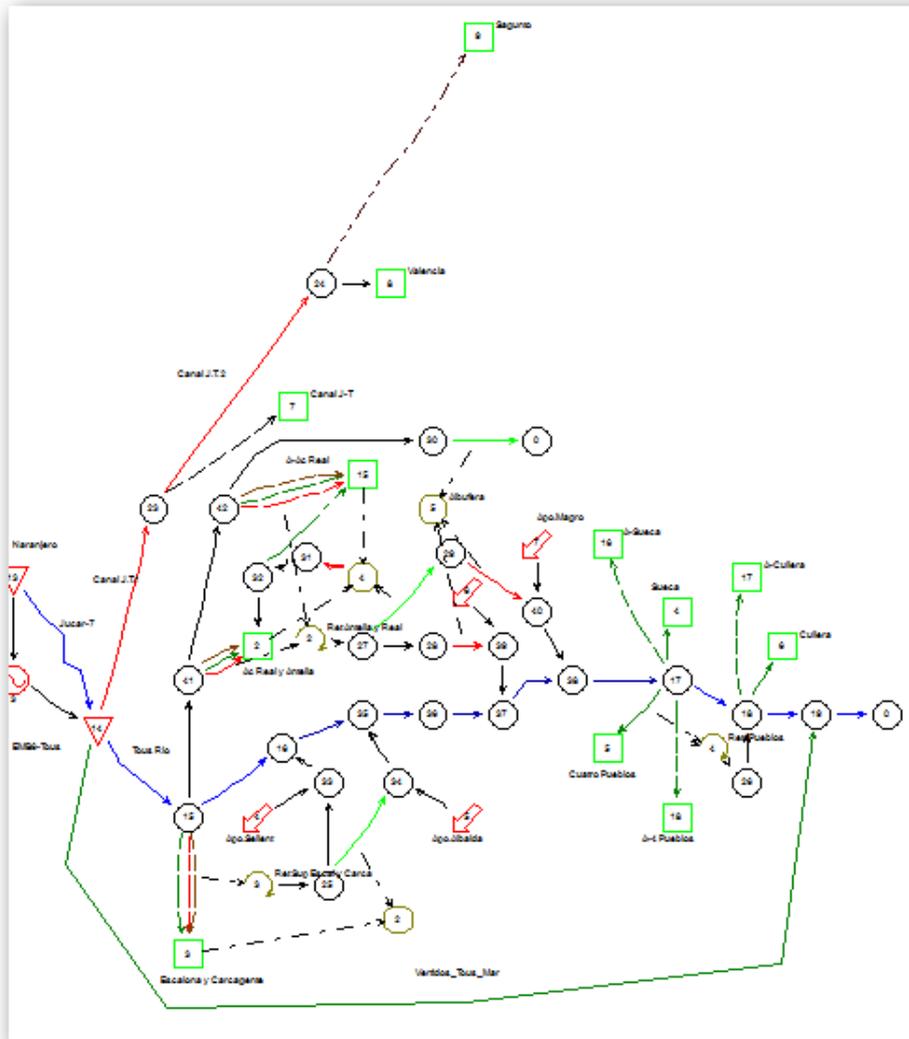


Figura 110: Esquema del modelo aguas abajo de Tous.

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, junto con los de Antella, y los riegos de las acequias 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 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 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.

5.6.1.6 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.

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 respecte 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 grave escasez del recurso. Los indicadores se activan al encontrarse el volumen almacenado por debajo de un umbral establecido y actúan limitando el suministro a algunas demandas o limitando el caudal circulante por algunos tramos de río o activando medidas de emergencia como los pozos de sequía. A continuación 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.

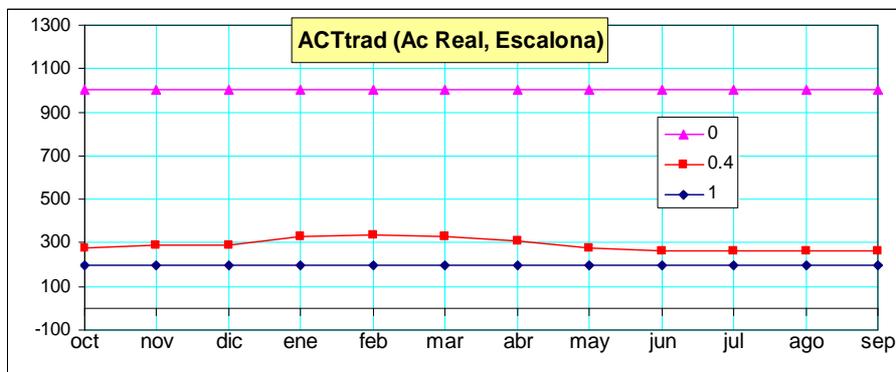


Figura 111: Indicador de alarma ACT trad.

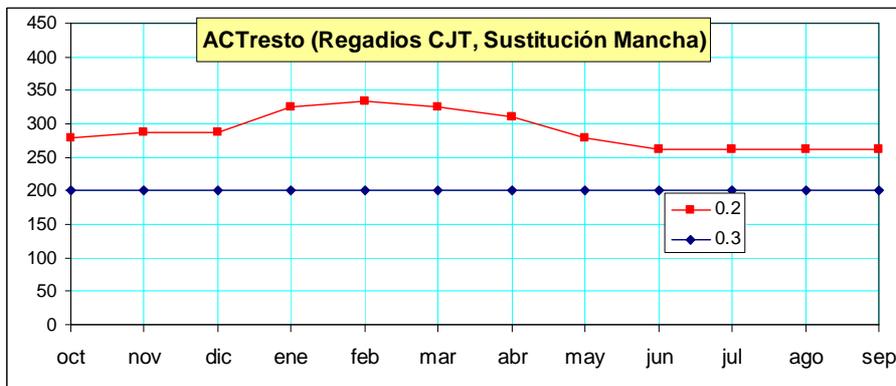


Figura 112: Indicador de alarma ACT resto.

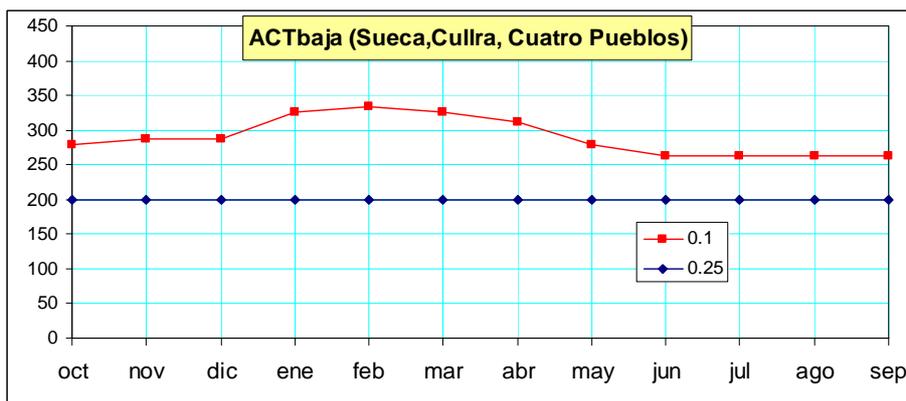


Figura 113: Indicador de alarma ACT baja.

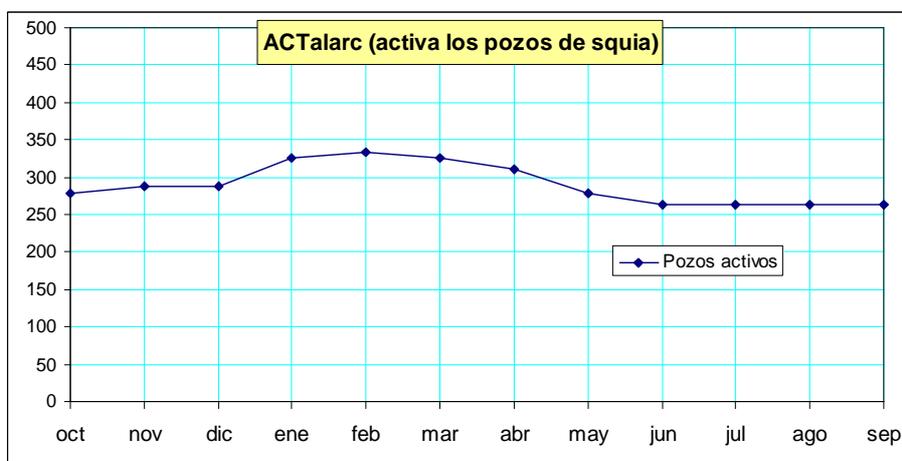


Figura 114: Indicador de alarma ACT Alarcón.

5.6.2 Datos de entrada

Para cada uno de los escenarios considerados —escenario histórico, escenario de Corto Plazo (2011 – 2040), escenario de Medio Plazo (2041 – 2070) y escenario de Largo Plazo (2071 – 2100)— se ha implementado el modelo con los datos de las aportaciones obtenidas en el apartado a partir de los escenarios climáticos, con las demandas consuntivas para cada uno de los escenarios, y con los datos de los aprovechamientos hidroeléctricos y el caudal ecológico que se mantienen constantes para todos los escenarios.

En las siguientes tablas se presenta un resumen de las aportaciones y demandas totales para cada uno de los escenarios:

ESCENARIO HISTÓRICO													
	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Anual
Demandas agrícolas	42.07	24.97	26.07	17.14	11.24	25.36	34.11	87.17	135.67	271.92	247.78	82.56	1006.06
Demandas urbanas	12.25	12.02	11.89	11.89	11.83	12.35	12.25	12.18	12.42	12.88	13.07	12.44	147.46
Demanda CN Cofrentes	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	23.70
Demanda Total	56.29	38.96	39.93	31.00	25.05	39.69	48.34	101.32	150.06	286.77	262.82	96.98	1177.22
Aportaciones	126.19	117.01	127.67	164.00	179.17	186.91	151.68	141.18	113.45	84.17	79.11	88.24	1558.78

Tabla 38: Resumen de las demandas y aportaciones para el escenario histórico.

ESCENARIO CORTO PLAZO													
	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Anual
Demandas agrícolas	43.21	25.72	26.85	17.67	11.57	26.07	35.05	89.49	140.32	283.23	258.72	85.81	1043.71
Demandas urbanas	12.80	12.55	12.42	12.42	12.36	12.91	12.80	12.73	12.97	13.46	13.65	13.00	154.07
Demanda CN Cofrentes	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	23.70
Demanda Total	57.99	40.25	41.24	32.07	25.91	40.95	49.82	104.20	155.27	298.66	274.35	100.78	1221.48
Aportaciones	112.65	107.79	105.06	138.09	167.49	179.22	144.18	129.88	109.06	80.65	74.34	90.51	1438.92

Tabla 39: Resumen de las demandas y aportaciones para el escenario de Corto Plazo (2011 – 2040).

ESCENARIO MEDIO PLAZO													
	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Anual
Demandas agrícolas	55.01	31.32	32.74	21.19	14.31	32.89	44.40	113.89	175.63	344.52	310.89	105.90	1282.70
Demandas urbanas	13.29	13.03	12.89	12.89	12.83	13.40	13.29	13.21	13.47	13.97	14.17	13.49	159.94
Demanda CN Cofrentes	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	23.70
Demanda Total	70.27	46.33	47.61	36.06	29.12	48.26	59.67	129.08	191.07	360.47	327.04	121.37	1466.34
Aportaciones	103.77	113.84	132.65	233.62	198.56	208.98	146.18	124.30	96.39	78.85	75.21	79.68	1592.01

Tabla 40: Resumen de las demandas y aportaciones para el escenario de Medio Plazo (2041 – 2070).

ESCENARIO LARGO PLAZO													
	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Anual
Demandas agrícolas	57.44	32.65	34.13	22.08	14.93	34.33	46.36	118.90	183.77	360.98	325.86	110.95	1342.38
Demandas urbanas	13.29	13.03	12.89	12.89	12.83	13.40	13.29	13.21	13.47	13.97	14.17	13.49	159.94
Demanda CN Cofrentes	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	23.70
Demanda Total	72.71	47.66	48.99	36.95	29.74	49.71	61.62	134.09	199.21	376.93	342.00	126.42	1526.02
Aportaciones	104.25	100.56	90.64	117.85	144.19	163.76	105.47	89.60	73.98	61.38	56.94	57.61	1166.24

Tabla 41: Resumen de las demandas y aportaciones para el escenario de Largo Plazo (2071 – 2100).

En el siguiente gráfico se muestra el resumen de la variación en demandas y aportaciones para los escenarios considerados.

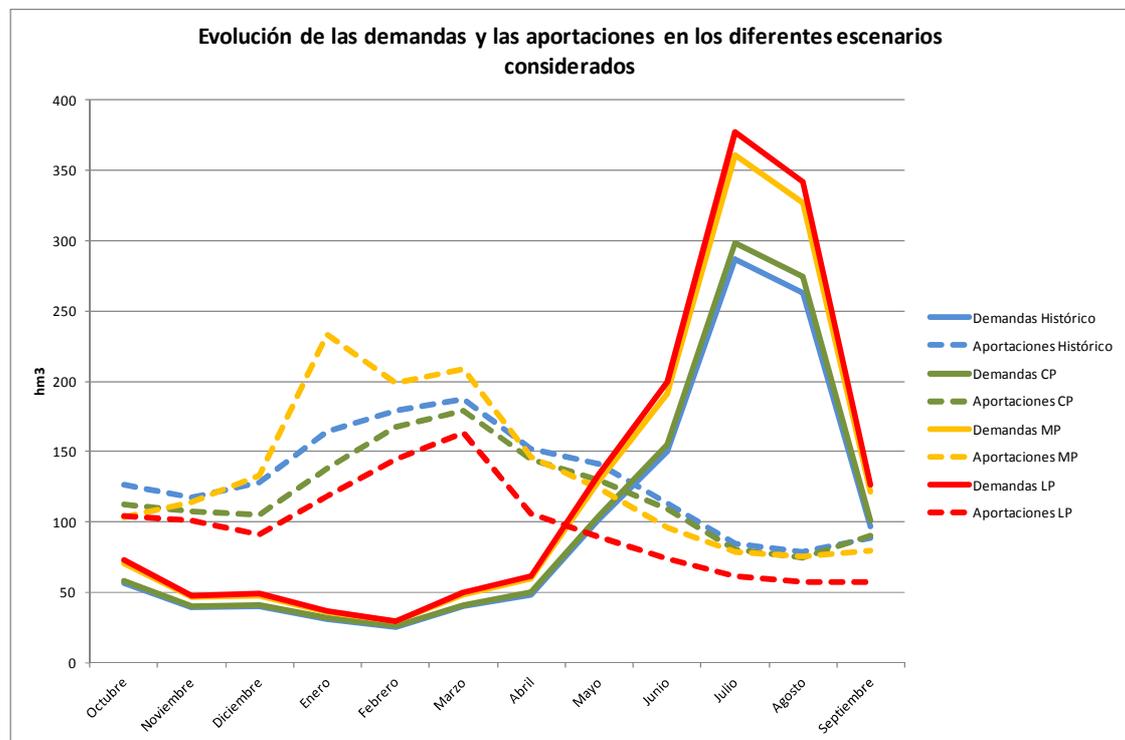


Figura 115: Evolución de las demandas y las aportaciones en los diferentes escenarios considerados.

5.6.3 Resultados del modelo de gestión de recursos hídricos

5.6.3.1 Introducción

A continuación se presentan los resultados del modelo de simulación de gestión de recursos hídricos SIMGES de Aquatool.

Para cada uno de los escenarios, y como muestra del estado del sistema se presentará una tabla con las garantías de las demandas, un gráfico con los déficits anuales totales del sistema, otro gráfico con el volumen embalsado en los tres principales embalses (Alarcón, Contreras y Tous), y un último gráfico con los volúmenes anuales turbinados en las tres centrales hidroeléctricas consideradas (Millares, Cortes II y Cofrentes) para toda la serie de 60 años sobre la que se ha realizado la simulación.

5.6.3.2 Escenario histórico

Demanda	Tipo de demanda	Fallos Mensuales	Garantía Mensual	Fallos Anuales	Garantía Anual	Garantía Volumétrica	Crit. IPH08 Urbano	Crit. IPH08 Agrícola
Valencia	Urbana	0	100.00%	0	100.00%	100.00%	CUMPLE	CUMPLE
Sagunto	Urbana	0	100.00%	0	100.00%	100.00%	CUMPLE	CUMPLE
Albacete	Urbana	1	99.90%	1	98.30%	99.90%	NO	CUMPLE
Marina Baja ATS	Urbana	2	99.70%	1	98.30%	99.90%	NO	CUMPLE
CN Cofrentes	Industrial	0	100.00%	0	100.00%	100.00%	CUMPLE	CUMPLE
Ac. Real y de Antella	Agrícola	120	83.30%	1	98.30%	99.30%	NO	CUMPLE
Escalona y Carcagente	Agrícola	24	96.70%	2	96.70%	99.00%	NO	NO
Sueca	Agrícola	24	96.70%	2	96.70%	98.80%	NO	NO
Cuatro Pueblos	Agrícola	24	96.70%	2	96.70%	98.80%	NO	NO
Cullera	Agrícola	24	96.70%	2	96.70%	98.80%	NO	NO
Canal Júcar Turia	Agrícola	18	97.50%	2	96.70%	98.10%	NO	NO
Sustitución Mancha	Agrícola	192	73.30%	2	96.70%	98.50%	NO	NO
Zona Albacete	Agrícola	0	100.00%	0	100.00%	100.00%	CUMPLE	CUMPLE
Arroz Ac Real	Agrícola	123	82.90%	1	98.30%	99.20%	NO	CUMPLE
Arroz Sueca	Agrícola	24	96.70%	2	96.70%	99.00%	NO	CUMPLE
Arroz Cullera	Agrícola	24	96.70%	2	96.70%	99.00%	NO	CUMPLE
Arroz Cuatro Pueblos	Agrícola	24	96.70%	2	96.70%	99.00%	NO	CUMPLE

Tabla 42: Resumen de las garantías para el suministro de las demandas en el escenario histórico.

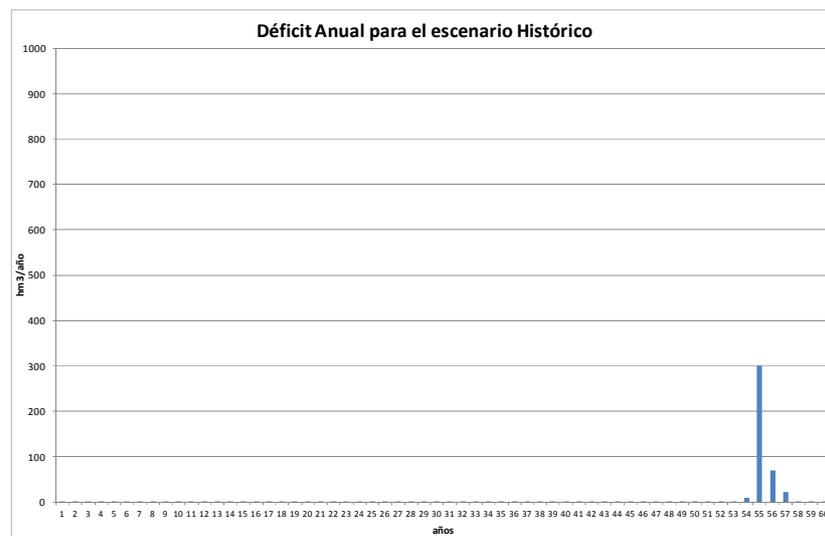


Figura 116: Déficit anuales totales para el escenario histórico.

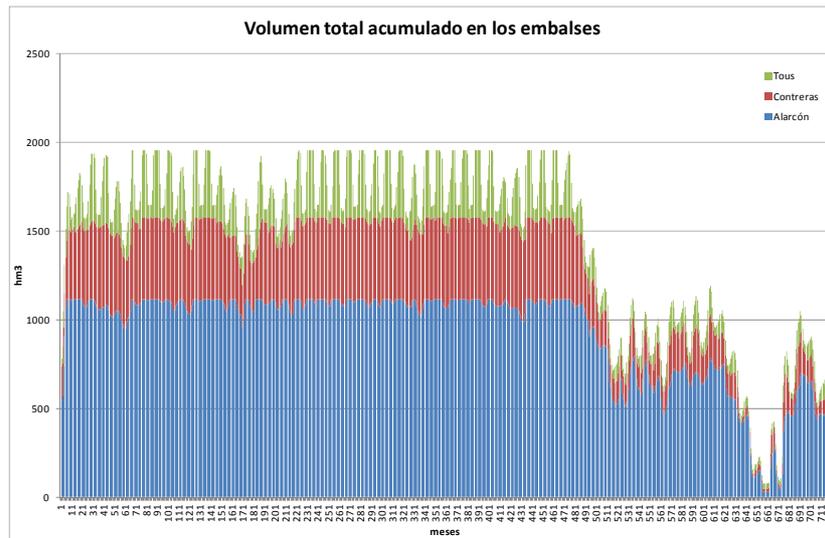


Figura 117: Volumen embalsado para el escenario histórico.

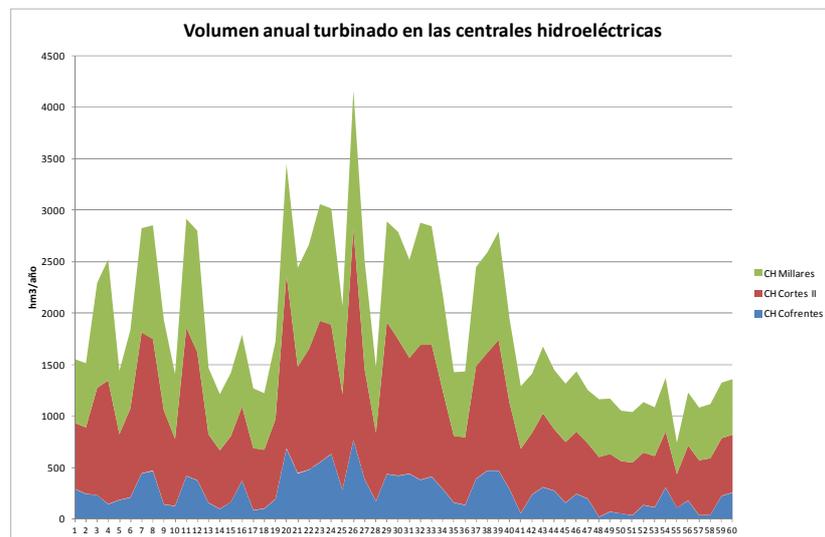


Figura 118: Volumen anual turbinado en las centrales hidroeléctricas para el escenario histórico.

5.6.3.3 Escenario de Corto Plazo (2011 – 2040)

Demanda	Tipo de demanda	Fallos Mensuales	Garantía Mensual	Fallos Anuales	Garantía Anual	Garantía Volumétrica	Crit. IPH08 Urbano	Crit. IPH08 Agrícola
Valencia	Urbana	2	99.70%	0	100.00%	100.00%	CUMPLE	CUMPLE
Sagunto	Urbana	2	99.70%	0	100.00%	100.00%	CUMPLE	CUMPLE
Albacete	Urbana	15	97.90%	7	88.30%	98.20%	NO	NO
Marina Baja ATS	Urbana	22	96.90%	7	88.30%	97.30%	NO	NO
CN Cofrentes	Industrial	3	99.60%	2	96.70%	99.70%	NO	CUMPLE
Ac. Real y de Antella	Agrícola	129	82.10%	7	88.30%	95.80%	NO	NO
Escalona y Carcagente	Agrícola	210	70.80%	8	86.70%	94.40%	NO	NO
Sueca	Agrícola	115	84.00%	6	90.00%	94.00%	NO	NO
Cuatro Pueblos	Agrícola	115	84.00%	6	90.00%	93.90%	NO	NO
Cullera	Agrícola	115	84.00%	6	90.00%	93.90%	NO	NO
Canal Júcar Turia	Agrícola	82	88.60%	10	83.30%	90.70%	NO	NO
Sustitución Mancha	Agrícola	77	89.30%	8	86.70%	91.50%	NO	NO
Zona Albacete	Agrícola	0	100.00%	0	100.00%	100.00%	CUMPLE	CUMPLE
Arroz Ac Real	Agrícola	130	81.90%	7	88.30%	95.40%	NO	NO
Arroz Sueca	Agrícola	115	84.00%	6	90.00%	94.70%	NO	NO
Arroz Cullera	Agrícola	115	84.00%	6	90.00%	94.70%	NO	NO
Arroz Cuatro Pueblos	Agrícola	115	84.00%	6	90.00%	94.70%	NO	NO

Tabla 43: Resumen de las garantías para el suministro de las demandas en el escenario de Corto Plazo.

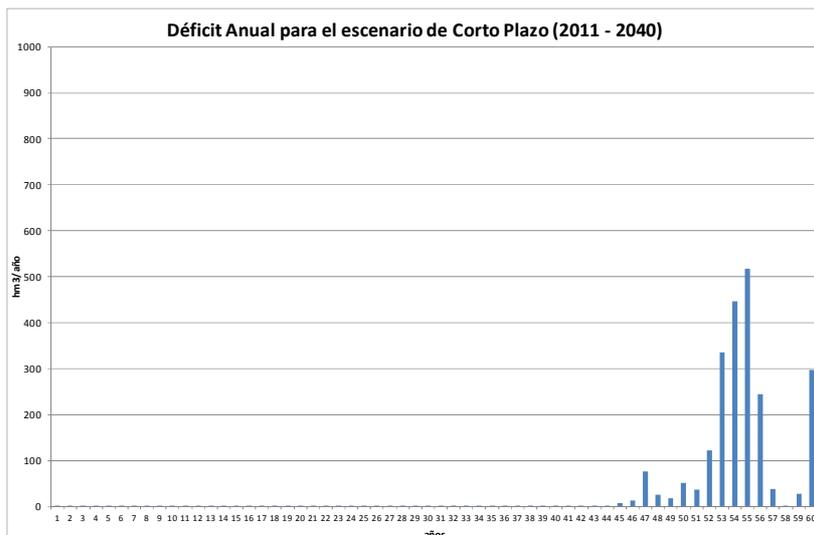


Figura 119: Déficits anuales totales para el escenario de Corto Plazo.

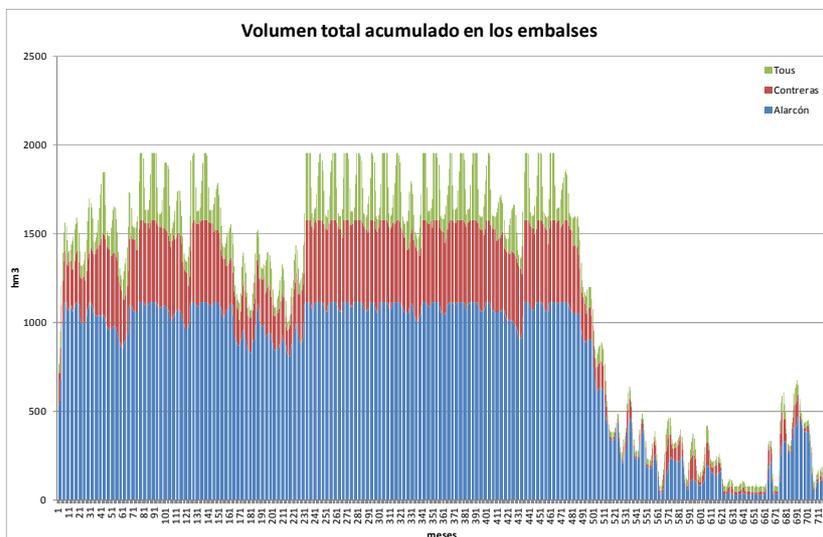


Figura 120: Volumen embalsado para el escenario de Corto Plazo.

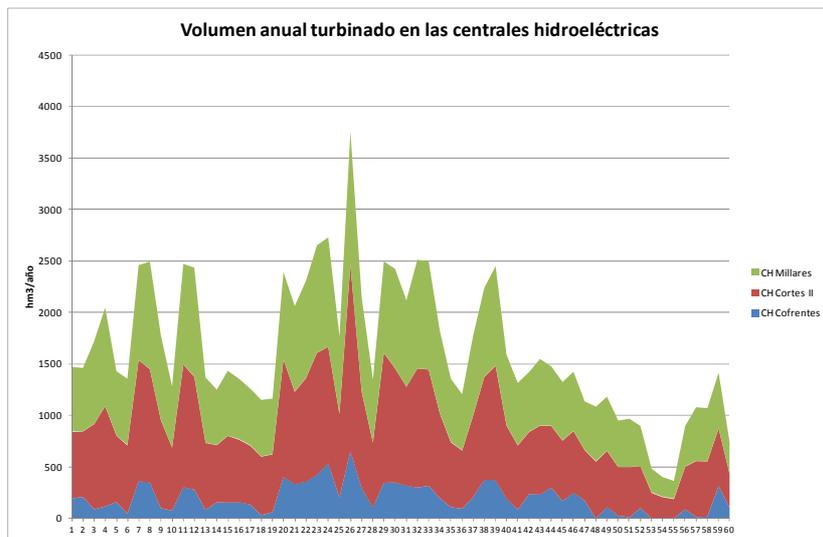


Figura 121: Volumen anual turbinado en las centrales hidroeléctricas para el escenario de Corto Plazo.

5.6.3.4 Escenario de Medio Plazo (2041 – 2070)

Demanda	Tipo de demanda	Fallos Mensuales	Garantía Mensual	Fallos Anuales	Garantía Anual	Garantía Volumétrica	Crit. IPH08 Urbano	Crit. IPH08 Agrícola
Valencia	Urbana	14	98.10%	3	95.00%	99.40%	NO	NO
Sagunto	Urbana	12	98.30%	3	95.00%	99.50%	NO	NO
Albacete	Urbana	18	97.50%	12	80.00%	97.90%	NO	NO
Marina Baja ATS	Urbana	26	96.40%	13	78.30%	96.70%	NO	NO
CN Cofrentes	Industrial	22	96.90%	9	85.00%	97.60%	NO	NO
Ac. Real y de Antella	Agrícola	239	66.80%	12	80.00%	93.40%	NO	NO
Escalona y Carcagente	Agrícola	177	75.40%	13	78.30%	91.90%	NO	NO
Sueca	Agrícola	132	81.70%	13	78.30%	91.70%	NO	NO
Cuatro Pueblos	Agrícola	132	81.70%	13	78.30%	91.60%	NO	NO
Cullera	Agrícola	132	81.70%	13	78.30%	91.60%	NO	NO
Canal Júcar Turia	Agrícola	98	86.40%	17	71.70%	86.30%	NO	NO
Sustitución Mancha	Agrícola	89	87.60%	16	73.30%	88.10%	NO	NO
Zona Albacete	Agrícola	0	100.00%	0	100.00%	100.00%	CUMPLE	CUMPLE
Arroz Ac Real	Agrícola	203	71.80%	12	80.00%	92.90%	NO	NO
Arroz Sueca	Agrícola	132	81.70%	13	78.30%	92.70%	NO	NO
Arroz Cullera	Agrícola	132	81.70%	13	78.30%	92.70%	NO	NO
Arroz Cuatro Pueblos	Agrícola	132	81.70%	13	78.30%	92.70%	NO	NO

Tabla 44: Resumen de las garantías para el suministro de las demandas en el escenario de Medio Plazo.

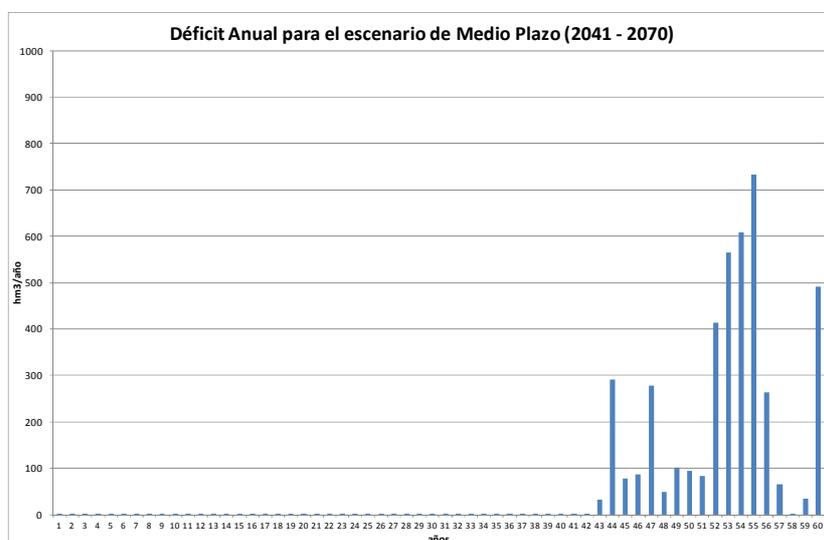


Figura 122: Déficits anuales totales para el escenario de Medio Plazo.

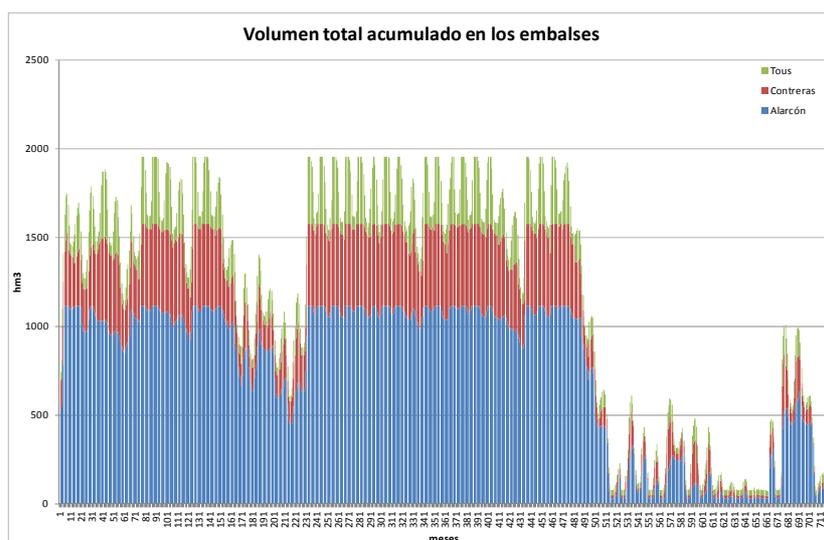


Figura 123: Volumen embalsado para el escenario de Medio Plazo.

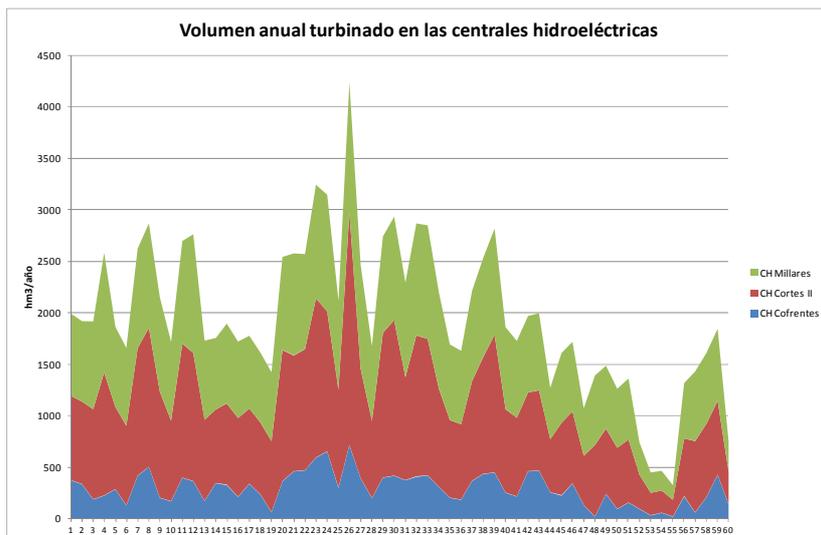


Figura 124: Volumen anual turbinado en las centrales hidroeléctricas para el escenario de Medio Plazo.

5.6.3.5 Escenario de Largo Plazo (2071 – 2100)

Demanda	Tipo de demanda	Fallos Mensuales	Garantía Mensual	Fallos Anuales	Garantía Anual	Garantía Volumétrica	Crit. IPH08 Urbano	Crit. IPH08 Agrícola
Valencia	Urbana	51	92.90%	10	83.30%	98.00%	NO	NO
Sagunto	Urbana	41	94.30%	8	86.70%	98.70%	NO	NO
Albacete	Urbana	102	85.80%	28	53.30%	87.00%	NO	NO
Marina Baja ATS	Urbana	137	81.00%	32	46.70%	83.00%	NO	NO
CN Cofrentes	Industrial	73	89.90%	22	63.30%	91.10%	NO	NO
Ac. Real y de Antella	Agrícola	228	68.30%	32	46.70%	73.50%	NO	NO
Escalona y Carcagente	Agrícola	433	39.90%	33	45.00%	69.70%	NO	NO
Sueca	Agrícola	378	47.50%	33	45.00%	68.10%	NO	NO
Cuatro Pueblos	Agrícola	378	47.50%	33	45.00%	67.80%	NO	NO
Cullera	Agrícola	378	47.50%	34	43.30%	67.50%	NO	NO
Canal Júcar Turia	Agrícola	279	61.20%	35	41.70%	55.80%	NO	NO
Sustitución Mancha	Agrícola	272	62.20%	34	43.30%	61.60%	NO	NO
Zona Albacete	Agrícola	0	100.00%	0	100.00%	100.00%	CUMPLE	CUMPLE
Arroz Ac Real	Agrícola	256	64.40%	32	46.70%	72.60%	NO	NO
Arroz Sueca	Agrícola	378	47.50%	34	43.30%	72.90%	NO	NO
Arroz Cullera	Agrícola	378	47.50%	34	43.30%	72.80%	NO	NO
Arroz Cuatro Pueblos	Agrícola	378	47.50%	34	43.30%	72.90%	NO	NO

Tabla 45: Resumen de las garantías para el suministro de las demandas en el escenario de Largo Plazo.

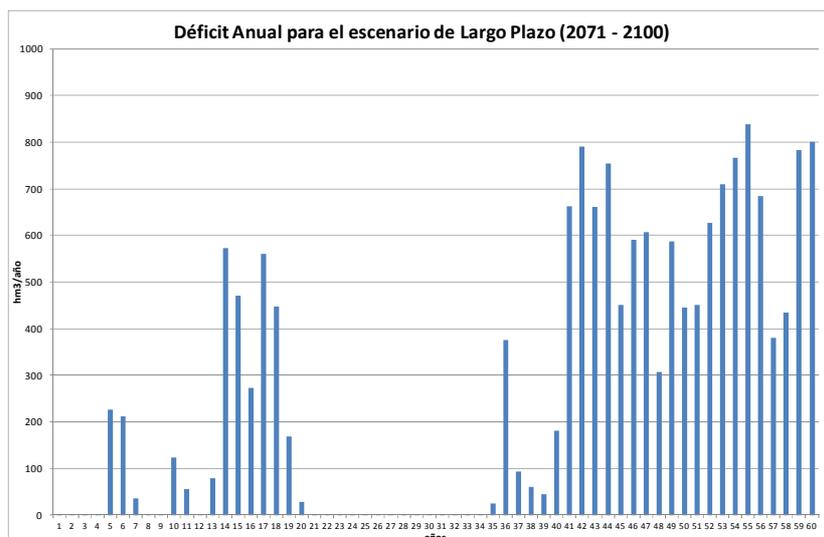


Figura 125: Déficit anuales totales para el escenario de Largo Plazo.

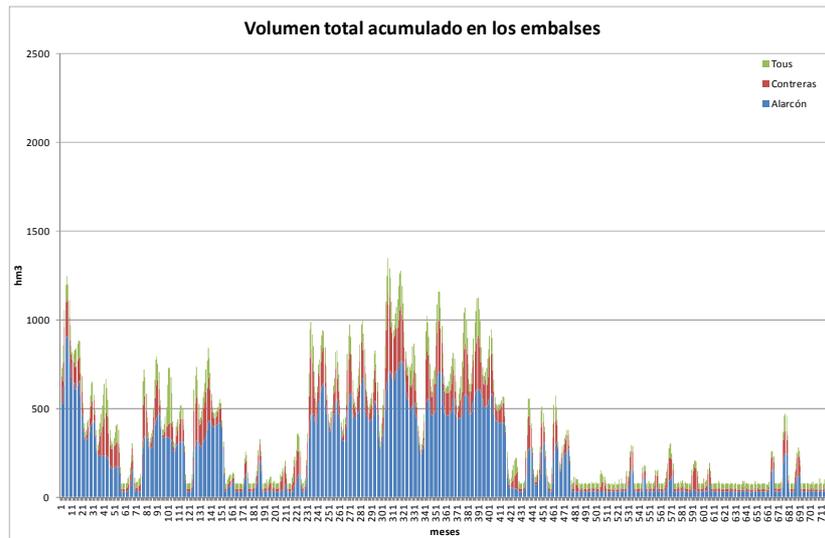


Figura 126: Volumen embalsado para el escenario de Largo Plazo.

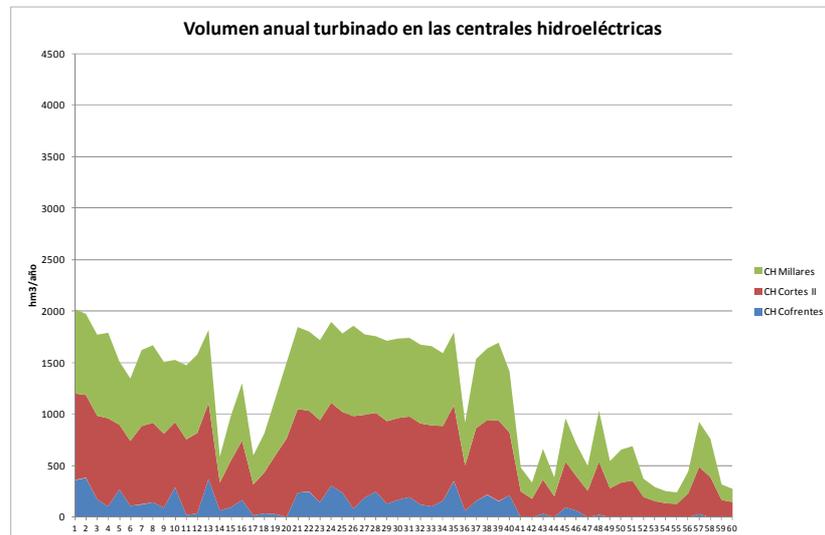


Figura 127: Volumen anual turbinado en las centrales hidroeléctricas para el escenario de Largo Plazo.

5.6.3.6 Comparación de resultados

En la siguiente tabla se presentan las garantías mensuales, anuales y volumétricas para todas las demandas y para los cuatro escenarios considerados:

Demanda	Escenario Histórico			Escenario Corto Plazo (2011-2040)			Escenario Medio Plazo (2041-2070)			Escenario Largo Plazo (2071-2100)		
	Garantía Mensual	Garantía Anual	Garantía Volumétrica	Garantía Mensual	Garantía Anual	Garantía Volumétrica	Garantía Mensual	Garantía Anual	Garantía Volumétrica	Garantía Mensual	Garantía Anual	Garantía Volumétrica
Valencia	100.00%	100.00%	100.00%	99.70%	100.00%	100.00%	98.10%	95.00%	99.40%	92.90%	83.30%	98.00%
Sagunto	100.00%	100.00%	100.00%	99.70%	100.00%	100.00%	98.30%	95.00%	99.50%	94.30%	86.70%	98.70%
Albacete	99.90%	98.30%	99.90%	97.90%	88.30%	98.20%	97.50%	80.00%	97.90%	85.80%	53.30%	87.00%
Marina Baja ATS	99.70%	98.30%	99.90%	96.90%	88.30%	97.30%	96.40%	78.30%	96.70%	81.00%	46.70%	83.00%
CN Cofrentes	100.00%	100.00%	100.00%	99.60%	96.70%	99.70%	96.90%	85.00%	97.60%	89.90%	63.30%	91.10%
Ac. Real y de Antella	83.30%	98.30%	99.30%	82.10%	88.30%	95.80%	66.80%	80.00%	93.40%	68.30%	46.70%	73.50%
Escalona y Carcagente	96.70%	96.70%	99.00%	70.80%	86.70%	94.40%	75.40%	78.30%	91.90%	39.90%	45.00%	69.70%
Sueca	96.70%	96.70%	98.80%	84.00%	90.00%	94.00%	81.70%	78.30%	91.70%	47.50%	45.00%	68.10%
Cuatro Pueblos	96.70%	96.70%	98.80%	84.00%	90.00%	93.90%	81.70%	78.30%	91.60%	47.50%	45.00%	67.80%
Cullera	96.70%	96.70%	98.80%	84.00%	90.00%	93.90%	81.70%	78.30%	91.60%	47.50%	43.30%	67.50%
Canal Júcar Turia	97.50%	96.70%	98.10%	88.60%	83.30%	90.70%	86.40%	71.70%	86.30%	61.20%	41.70%	55.80%
Sustitución Mancha	73.30%	96.70%	98.50%	89.30%	86.70%	91.50%	87.60%	73.30%	88.10%	62.20%	43.30%	61.60%
Zona Albacete	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Arroz Ac Real	82.90%	98.30%	99.20%	81.90%	88.30%	95.40%	71.80%	80.00%	92.90%	64.40%	46.70%	72.60%
Arroz Sueca	96.70%	96.70%	99.00%	84.00%	90.00%	94.70%	81.70%	78.30%	92.70%	47.50%	43.30%	72.90%
Arroz Cullera	96.70%	96.70%	99.00%	84.00%	90.00%	94.70%	81.70%	78.30%	92.70%	47.50%	43.30%	72.80%
Arroz Cuatro Pueblos	96.70%	96.70%	99.00%	84.00%	90.00%	94.70%	81.70%	78.30%	92.70%	47.50%	43.30%	72.90%

Tabla 46: Comparación de las garantías obtenidas para las demandas en cada uno de los escenarios planteados.

En los siguientes gráficos se presentan la comparación de los totales anuales de déficits, volúmenes embalsados en los tres embalses principales y volúmenes anuales turbinados en las tres centrales hidroeléctricas consideradas.

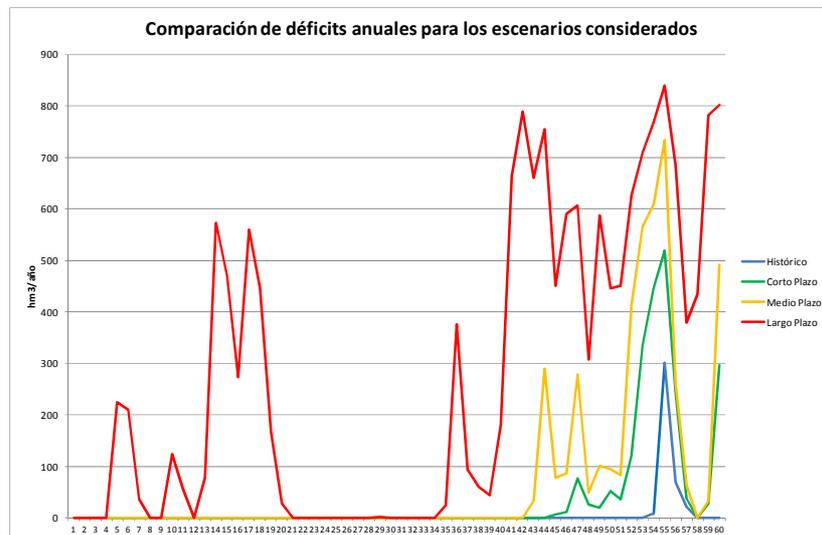


Figura 128: Comparación de déficits anuales para los escenarios considerados.

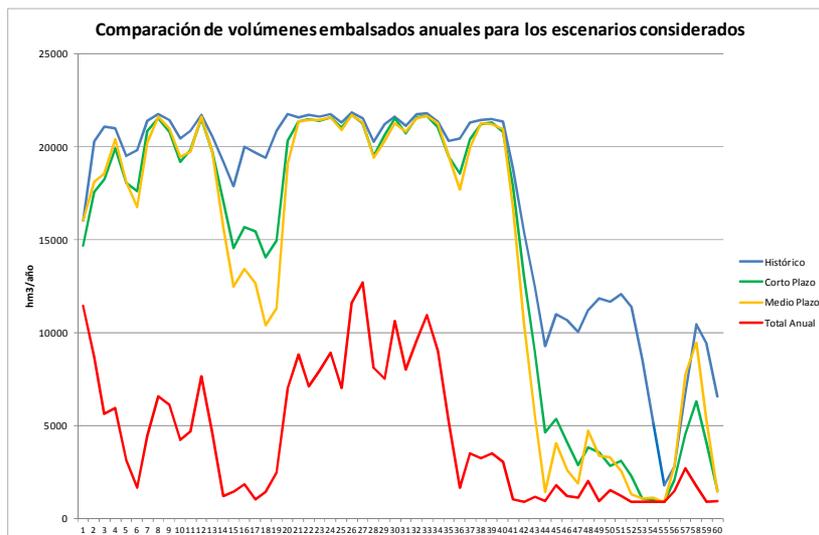


Figura 129: Comparación de volúmenes anuales embalsados para los escenarios considerados.

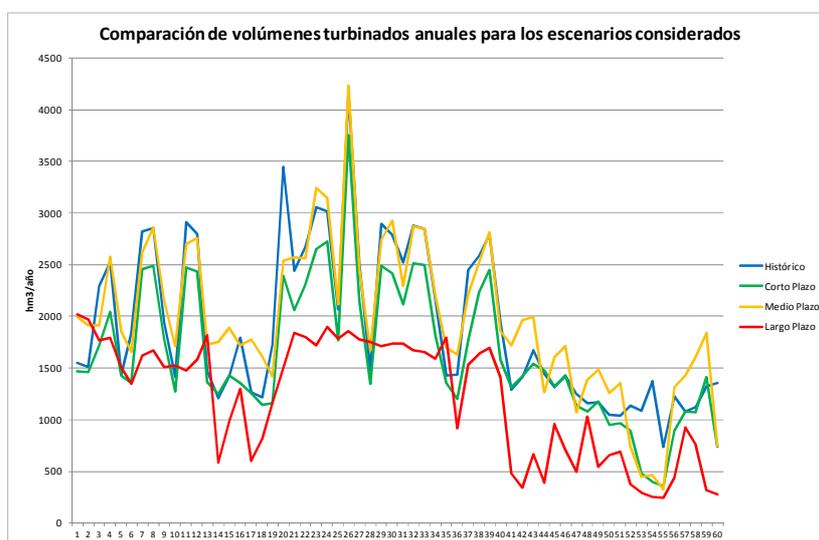


Figura 130: Comparación de volúmenes anuales turbinados para los escenarios considerados.

5.6.3.7 Conclusiones

Se observa claramente en los resultados que las garantías en las demandas disminuyen progresivamente en los escenarios de corto, medio y largo plazo respecto al escenario histórico (existiendo un salto importante entre el medio plazo y el largo plazo en que parte de las garantías mensuales pasan de estar entre el 75%-80% a estar entre el 40%-50%), mientras que los déficits tienen el sentido inverso, aumentan de un modo muy importante en cada paso entre los escenarios histórico, de corto plazo, de medio plazo y de largo plazo.

De un modo similar se comportan los almacenamientos en los embalses, en los que se acusa especialmente la disminución de volumen el paso de la consideración del escenario de Medio Plazo al Largo Plazo.

Y ya para concluir, señalar que los volúmenes turbinados en las centrales hidroeléctricas también tienen una disminución progresiva, aunque en este caso en el escenario de Medio Plazo los volúmenes turbinados son mayores que en el escenario de Corto Plazo, ya que como se comentó en apartados anteriores, las aportaciones en este escenario se incrementan sobretodo en los meses de invierno. Finalmente, la reducción del volumen turbinado en el escenario del Largo Plazo es muy acusado.

5.7 Análisis hidroeconómico

5.7.1 Introducción

Una vez obtenidos los resultados del modelo de simulación de la gestión de los recursos hídricos, el siguiente paso es realizar un análisis hidroeconómico de los escenarios planteados.

La obtención de las funciones económicas (o curvas de demanda en el caso de los usos del agua) es una tarea compleja, que casi siempre admite mayor refinamiento (Collazos, 2004).

En los siguientes epígrafes se pasa a describir los procedimientos empleados para estimar las funciones económicas más relevantes del sistema de explotación Júcar, para posteriormente realizar un análisis hidroeconómico a partir de los déficits, evaluando los costes de escasez asociados a estos déficits para cada uno de los escenarios.

5.7.2 Obtención de las funciones económicas de demanda

5.7.2.1 Funciones económicas de demanda para los usos urbanos

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.

El único estudio que se conoce sobre demanda urbana en la Cuenca Hidrográfica del Júcar es el de Gacía 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 Valenciana 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 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. Se parte 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:

$$Q = c \cdot P^{-\eta}$$

siendo c un factor de escala, $c > 0$, y η la elasticidad-precio de la demanda, $\eta < 0$. Conociendo un par (q_1, p_1) y la elasticidad-precio η 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 la ecuación siguiente:

$$c = q_1 \cdot p_1^{-\eta}$$

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. De todos modos y para evitar que la integral bajo la curva sea infinita, se ha tomado que la disposición máxima a pagar es de 6 €/m³ para los suministros de Valencia, Albacete y Sagunto, y un 30% superior en la Marina Baja.

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.

Con todo esto se obtienen las curvas de demanda urbanas para los distintos escenarios, únicamente variando en los datos de entrada las demandas máximas en cada uno de los escenarios.

En las siguientes figuras se presentan los ajustes de las funciones económicas para cada uno de los escenarios planteados:

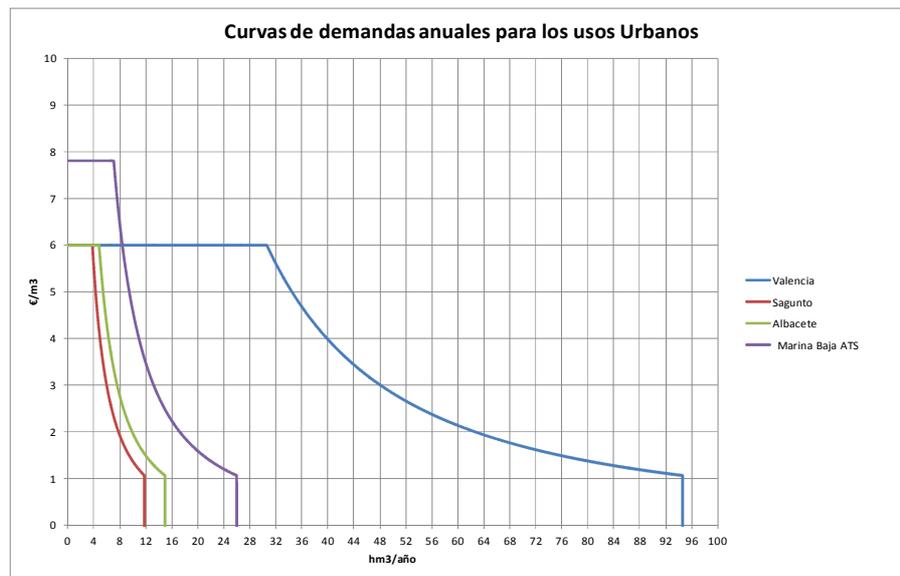


Figura 131: Curva de demanda para los usos urbanos para el escenario histórico.

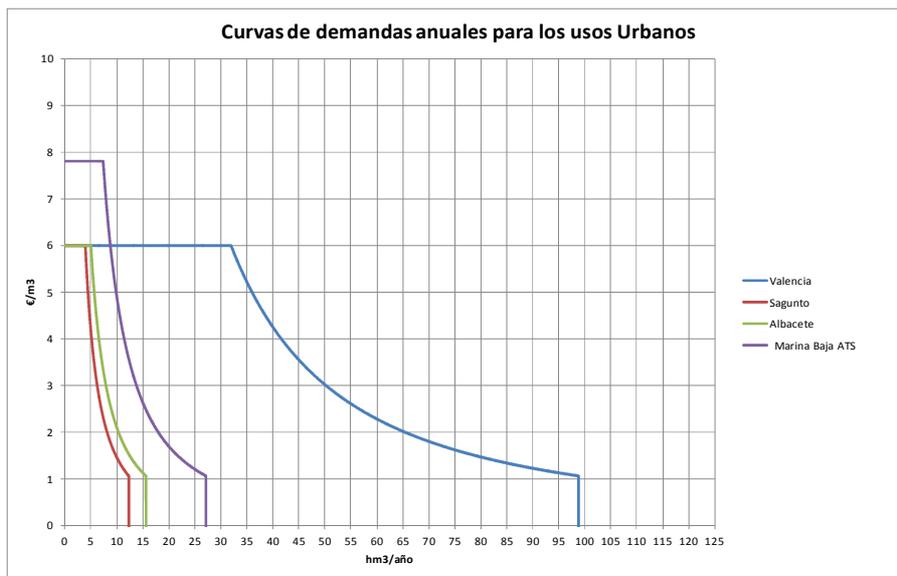


Figura 132: curva de demanda para los usos urbanos el escenario de Corto Plazo.

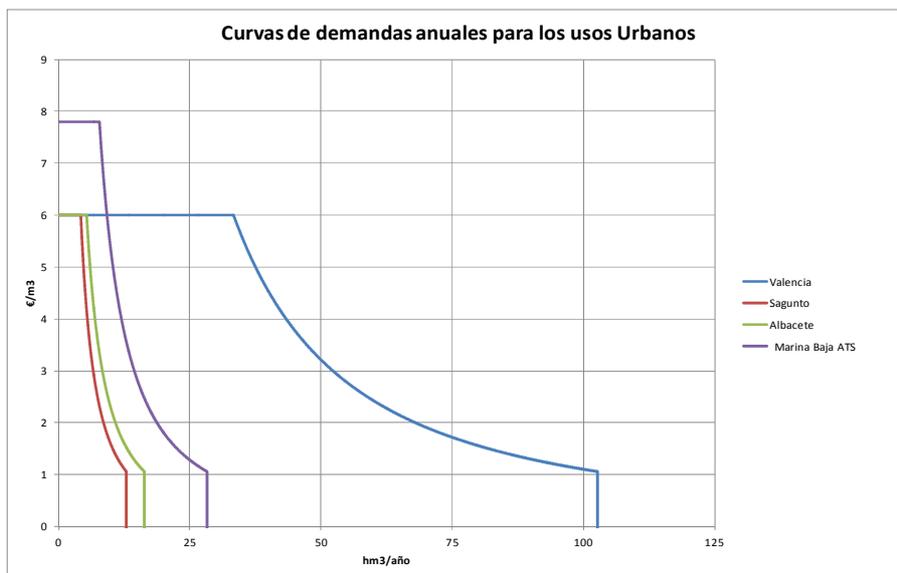


Figura 133: Curva de demanda para los usos urbanos en los escenarios de Medio y Largo Plazo¹⁰.

5.7.2.2 Funciones económicas de demanda para los usos agrícolas

5.7.2.2.1 Introducción

Las principales zonas agrícolas definidas en el sistema de explotación se encuentran en la Mancha Oriental y aguas abajo del embalse de Tous, donde se concentran las unidades de demanda del Canal Jucar-Turia, Acequia Real y Antella, Escalona y Carcagente, Sueca, Cullera y Cuatro Pueblos.

¹⁰ Se ha considerado que la demanda urbana a medio y largo plazo no varía, por lo que tampoco variarán las funciones económicas de demanda.

Así pues, se pasa a continuación a describir las funciones económicas estimadas para cada una de estas zonas.

5.7.2.2.2 Regadíos de la Mancha Oriental

La unidad de demanda de la Mancha Oriental tiene una dotación de 384,95 hm³ anuales más los 27,10 hm³ que en la actualidad se riegan con la sustitución de bombeos (DTR, 2009), y se caracteriza por cultivos variables con ciclos estacionales, como muestra la siguiente tabla, 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 47: Ciclo de cultivos para la Mancha Oriental.

Otra característica fundamental es la procedencia de los recursos hídricos, cuyo origen es subterráneo (excepto en la sustitución de bombeos) 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.

La variedad de los cultivos y la posibilidad de cambio entre ellos hacen que al encarecimiento del 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 (MIMAM. 2004).

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.

En las siguientes figuras se presentan las funciones económicas de demanda para los regadíos de la Mancha Oriental para los distintos escenarios planteados:

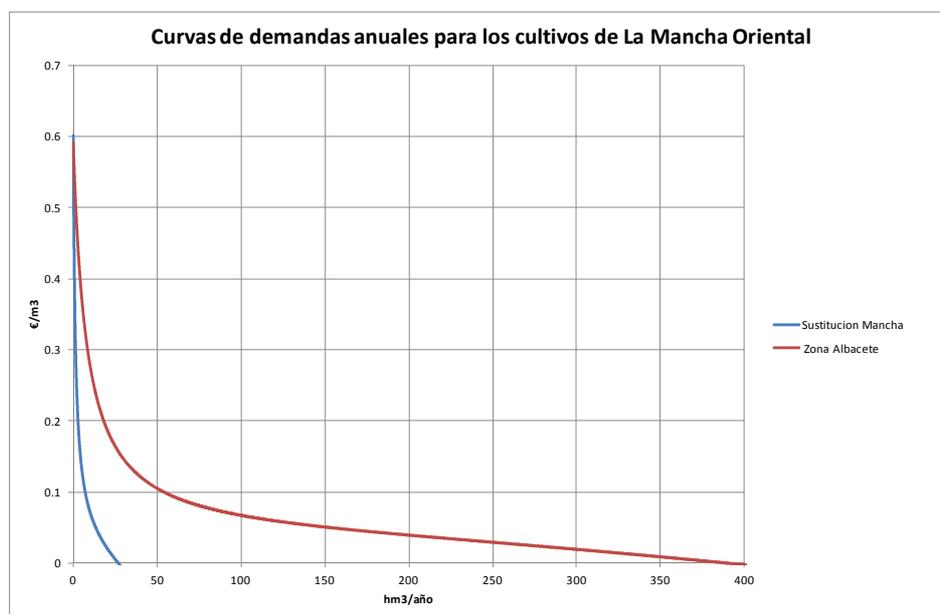


Figura 134: Curvas de demanda para la Mancha Oriental para el escenario histórico.

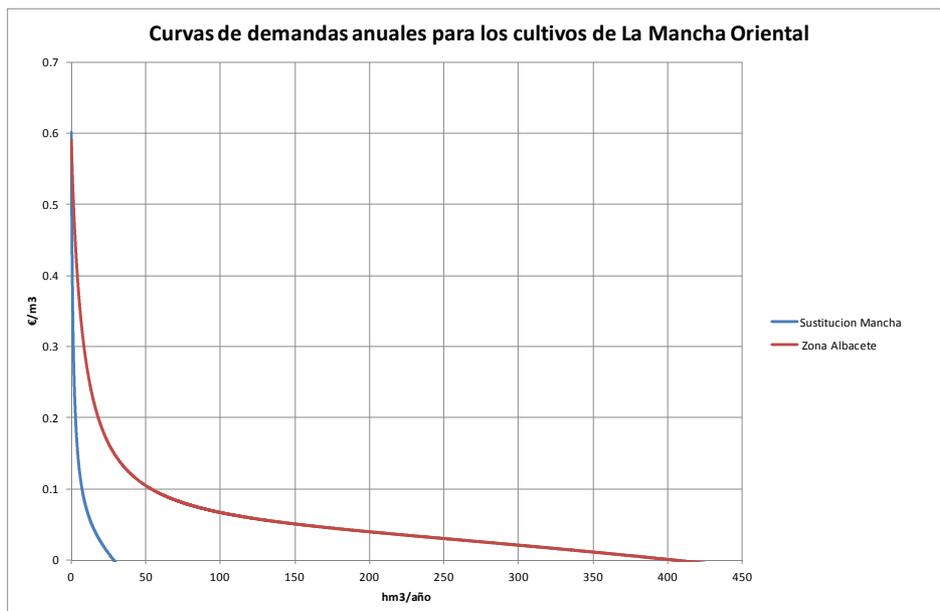


Figura 135: Curvas de demanda para la Mancha Oriental para el escenario de Corto Plazo.

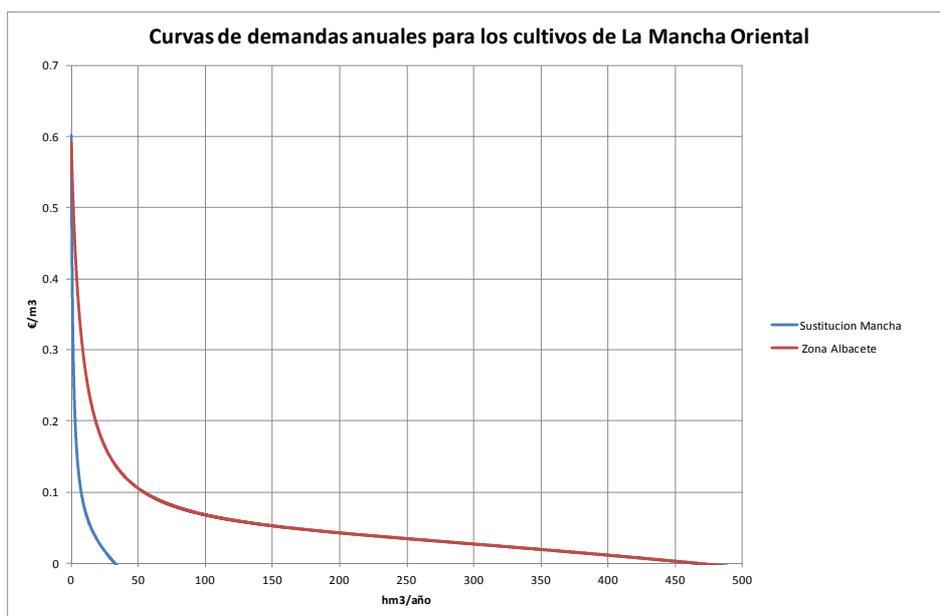


Figura 136: Curvas de demanda para la Mancha Oriental para el escenario de Medio Plazo.

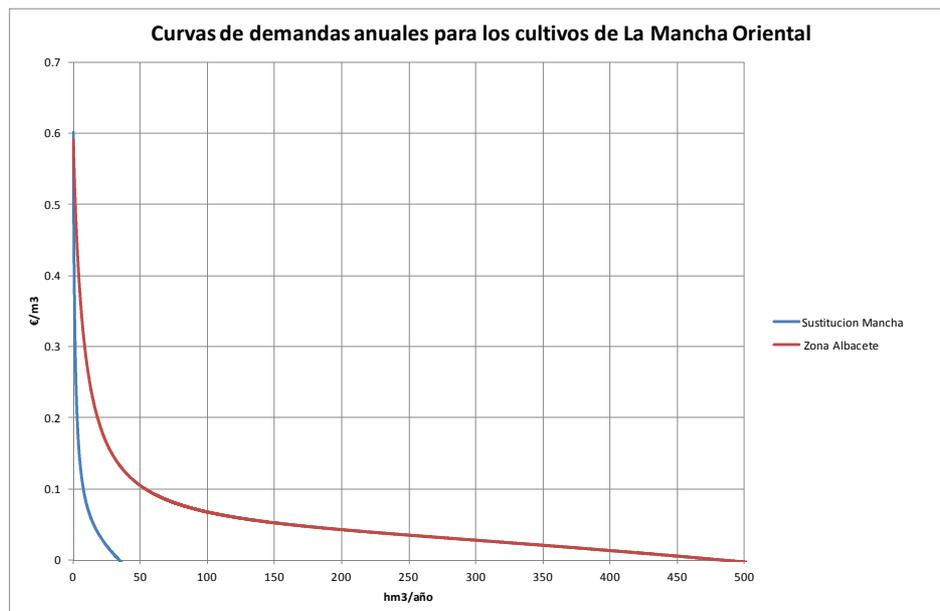


Figura 137: Curvas de demanda para la Mancha Oriental para el escenario de Largo Plazo.

5.7.2.2.3 Regadíos de la Ribera del Júcar

En la Ribera del Júcar se tienen fundamentalmente tres tipos de cultivo: los cítricos, el arroz, y en menor extensión la huerta.

En los esquemas de demanda del modelo de gestión de recursos hídricos únicamente se ha diferenciado entre zonas con cultivos de arroz y cultivos de cítricos — incluyéndose en esta última categoría las pequeñas superficies de cultivos de huerta—.

La estimación de la disposición de pago se basa en el estudio de Sumpsi (Sumpsi Viñas et al., 1998), en la información contenida en el PHN y en los resultados proporcionados por el MMA (MMA, 2005), que representan las más detalladas referencias sobre las curvas de demanda de agua para uso agrícola publicadas en España.

El análisis de las curvas de demanda considerada 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 suministro actual o sea para disposiciones de pago bajas. 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 individuado, para cada monocultivo, 2 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 andamio no asintótico de la curva de demanda con un valor de tarifa máxima de 1 € para los cultivos de cítricos-huerta y de 0,03 € para el arroz.

cultivo	subsidiado	1º punto [€/m³]	2º punto [€/m³]	punto final [€/m³]	observaciones
arroz	si	0,00	0,005	0,030	sin datos sólidos
cereales y oleaginosos	si	0,002	0,060	0,30	sin datos sólidos
cítricos	no	0,010	0,250	0,45	datos de Castellón (Sumpsi Viñas 1999)
hortalizas y otros	no	0,010	0,300	1,00	minorando datos de Almería

Tabla 48: Niveles de tarifas adoptados para la construcción de las curvas de demanda (Deidda, 2004)

Los valores del cuadro anterior representan la disposición de pago total (a pie de parcela) por parte de los agricultores e incluyen los costos de distribución y de aplicación del agua. Del detallado trabajo 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. Para representar la curva de demanda resultante se ha elegido un ajuste de tipo potencial de ecuación:

$$y = a + b \cdot x + c \cdot x^d$$

Las curvas que se obtienen para los cultivos de cítricos en los distintos escenarios planteados son las siguientes:

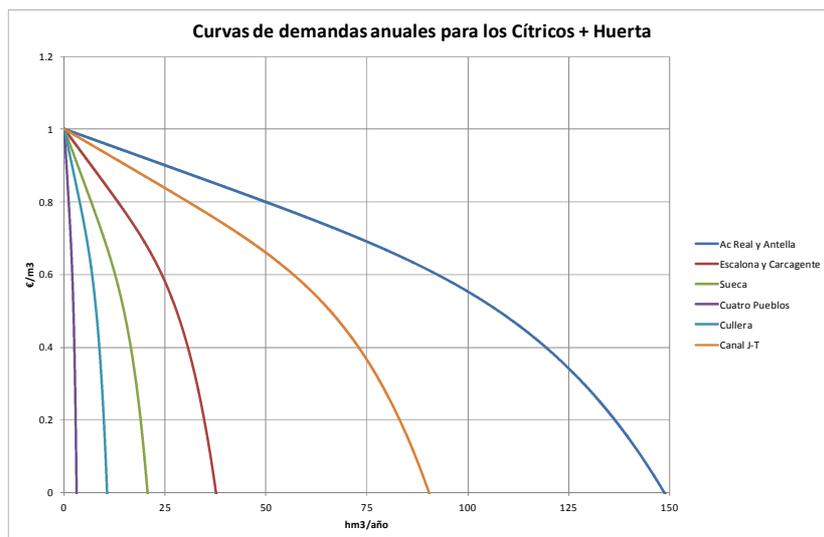


Figura 138: Curvas de demanda para los cultivos de cítricos en el escenario histórico.

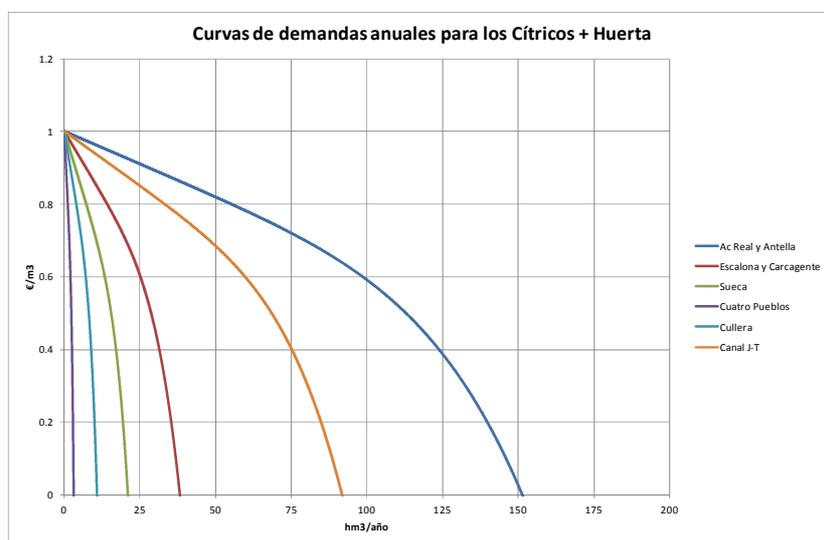


Figura 139: Curvas de demanda para los cultivos de cítricos en el escenario de Corto Plazo.

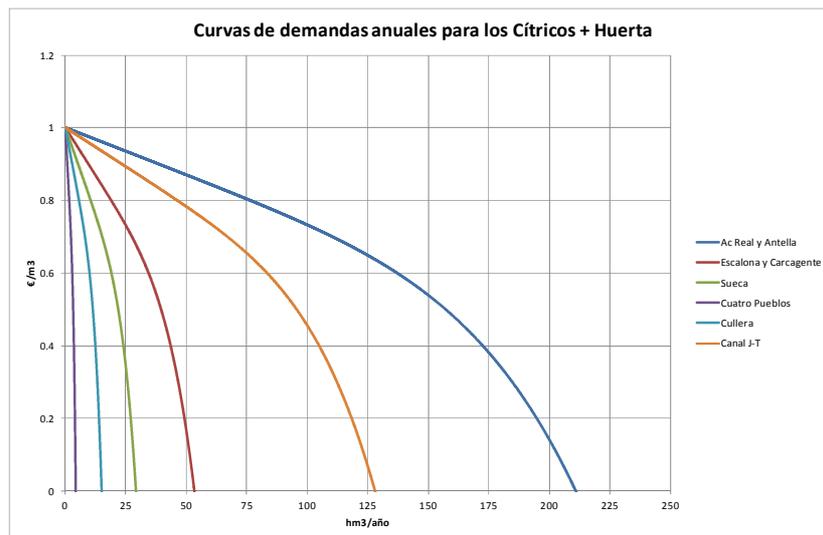


Figura 140: Curvas de demanda para los cultivos de cítricos en el escenario de Medio Plazo.

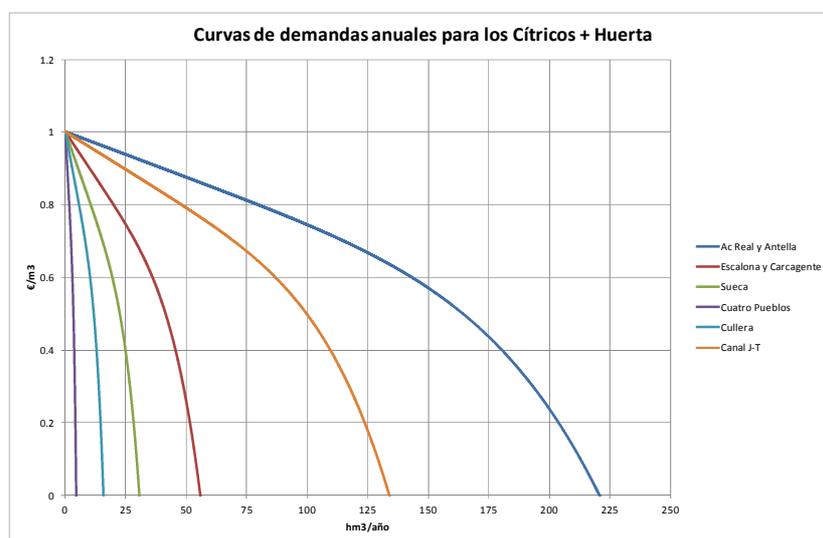


Figura 141: Curvas de demanda para los cultivos de cítricos en el escenario de Largo Plazo.

Los cultivos de arroz se caracterizan por una disposición de pago muy baja si comparada con los demás usos presentes en la cuenca, lo que supone una contribución marginal al excedente total de los usuarios. Se ha considerado oportuno aproximar la función económica de estos cultivos mediante un ajuste de tipo lineal de ecuación $y = a + bx$, cuyas curvas pasan por los puntos individuados en la tabla anterior, y se presentan a continuación para los diferentes escenarios planteados.



Figura 142: Curvas de demanda para los cultivos de arroz para el escenario histórico.

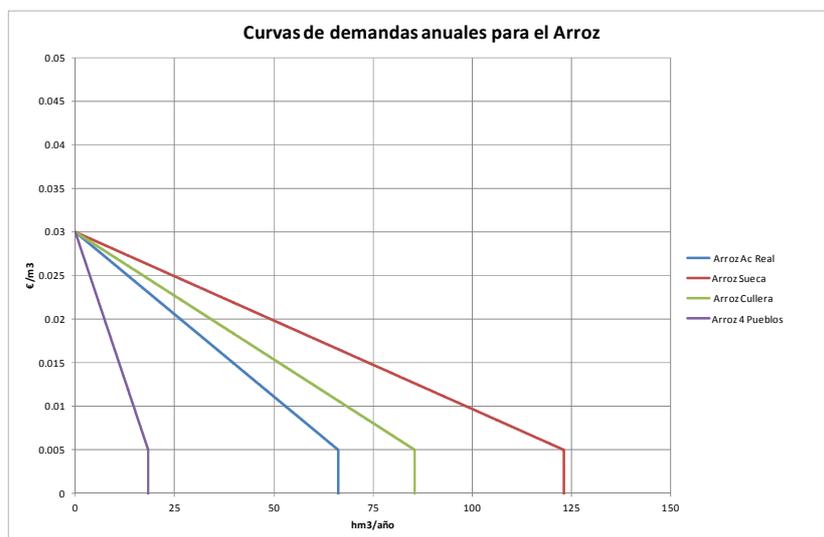


Figura 143: Curvas de demanda para los cultivos de arroz para el escenario de Corto Plazo.



Figura 144: Curvas de demanda para los cultivos de arroz para el escenario de Medio Plazo.



Figura 145: Curvas de demanda para los cultivos de arroz para el escenario de Largo Plazo.

5.7.2.3 Funciones económicas de demanda para los usos industriales

En el presente epígrafe se estimará las funciones económicas de demanda para los usos industriales, que en este caso son la demanda consuntiva de la central nuclear de Cofrentes y las demandas no consuntivas de las centrales hidroeléctricas.

Como se ha comentado en el apartado de la estimación de las demandas para los escenarios futuros, se considera que estas demandas serán constantes para todos los escenarios.

Por lo que se refiere al suministro de agua para la refrigeración de la central nuclear de Cofrentes, es imprescindible por su funcionamiento y para garantizar los elevados estándares de seguridad, lo que se refleja en el modelo de simulación al tener la demanda prioridad 1. Además, ya que la central está conectada a una red nacional de gran capacidad, no es capaz de condicionar singularmente el precio de la energía y se puede considerar una curva de demanda constante a lo largo del mes.

Para determinar el valor aproximado del agua se ha seguido esto procedimiento (Deidda, D., 2004):

- a. La central tiene una potencia de 1085 Mw y se supone una producción continuada a lo largo de todo el día, durante 27 días a mes, lo que suma una producción energética de 700 Gwh/mes.

- b. A un precio unitario del energía de 0,022€/Kw (fuente OMEL, se considera la media diaria de los precios de la energía a la producción en cuanto la central no trabaja sólo en hora de punta) se calcula una facturación de 15,4 millones de € mensuales.
- c. Asumiendo un beneficio neto para las empresas eléctricas del orden del 15%, i suponiendo que la disponibilidad de pago por el agua pueda alcanzar el 45% del beneficio neto, se obtiene un valor del recurso estimado en 1,155 millones de €/mes.
- d. Dividendo este valor por el suministro de agua a la central, que permanece constante a lo largo de la simulación debido a la prioridad asignada, resulta un valor unitario del recurso de aproximadamente 0,032 €/m³.

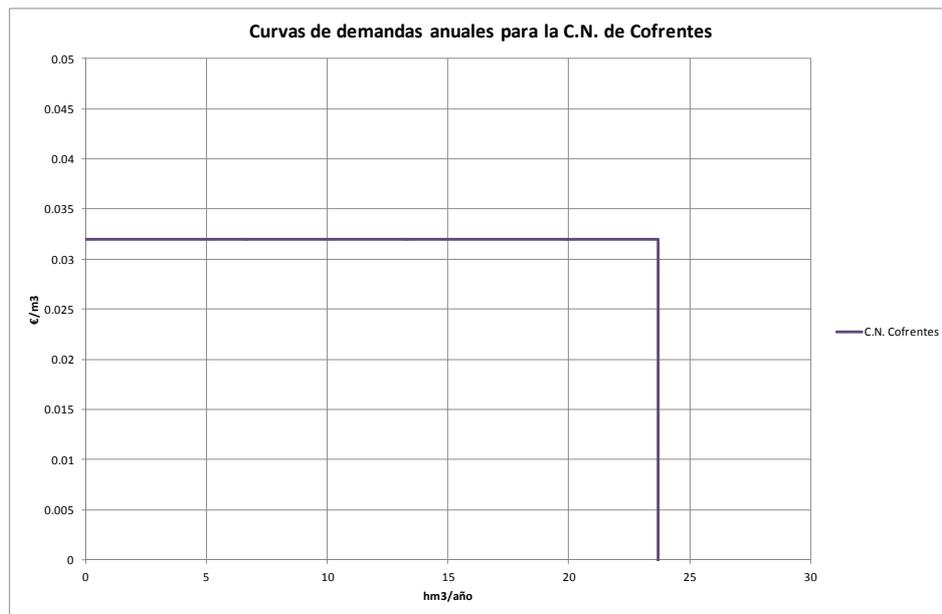


Figura 146: Curva de demanda para la C.N. de Cofrentes para todos los escenarios.

Por lo que se refiere a 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).

Se define una curva de demanda constante a lo largo del mes. La determinación del valor del recurso se realiza con el mismo procedimiento de la central nuclear,

considerando un precio medio unitario en del electricidad a la producción hora de punta de 0,042€/Kw en los meses de verano y de 0,032€/Kw durante el resto del año.

Manteniendo invariado el beneficio neto determinado en el apartado anterior y considerando los valores de producción de energía eléctrica en función del suministro de agua mensual ya presentes en el modelo (fuente Iberdrola), la disponibilidad de pago alcanza el valor de 0,025 €/m³ en los meses de verano y 0,019 €/m³ durante el resto del año. Se toma un valor promedio anual de 0,0205 €/m³ para todos los escenarios, tal como se muestra en la siguiente figura.

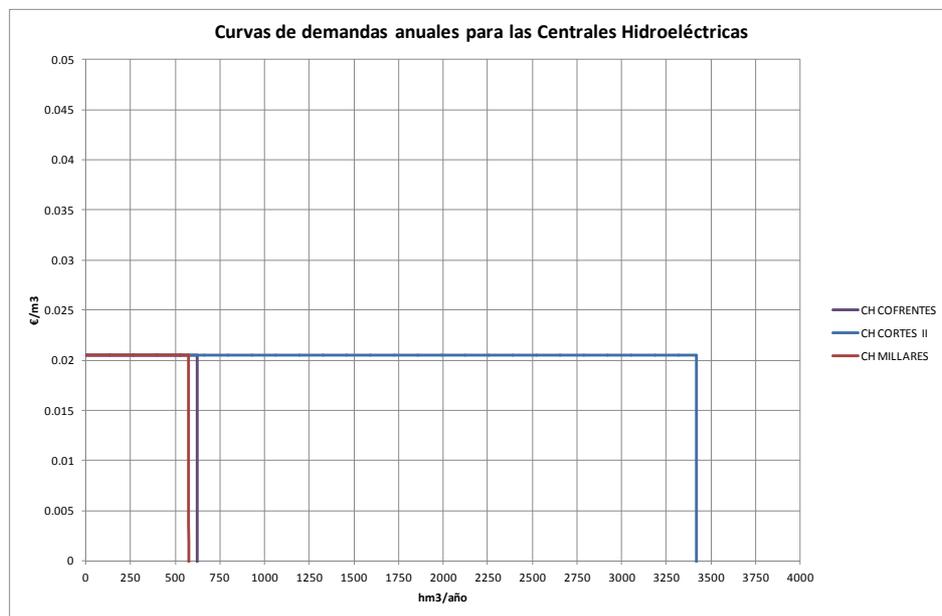


Figura 147: Curva de demanda anual para las centrales hidroeléctricas para todos los escenarios.

5.7.3 Resultados del modelo hidroeconómico

5.7.3.1 Introducción

En los siguientes epígrafes se muestran los resultados del modelo hidroeconómico para los diferentes escenarios y finalmente se presenta un apartado con el resumen de la comparación de los resultados.

En concreto se presentan los resultados promedios anuales del Coste de Escasez y del Beneficio Máximo para cada una de las demandas en la primera tabla, y en los gráficos siguientes el déficit total anual con su coste de escasez asociado y el gráfico con la representación del coste de escasez en función de la demanda.

5.7.3.2 Escenario histórico

ESCENARIO HISTÓRICO		
	Coste de Escasez Promedio Anual	Beneficio Anual
Valencia	- €	339,372,085.94 €
Sagunto	- €	42,440,005.09 €
Albacete	11,125.82 €	53,805,958.69 €
ATS Marina Baja	35,312.01 €	107,238,336.13 €
Cofrentes	- €	758,400.00 €
Ac Real y Antella	- €	95,035,874.54 €
Escalona y Carcagente	- €	24,471,228.02 €
Sueca	5,399.65 €	13,073,385.99 €
Cuatro Pueblos	14,235.74 €	2,002,624.97 €
Cullera	50,109.02 €	6,952,223.09 €
Canal J-T	794,270.29 €	58,085,426.41 €
Sustitución Mancha	9,250.74 €	2,292,843.66 €
Zona Albacete	- €	23,358,829.36 €
A Ac Real	5,123.36 €	1,121,929.41 €
A Sueca	10,378.71 €	2,085,865.28 €
A Cullera	7,311.22 €	1,448,660.59 €
A Cuatro Pueblos	1,561.55 €	311,229.83 €
TOTAL DEMANDAS CONSUNTIVAS	944,078.11 €	773,854,907.01 €
CH Cofrentes	4,860,140.00 €	12,792,000.00 €
CH Cortes II	17,683,505.00 €	70,110,000.00 €
CH Millares	3,362,751.67 €	11,808,000.00 €
TOTAL DEMANDAS HIDROELÉCTRICAS	25,906,396.67 €	94,710,000.00 €

Tabla 49: Promedios anuales del coste de escasez y el beneficio para las demandas en el escenario histórico.

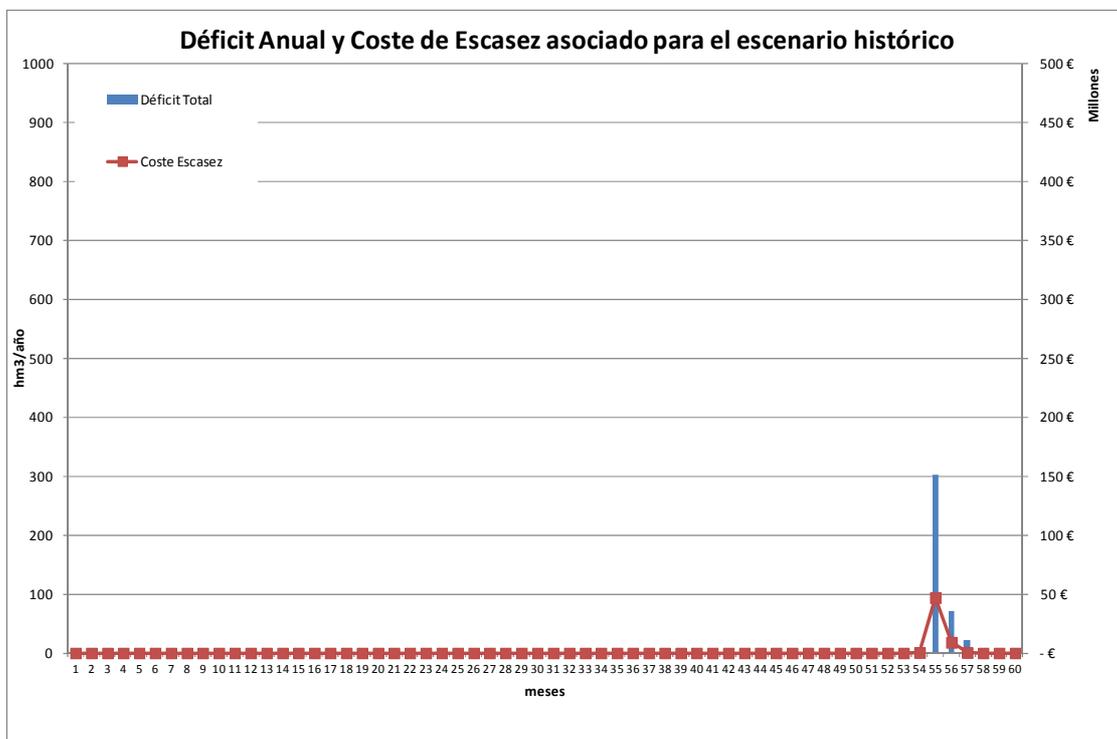


Figura 148: Déficit anual y coste de escasez asociado para el escenario histórico.

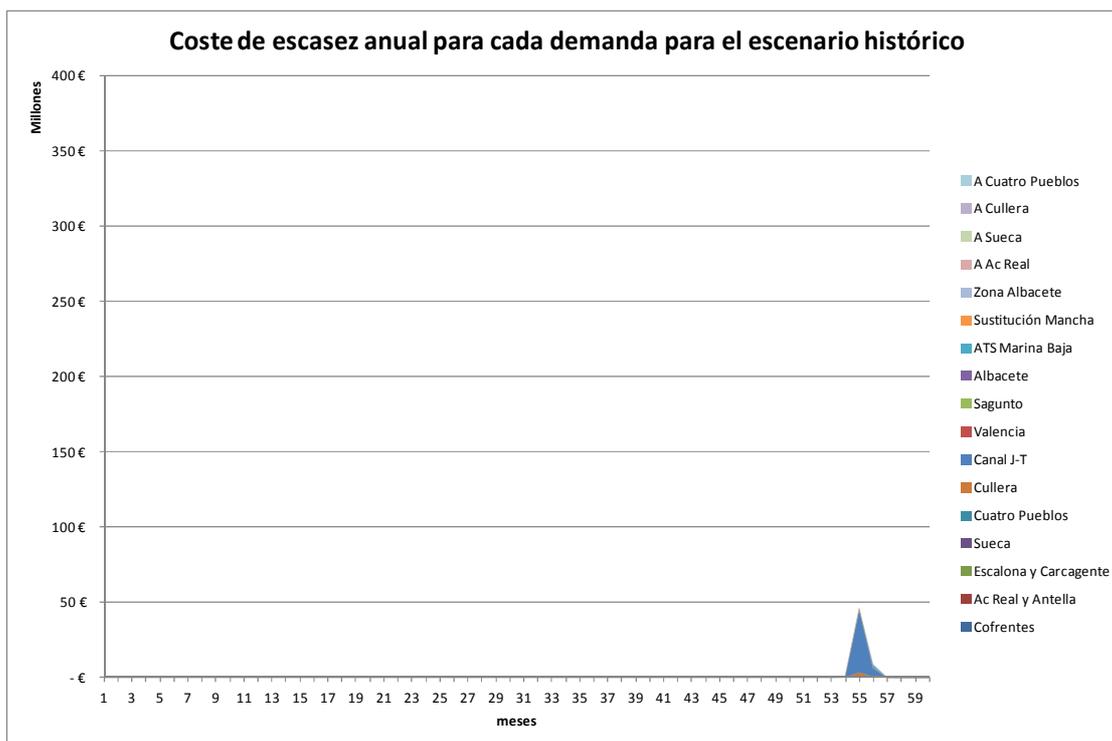


Figura 149: Coste de escasez anual para cada demanda para el escenario histórico.

5.7.3.3 Escenario de Corto Plazo (2011 – 2040)

ESCENARIO DE CORTO PLAZO		
	Coste de Escasez Promedio Anual	Beneficio Anual
Valencia	26,838.67 €	354,570,632.44 €
Sagunto	3,555.48 €	44,336,095.54 €
Albacete	368,214.74 €	56,209,287.78 €
ATS Marina Baja	1,045,337.24 €	112,049,750.23 €
Cofrentes	2,176.00 €	758,400.00 €
Ac Real y Antella	892,307.35 €	99,238,788.06 €
Escalona y Carcagente	303,507.62 €	25,207,957.10 €
Sueca	507,643.33 €	13,615,079.84 €
Cuatro Pueblos	78,627.70 €	2,056,975.21 €
Cullera	296,358.07 €	7,125,043.52 €
Canal J-T	4,413,150.32 €	60,141,181.88 €
Sustitución Mancha	77,534.54 €	2,350,917.68 €
Zona Albacete	- €	23,884,592.44 €
A Ac Real	35,995.37 €	1,158,500.00 €
A Sueca	67,801.88 €	2,153,900.00 €
A Cullera	47,440.20 €	1,495,799.94 €
A Cuatro Pueblos	10,135.70 €	321,424.93 €
TOTAL DEMANDAS CONSUNTIVAS	8,176,624.20 €	806,674,326.59 €
CH Cofrentes	3,830,425.00 €	12,792,000.00 €
CH Cortes II	15,348,760.00 €	70,110,000.00 €
CH Millares	3,263,053.33 €	11,808,000.00 €
TOTAL DEMANDAS HIDROELÉCTRICAS	22,442,238.33 €	94,710,000.00 €

Tabla 50: Promedios anuales del coste de escasez y el beneficio para las demandas en el escenario de Corto Plazo.

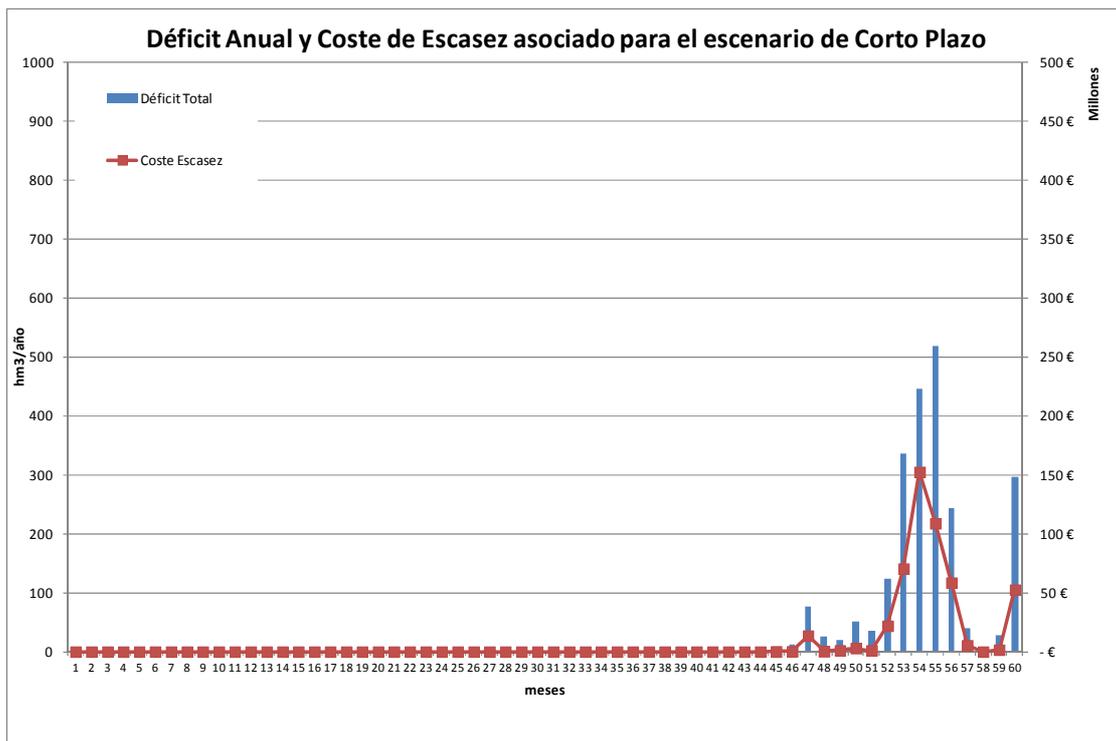


Figura 150: Déficit anual y coste de escasez asociado para el escenario de Corto Plazo.

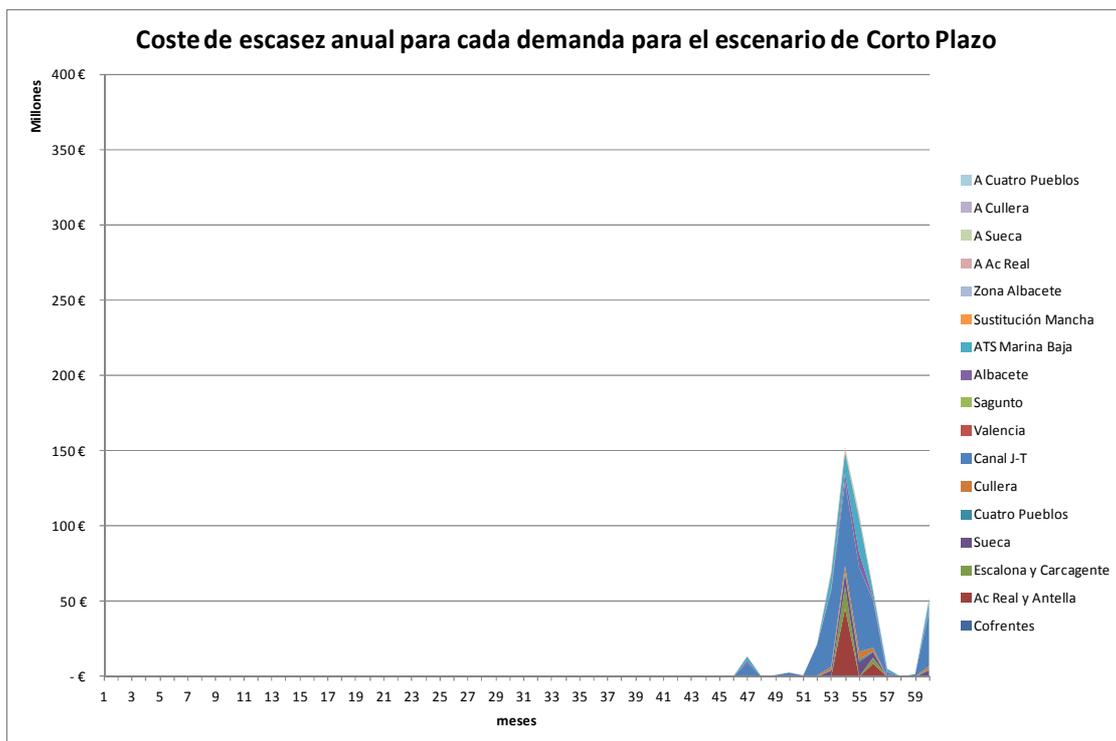


Figura 151: Coste de escasez anual para cada demanda para el escenario de Corto Plazo.

5.7.3.4 Escenario de Medio Plazo (2041 – 2070)

ESCENARIO DE MEDIO PLAZO		
	Coste de Escasez Promedio Anual	Beneficio Anual
Valencia	758,309.02 €	368,084,983.83 €
Sagunto	79,208.82 €	46,030,365.19 €
Albacete	403,058.07 €	58,349,383.79 €
ATS Marina Baja	1,173,188.09 €	116,311,406.49 €
Cofrentes	18,293.33 €	758,080.00 €
Ac Real y Antella	5,357,135.10 €	138,173,637.81 €
Escalona y Carcagente	1,600,907.87 €	34,793,271.81 €
Sueca	983,023.60 €	19,170,256.13 €
Cuatro Pueblos	161,806.90 €	2,878,074.95 €
Cullera	578,240.86 €	9,991,229.66 €
Canal J-T	9,170,374.86 €	83,917,911.96 €
Sustitución Mancha	110,311.02 €	2,498,296.33 €
Zona Albacete	- €	25,580,349.11 €
A Ac Real	67,007.61 €	1,365,474.98 €
A Sueca	109,927.46 €	2,538,674.99 €
A Cullera	76,801.87 €	1,763,074.99 €
A Cuatro Pueblos	16,487.61 €	378,824.94 €
TOTAL DEMANDAS CONSUNTIVAS	20,664,082.08 €	912,583,296.96 €
CH Cofrentes	5,553,108.33 €	12,792,000.00 €
CH Cortes II	18,200,788.33 €	70,110,000.00 €
CH Millares	1,096,681.67 €	11,808,000.00 €
TOTAL DEMANDAS HIDROELÉCTRICAS	24,850,578.33 €	94,710,000.00 €

Tabla 51: Promedios anuales del coste de escasez y el beneficio para las demandas en el escenario de Medio Plazo.

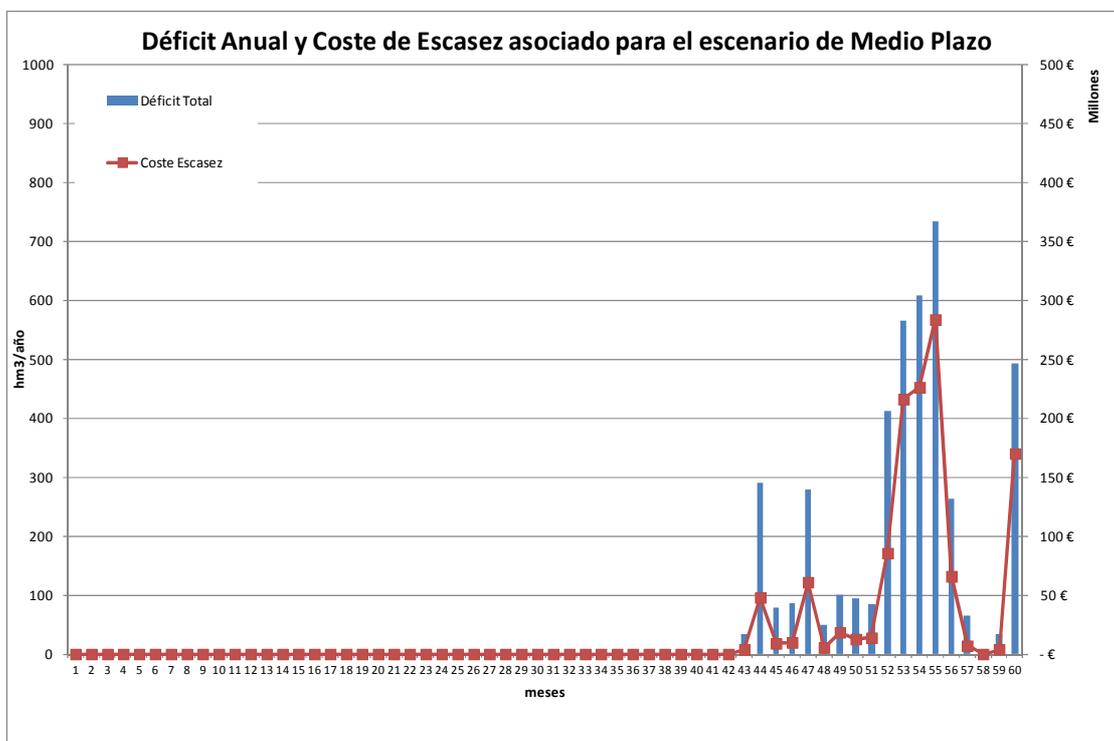


Figura 152: Déficit anual y coste de escasez asociado para el escenario de Medio Plazo.

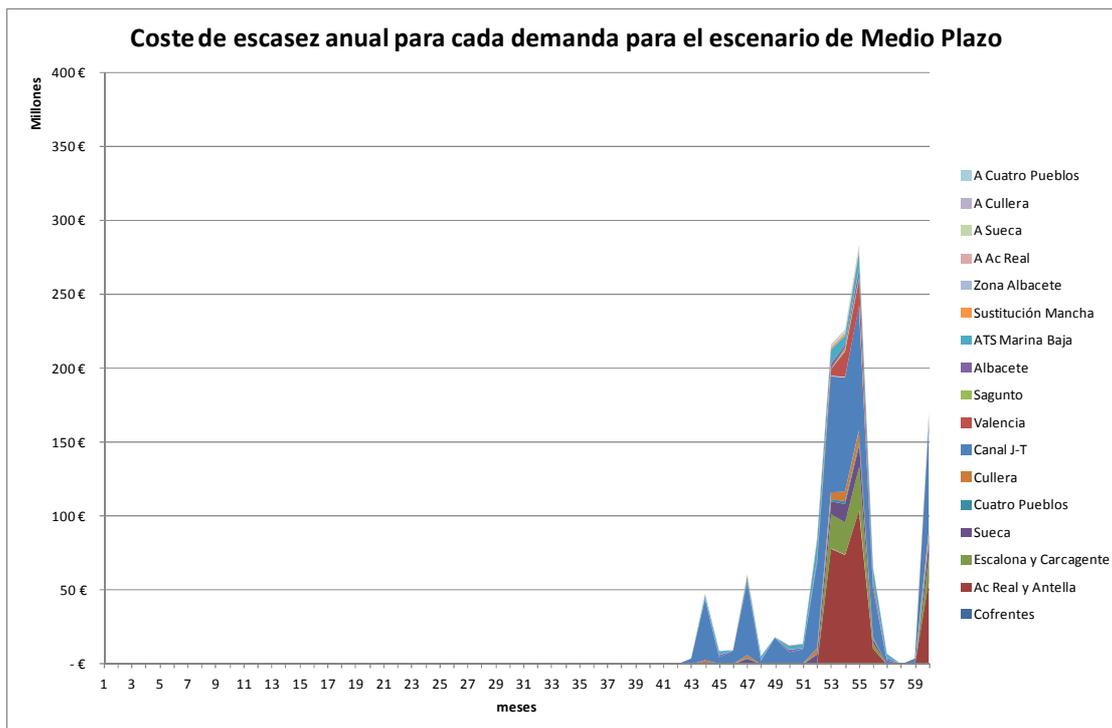


Figura 153: Coste de escasez anual para cada demanda para el escenario de Medio Plazo.

5.7.3.5 Escenario de Largo Plazo (2071 – 2100)

ESCENARIO DE LARGO PLAZO		
	Coste de Escasez Promedio Anual	Beneficio Anual
Valencia	2,501,785.95 €	368,084,983.83 €
Sagunto	198,528.19 €	46,030,365.19 €
Albacete	3,294,932.57 €	58,349,383.79 €
ATS Marina Baja	8,047,522.61 €	116,311,406.49 €
Cofrentes	67,760.00 €	758,080.00 €
Ac Real y Antella	24,946,251.40 €	144,386,048.76 €
Escalona y Carcagente	6,825,069.32 €	36,415,510.75 €
Sueca	4,814,255.63 €	19,796,419.65 €
Cuatro Pueblos	749,634.31 €	2,972,863.56 €
Cullera	2,687,739.85 €	10,340,916.20 €
Canal J-T	34,846,231.08 €	87,541,049.45 €
Sustitución Mancha	456,861.03 €	2,545,881.91 €
Zona Albacete	- €	26,192,982.71 €
A Ac Real	291,880.57 €	1,421,851.52 €
A Sueca	501,381.07 €	2,643,433.01 €
A Cullera	351,590.53 €	1,835,852.08 €
A Cuatro Pueblos	75,045.22 €	394,458.63 €
TOTAL DEMANDAS CONSUNTIVAS	90,656,469.33 €	926,021,487.54 €
CH Cofrentes	2,369,458.33 €	12,792,000.00 €
CH Cortes II	11,501,320.00 €	70,110,000.00 €
CH Millares	2,729,916.67 €	11,808,000.00 €
TOTAL DEMANDAS HIDROELÉCTRICAS	16,600,695.00 €	94,710,000.00 €

Tabla 52: Promedios anuales del coste de escasez y el beneficio para las demandas en el escenario de Largo Plazo.

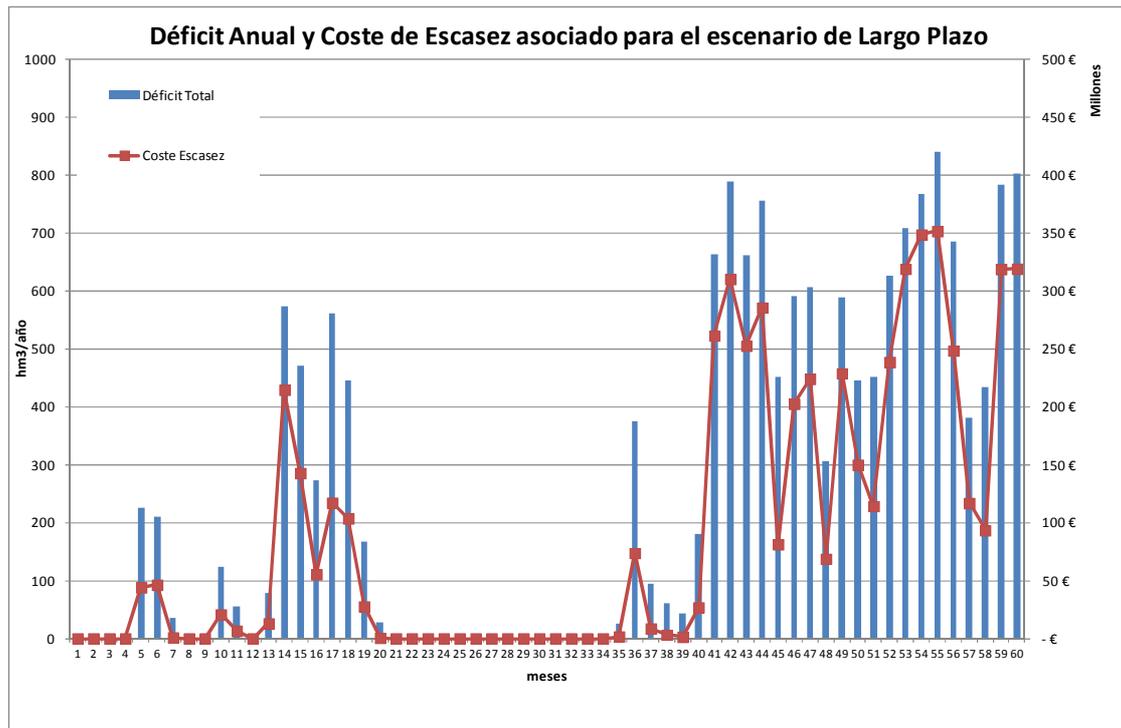


Figura 154: Déficit anual y coste de escasez asociado para el escenario de Largo Plazo.

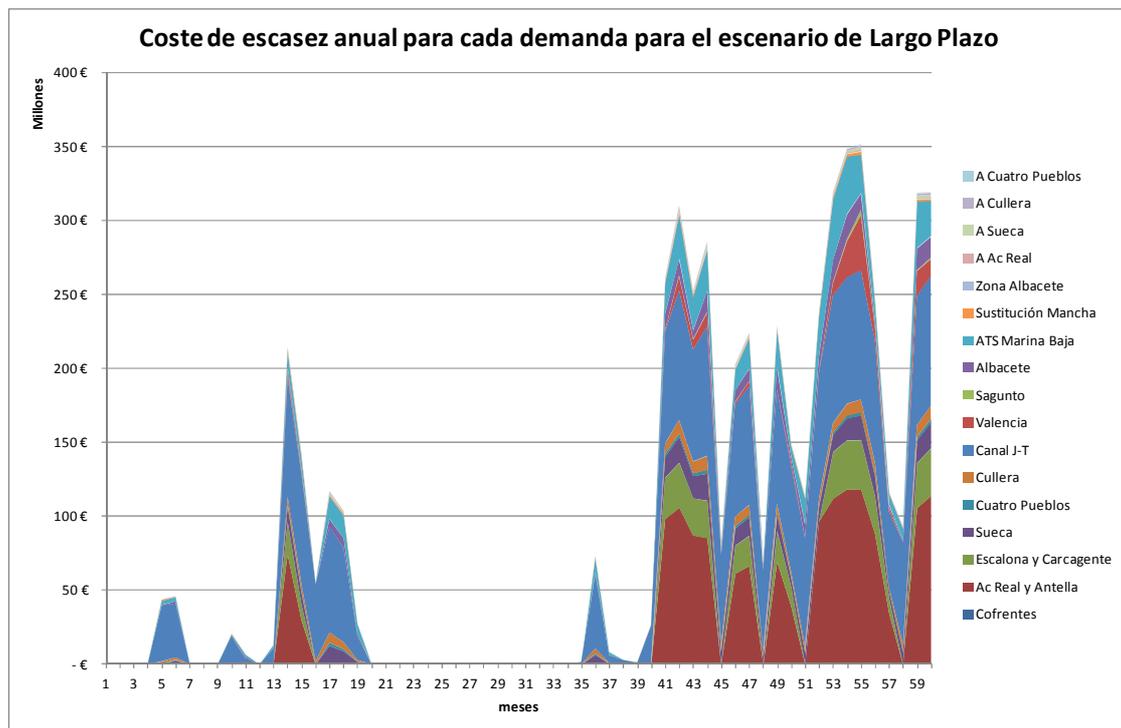


Figura 155: Coste de escasez anual para cada demanda para el escenario de Largo Plazo.

5.7.3.6 Comparación de resultados

A continuación, y a modo de resumen, se presenta en la siguiente tabla los resultados comparados para todos los escenarios del coste de escasez para cada una de las demandas, y en el gráfico siguiente el coste de escasez total para todos los escenarios.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS PARA LOS ESCENARIOS OBTENIDOS				
	Coste de Escasez Promedio Escenario Histórico	Coste de Escasez Promedio Escenario Corto Plazo	Coste de Escasez Promedio Escenario Medio Plazo	Coste de Escasez Promedio Escenario Largo Plazo
Valencia	- €	26,838.67 €	758,309.02 €	2,501,785.95 €
Sagunto	- €	3,555.48 €	79,208.82 €	198,528.19 €
Albacete	11,125.82 €	368,214.74 €	403,058.07 €	3,294,932.57 €
ATS Marina Baja	35,312.01 €	1,045,337.24 €	1,173,188.09 €	8,047,522.61 €
Cofrentes	- €	2,176.00 €	18,293.33 €	67,760.00 €
Ac Real y Antella	- €	892,307.35 €	5,357,135.10 €	24,946,251.40 €
Escalona y Carcagente	- €	303,507.62 €	1,600,907.87 €	6,825,069.32 €
Sueca	5,399.65 €	507,643.33 €	983,023.60 €	4,814,255.63 €
Cuatro Pueblos	14,235.74 €	78,627.70 €	161,806.90 €	749,634.31 €
Cullera	50,109.02 €	296,358.07 €	578,240.86 €	2,687,739.85 €
Canal J-T	794,270.29 €	4,413,150.32 €	9,170,374.86 €	34,846,231.08 €
Sustitución Mancha	9,250.74 €	77,534.54 €	110,311.02 €	456,861.03 €
Zona Albacete	- €	- €	- €	- €
A Ac Real	5,123.36 €	35,995.37 €	67,007.61 €	291,880.57 €
A Sueca	10,378.71 €	67,801.88 €	109,927.46 €	501,381.07 €
A Cullera	7,311.22 €	47,440.20 €	76,801.87 €	351,590.53 €
A Cuatro Pueblos	1,561.55 €	10,135.70 €	16,487.61 €	75,045.22 €
TOTAL DEMANDAS CONSUNTIVAS	944,078.11 €	8,176,624.20 €	20,664,082.08 €	90,656,469.33 €

Tabla 53: Comparación del promedio anual del Coste de Escasez para todas las demandas en todos los escenarios.

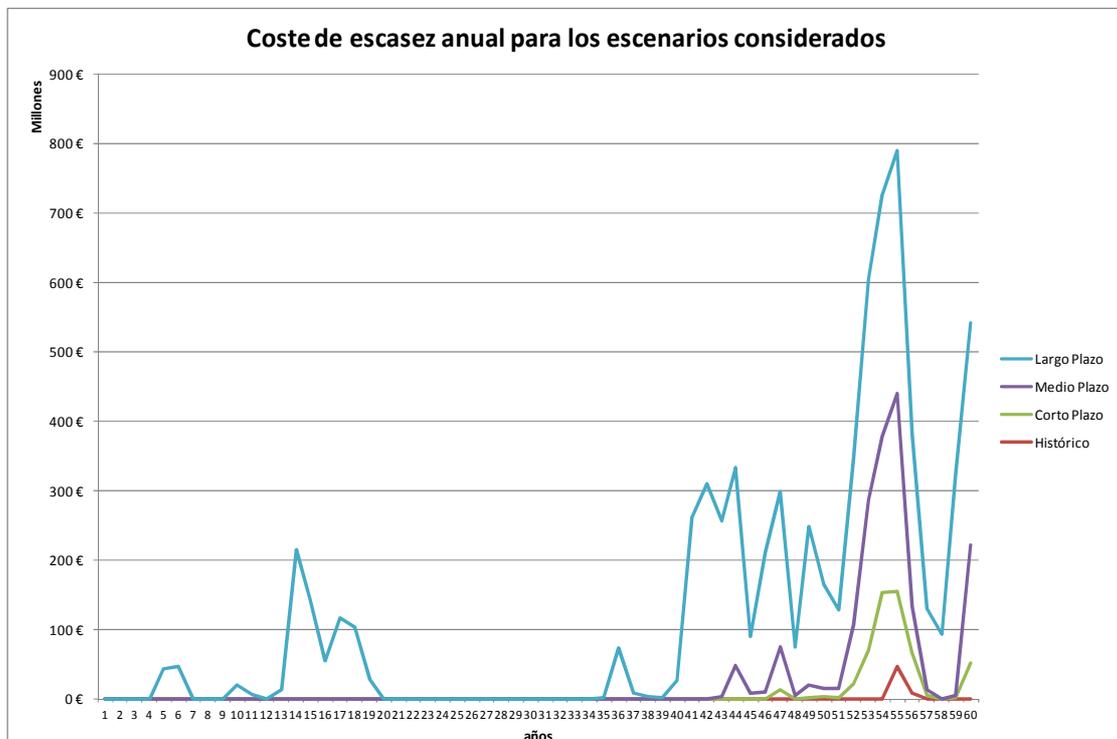


Figura 156: Coste de escasez anual para los escenarios considerados en la serie completa.

5.8 Estrategias de adaptación

5.8.1 Introducción

Como se comentó en el apartado 3.8, la metodología seguida para la determinación de las estrategias de adaptación a considerar se desprende del artículo "*A methodology to diagnose the effect of climate change and to identify adaptative strategies to reduce its impacts in conjunctive-use systems at basin scale*" (Pulido-Velázquez et al., 2011).

A partir de los resultados del modelo de gestión de recursos hídricos, se definen cuatro indicadores que tratan de representar el estado del sistema —indicador de satisfacción, de garantías, de recursos sin regulación y de aprovechamiento de los recursos—.

Con estos indicadores, y a partir de una tabla descrita en la misma metodología se diagnostican los problemas del sistema y se plantean soluciones a un nivel global.

En el presente trabajo, además se ha definido un nuevo indicador hidroeconómico que puede servir para evaluar la equidad en el perjuicio económico entre cada una de las demandas, o para evaluar económicamente las opciones de adaptación del sistema.

Finalmente se plantearán algunas propuestas de adaptación concretas y se evaluarán con el modelo hidroeconómico descrito anteriormente.

5.8.2 Resultados de los indicadores

Los indicadores que se describen en la mencionada metodología (Pulido-Velázquez et al., 2011) son los siguientes:

- *Indicador de satisfacción del sistema (I_s):* Representa la capacidad del sistema para atender sus demandas.

$$I_s = \frac{S}{D};$$

donde S representa volumen total de agua suministrado, y D la demanda total.

- *Indicador de garantías en el sistema (I_r):* Representa la capacidad del sistema para atender sus demandas con una garantía aceptable.

$$I_r = \frac{S_r}{D};$$

donde S_r representa el volumen total de agua suministrado con una garantía igual o mayor que la garantía mínima aceptable.

- *Indicador de recursos sin regulación (I_w):* Se define para evaluar el porcentaje de recursos extraídos del sistema en relación con la demanda total.

$$I_w = \frac{Y}{D};$$

donde Y representa los recursos extraídos en el sistema si no hubiera infraestructuras de regulación superficial, considerando tanto los recursos superficiales como los subterráneos y las interacciones entre ambos.

- *Indicador de aprovechamiento de los recursos (I_u):* Sirve para evaluar el porcentaje de recursos extraídos del sistema utilizado en abastecer a las demandas.

$$I_u = \frac{S}{Y}$$

En el presente trabajo, y siguiendo con la metodología basada en los indicadores, se propone la inclusión de un nuevo indicador a partir de los resultados hidroeconómicos de la gestión del sistema, al que llamaremos *Indicador de Perjuicio Económico (I_p)*, y que se define como la relación entre el perjuicio económico medio anual (coste de escasez) y el beneficio total.

$$I_p = \frac{C_e}{B};$$

donde C_e representa el coste de escasez promedio anual y B el beneficio máximo anual.

A continuación se presentan los resultados de los indicadores definidos para los escenarios considerados:

	Histórico	Corto Plazo	Medio Plazo	Largo Plazo
Is (satisfacción)	0.9943	0.9691	0.9515	0.8213
Ir (garantía)	0.9893	0.9470	0.9228	0.7517
Iw (recursos)	1.4101	1.2685	1.1773	0.8613
Iu (aprovechamiento)	0.7051	0.7640	0.8082	0.9536
Ip (perjuicio)	0.12%	1.01%	2.26%	9.79%

Tabla 54: Resultados de los indicadores definidos para los escenarios considerados.

En los resultados de los indicadores anteriores se puede observar que el sistema pasa de un estado más que aceptable en el escenario histórico a un estado en el que se están aprovechando al máximo los recursos y las garantías bajan considerablemente en el escenario de Largo Plazo. También se puede observar que el perjuicio económico que está en valores muy bajos en el escenario histórico, se va incrementando exponencialmente.

Además de los resultados generales presentados anteriormente, se presenta a continuación el resultado del indicador de perjuicio económico (I_p) para todas las demandas en cada uno de los escenarios, ya que con este indicador se pueden observar cuáles son las demandas más afectadas por la reducción de las garantías en un contexto económico. Como se observa, las demandas del Canal Júcar-Turía, seguidas por los regadíos tradicionales de la Ribera Baja del Júcar son los que presentan un mayor perjuicio económico respecto a su beneficio.

	Indicador Escasez Escenario Histórico	Indicador Escasez Escenario Corto Plazo	Indicador Escasez Escenario Medio Plazo	Indicador Escasez Escenario Largo Plazo
Valencia	0.0000%	0.0076%	0.2060%	0.6797%
Sagunto	0.0000%	0.0080%	0.1721%	0.4313%
Albacete	0.0207%	0.6551%	0.6908%	5.6469%
ATS Marina Baja	0.0329%	0.9329%	1.0087%	6.9189%
Cofrentes	0.0000%	0.2869%	2.4131%	8.9384%
Ac Real y Antella	0.0000%	0.8992%	3.8771%	17.2775%
Escalona y Carcagente	0.0000%	1.2040%	4.6012%	18.7422%
Sueca	0.0413%	3.7285%	5.1279%	24.3188%
Cuatro Pueblos	0.7109%	3.8225%	5.6221%	25.2159%
Cullera	0.7208%	4.1594%	5.7875%	25.9913%
Canal J-T	1.3674%	7.3380%	10.9278%	39.8056%
Sustitución Mancha	0.4035%	3.2981%	4.4154%	17.9451%
Zona Albacete	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%
A Ac Real	0.4567%	3.1071%	4.9073%	20.5282%
A Sueca	0.4976%	3.1479%	4.3301%	18.9670%
A Cullera	0.5047%	3.1716%	4.3561%	19.1514%
A Cuatro Pueblos	0.5017%	3.1534%	4.3523%	19.0249%

Tabla 55: Indicador de perjuicio económico para todas las demandas en los escenarios planteados.

5.8.3 Propuestas de estrategias de adaptación

5.8.3.1 Introducción

A partir de los indicadores anteriores y siguiendo con la metodología descrita anteriormente, se evalúan los indicadores teniendo en cuenta los valores umbral siguientes:

	Valor Alto	Valor Medio	Valor Bajo
Is (satisfacción)	> 0.95	[0.80 - 0.95]	< 0.80
Ir (garantía)	> 0.90	[0.60 - 0.90]	< 0.60
Iw (recursos)	> 0.75	-	< 0.75
Iu (aprovechamiento)	> 0.95	-	< 0.95

Tabla 56: Valores umbral para la evaluación del estado del sistema con los indicadores.

Con estos umbrales, el estado del sistema se evalúa con la siguiente tabla:

Demand satisfaction (I_s)	Withdrawal use (I_w)	Withdrawal (I_w)	Demand reliability (I_r)					
			High (I_r^+)		Intermediate (I_r^0)		Low (I_r^-)	
			Problems	Solutions	Problems	Solutions	Problems	Solutions
High (I_s^+)	High (I_w^+)	High (I_w^+)			2*	A ⁻	2*	A ⁻
		Low (I_w^0)			2*-4 ⁻	A ⁻ -C ⁻	2*-4 ⁻	A ⁻ -C ⁻
Intermediate (I_s^0)	High (I_w^+)	High (I_w^+)			2*-3 ⁻	A ⁻ -B ⁻	2*-3 ⁻	A ⁻ -B ⁻
		Low (I_w^0)	1 ⁻ -4 ⁻	A ⁻ -C ⁻	1 ⁻ -2 ⁻ -3 ⁻	A ⁻ -C ⁻	1 ⁻ -2 ⁻ -4 ⁻	A ⁻ -C ⁻
Low (I_s^-)	High (I_w^+)	High (I_w^+)	1 ⁻ -3 ⁻	A ⁻ -B ⁻	1 ⁻ -2 ⁻ -3 ⁻	A ⁻ -B ⁻	1 ⁻ -2 ⁻ -3 ⁻	A ⁻ -B ⁻
		Low (I_w^0)	1 ⁻ -4 ⁻	A ⁻ -C ⁻	1 ⁻ -2 ⁻ -3 ⁻	A ⁻ -C ⁻	1 ⁻ -2 ⁻ -4 ⁻	A ⁻ -C ⁻
		High (I_w^+)	1 ⁻ -3 ⁻	A ⁻ -B ⁻	1 ⁻ -2 ⁻ -3 ⁻	A ⁻ -B ⁻	1 ⁻ -2 ⁻ -3 ⁻	A ⁻ -B ⁻
	Low (I_w^0)	High (I_w^+)	1 ⁻ -3 ⁻ -4 ⁻	A ⁻ -B ⁻ -C ⁻	1 ⁻ -2 ⁻ -3 ⁻ -4 ⁻	A ⁻ -B ⁻ -C ⁻	1 ⁻ -2 ⁻ -3 ⁻ -4 ⁻	A ⁻ -B ⁻ -C ⁻
Low (I_w^0)								

+ High = Intermediate - Low

Problem:

- Vulnerable: water scarcity may produce significant damages.
- Unreliable: low intensity droughts may lead to water scarcity.
- Excess of demand with respect to withdrawal (pumping + natural inflows-depletions produced by pumping).
- Reduced use of withdrawal.

Solution:

- Demand management.
- Complementary resources are needed (additional pumping, water transfer, water reuse, etc.).
- Increase regulation of the system withdrawal (surface structural works, artificial recharge, water reuse, etc.).

Tabla 57: Problemas del sistema y estrategias de adaptación basadas en el valor de los indicadores (Pulido-Velázquez, et al., 2011). Escenario histórico en verde, corto plazo en azul, medio plazo en naranja y largo plazo en rojo.

Así pues, el sistema tiene unos indicadores aceptables para los escenarios a corto y medio plazo, pero para el largo plazo el sistema resulta vulnerable, poco fiable y con exceso de demandas para los recursos existentes.

Las soluciones, según esta metodología, se basan en la gestión de las demandas y en la obtención de recursos complementarios.

Además, y teniendo en cuenta el indicador de perjuicio económico para las demandas se puede observar que el sistema tiene poca equidad, ya que algunas de las demandas son las que cargan mayoritariamente con el perjuicio, por lo que se propone que

algunas de las medidas de adaptación también pueden ir en el camino de disminuir el perjuicio de estas demandas, o mejor dicho, de igualar el perjuicio relativo de las demandas, aumentando la equidad.

En los siguientes epígrafes se describen las propuestas de estrategias de adaptación que se han tomado en función de la parte del sistema sobre la que actúan y siguiendo las *recomendaciones* que se obtienen a partir del trabajo con los indicadores.

5.8.3.2 Actuaciones sobre la demanda

Con el conocimiento del sistema obtenido, las actuaciones sobre la demanda son necesarias sobre todo a largo plazo. Así pues se plantean dos estrategias de adaptación sobre la demanda:

- Mejora de eficiencias en los regadíos de la Ribera del Júcar: en el Documento Técnico de Referencia: Metodología y Resultados de la Estimación de Demandas en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ, 2009) se puede comprobar que las eficiencias en los regadíos tradicionales del bajo Júcar —Acequia Real, Escalona y Carcagente, Sueca, Cullera y Cuatro Pueblos— siguen por debajo del 0,5 mientras que en los regadíos del canal Júcar-Turia la eficiencia es del 0,75 y en la Mancha Oriental está en torno al 0,85, por lo que se proponen las actuaciones necesarias para elevar la eficiencia de estos regadíos hasta el 0,7.
- Reducción de la demanda en la Mancha Oriental: 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. Según algunos expertos, en el caso de la desaparición de los subsidios sólo permanecerían el 30% de los cultivos actuales, lo cual coincide con un costo de bombeo de 0,06 €/m³. Así pues, se propone una medida de adaptación de reducción de la demanda en los cultivos de la Mancha Oriental, permaneciendo únicamente los cultivos que están dispuestos a pagar más de 0,06 €/m³, lo que supone una reducción en el escenario de largo plazo de aproximadamente un 75% de la demanda.

5.8.3.3 Actuaciones sobre la gestión del sistema

Por lo que se refiere a las actuaciones sobre la gestión del sistema, éstas son especialmente interesantes porque pueden disminuir los perjuicios sin afectar a terceros, únicamente con un mejor manejo de las medidas. Así pues se plantean dos medidas de adaptación:

- Cambio en la asignación de prioridades: Se propone igualar las prioridades de todos los regadíos existentes para evitar los perjuicios en algunas de las demandas, y así mejorar la equidad. Esta medida surge a partir de la inclusión en los indicadores del Indicador de Prejuicio Económico.
- Introducción de Mercados del Agua: En el momento en que se producen déficits en demandas urbanas, la introducción de mercados de agua parece una medida muy eficaz por la gran diferencia en la disposición de pago existente entre las demandas agrícolas y las demandas urbanas. Así pues se propone como medida de adaptación futura la inclusión de las herramientas administrativas necesarias para la inclusión de este mecanismo de gestión.

5.8.3.4 Actuaciones sobre los recursos

En el presente trabajo no se han planteado actuaciones sobre los recursos adicionales, como podrían ser los transvases o la ejecución de desaladoras, aunque cabe mencionar que la metodología implementada puede servir perfectamente para realizar un análisis hidroeconómico de estas medidas para evaluarlas económicamente y para compararlas con otro tipo de medidas.

5.8.4 Evaluación hidroeconómica de las estrategias de adaptación

5.8.4.1 Introducción

En los siguientes epígrafes se dará cuenta de los resultados del análisis hidroeconómico realizado para cada una de las cuatro estrategias de adaptación que se han propuesto:

- Mejora de eficiencias en los riegos tradicionales del Júcar.

- Disminución de la demanda en la Mancha Oriental.
- Cambio en la asignación de prioridades.
- Mercados del agua.

Para cada una de ellas, excepto para los mercados del agua que tendrá una consideración especial, se presentarán los resultados del modelos de simulación de gestión de recursos hídricos y los resultados del modelo hidroeconómico.

Se ha de tener en cuenta que todas las medidas de adaptación se han implementado a partir del escenario de Largo Plazo, ya que según la metodología descrita anteriormente es la que necesitaba de estas medidas de adaptación, además de por ser el caso más extremo y en el que se pueden ver más claramente las mejoras que suponen la implementación de estas estrategias.

5.8.4.2 Mejora de eficiencias en los riegos tradicionales del Júcar

Como ya se ha comentado anteriormente, esta mejora consiste en la mejora de la eficiencia de las demandas de la Acequia Real, Escalona y Carcagente, Sueca, Cullera y Cuatro Pueblos hasta un 0,7. Con ello se mantendrían sus demandas netas, pero disminuirían notablemente las demandas brutas de estos regadíos.

	Largo Plazo	Hip. Eficiencia
CN Cofrentes	23.70	23.70
Ac. Real y de Antella	220.16	150.97
Escalona y Carcagente	55.64	36.56
Sueca	30.54	19.20
Cuatro Pueblos	4.53	2.85
Cullera	15.73	9.88
Canal Júcar Turia	133.55	133.55
Valencia	102.62	102.62
Sagunto	12.83	12.83
Albacete	16.27	16.27
Marina Baja ATS	28.22	28.22
Sustitución Mancha	34.36	34.36
Zona Albacete	488.12	488.12
Arroz Ac Real	81.25	55.72
Arroz Sueca	151.06	94.95
Arroz Cullera	104.91	65.94
Arroz Cuatro Pueblos	22.54	14.17
Total	1526.02	1289.90

Tabla 58: Variación de las demandas brutas respecto al escenario de Largo Plazo con la hipótesis de eficiencia considerada.

A continuación se presentan los resultados del modelo de gestión:

Demanda	Tipo de demanda	Fallos Mensuales	Garantía Mensual	Fallos Anuales	Garantía Anual	Garantía Volumétrica	Crit. IPH08 Urbano	Crit. IPH08 Agrícola
Valencia	Urbana	38	94.70%	10	83.30%	98.30%	NO	NO
Sagunto	Urbana	32	95.60%	8	86.70%	98.70%	NO	NO
Albacete	Urbana	72	90.00%	21	65.00%	90.70%	NO	NO
Marina Baja ATS	Urbana	88	87.80%	22	63.30%	88.70%	NO	NO
CN Cofrentes	Industrial	54	92.50%	16	73.30%	93.40%	NO	NO
Ac. Real y de Antella	Agrícola	184	74.40%	21	65.00%	84.90%	NO	NO
Escalona y Carcagente	Agrícola	326	54.70%	21	65.00%	81.60%	NO	NO
Sueca	Agrícola	250	65.30%	21	65.00%	80.70%	NO	NO
Cuatro Pueblos	Agrícola	250	65.30%	21	65.00%	80.40%	NO	NO
Cullera	Agrícola	250	65.30%	21	65.00%	80.30%	NO	NO
Canal Júcar Turia	Agrícola	185	74.30%	21	65.00%	71.50%	NO	NO
Sustitución Mancha	Agrícola	180	75.00%	21	65.00%	74.70%	NO	NO
Zona Albacete	Agrícola	0	100.00%	0	100.00%	100.00%	CUMPLE	CUMPLE
Arroz Ac Real	Agrícola	226	68.60%	21	65.00%	84.00%	NO	NO
Arroz Sueca	Agrícola	250	65.30%	21	65.00%	83.90%	NO	NO
Arroz Cullera	Agrícola	250	65.30%	21	65.00%	83.80%	NO	NO
Arroz Cuatro Pueblos	Agrícola	250	65.30%	21	65.00%	83.90%	NO	NO

Tabla 59: Resumen de las garantías para el suministro de las demandas en el escenario de Hipótesis Eficiencias.

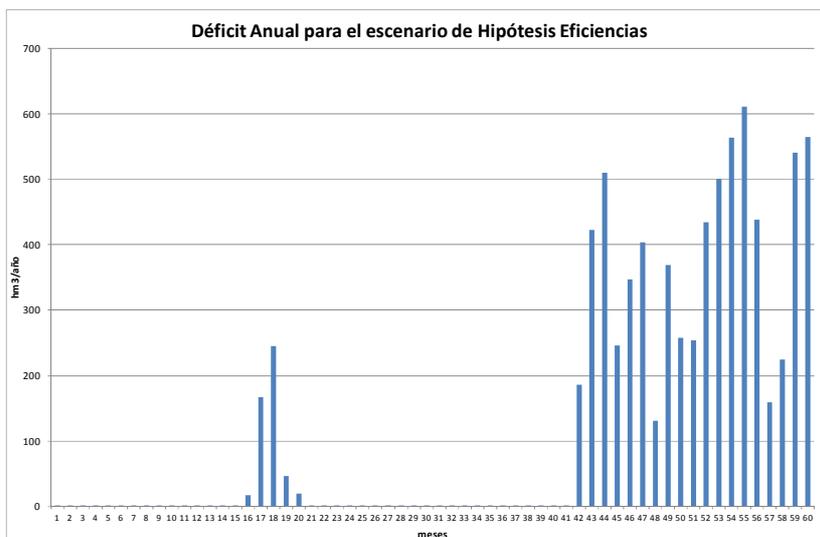


Figura 157: Déficit anual total para el escenario de Hipótesis Eficiencias.

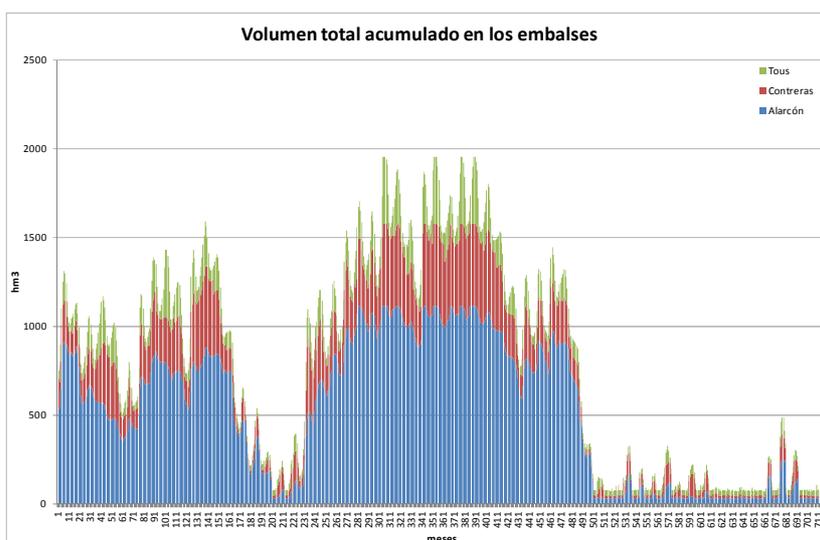


Figura 158: Volumen embalsado para el escenario de Hipótesis Eficiencias.

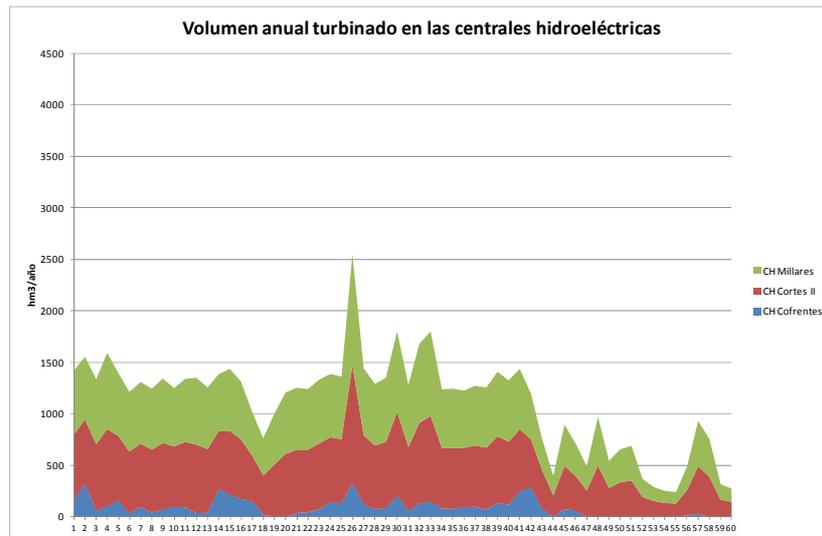


Figura 159: Volumen anual turbinado en las centrales hidroeléctricas para el escenario de Hipótesis Eficiencias.

Con los resultados del modelo de gestión, y una vez modificadas las funciones económicas de demanda —que cambian para aquellas demandas modificadas—, se obtienen los resultados del modelo hidroeconómico que se presentan a continuación.

HIPÓTESIS EFICIENCIA		
	Coste de Escasez Promedio Anual	Beneficio Anual
Valencia	2,059,993.80 €	368,084,983.83 €
Sagunto	198,504.23 €	46,030,365.19 €
Albacete	2,315,475.67 €	58,349,383.79 €
ATS Marina Baja	5,308,759.35 €	116,311,406.49 €
Cofrentes	50,384.00 €	758,080.00 €
Ac Real y Antella	10,610,615.72 €	100,184,260.45 €
Escalona y Carcagente	2,920,975.38 €	24,051,892.20 €
Sueca	1,851,045.70 €	12,582,732.86 €
Cuatro Pueblos	280,047.91 €	1,858,809.77 €
Cullera	994,223.19 €	6,512,755.18 €
Canal J-T	22,423,596.00 €	87,541,049.45 €
Sustitución Mancha	304,015.71 €	2,545,881.91 €
Zona Albacete	- €	26,192,982.71 €
A Ac Real	111,828.02 €	974,999.91 €
A Sueca	178,923.79 €	1,661,574.99 €
A Cullera	125,573.10 €	1,153,849.92 €
A Cuatro Pueblos	26,793.78 €	247,924.91 €
TOTAL DEMANDAS CONSUNTIVAS	49,760,755.35 €	855,042,933.57 €
CH Cofrentes	1,799,763.33 €	12,792,000.00 €
CH Cortes II	10,795,368.33 €	70,110,000.00 €
CH Millares	3,343,413.33 €	11,808,000.00 €
TOTAL DEMANDAS HIDROELÉCTRICAS	15,938,545.00 €	94,710,000.00 €

Tabla 60: Promedios anuales del coste de escasez y el beneficio para las demandas en el escenario de Hipótesis Eficiencia.

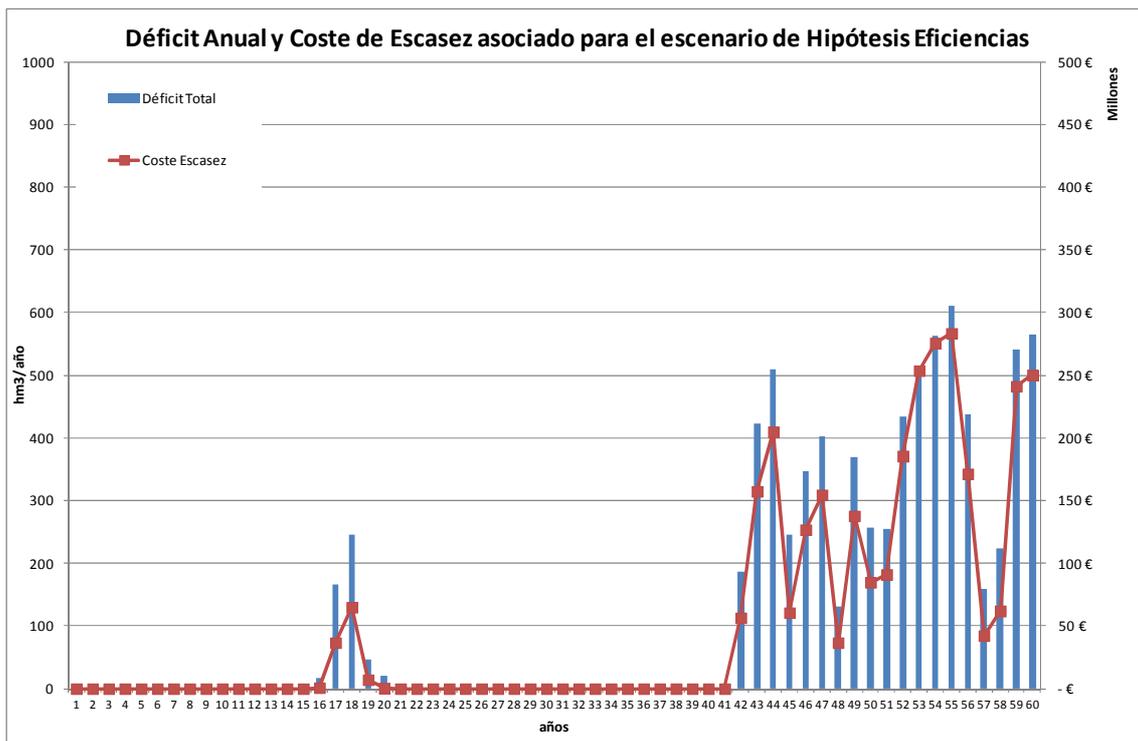


Figura 160: Déficit anual y coste de escasez asociado para el escenario de Hipótesis Eficiencia.

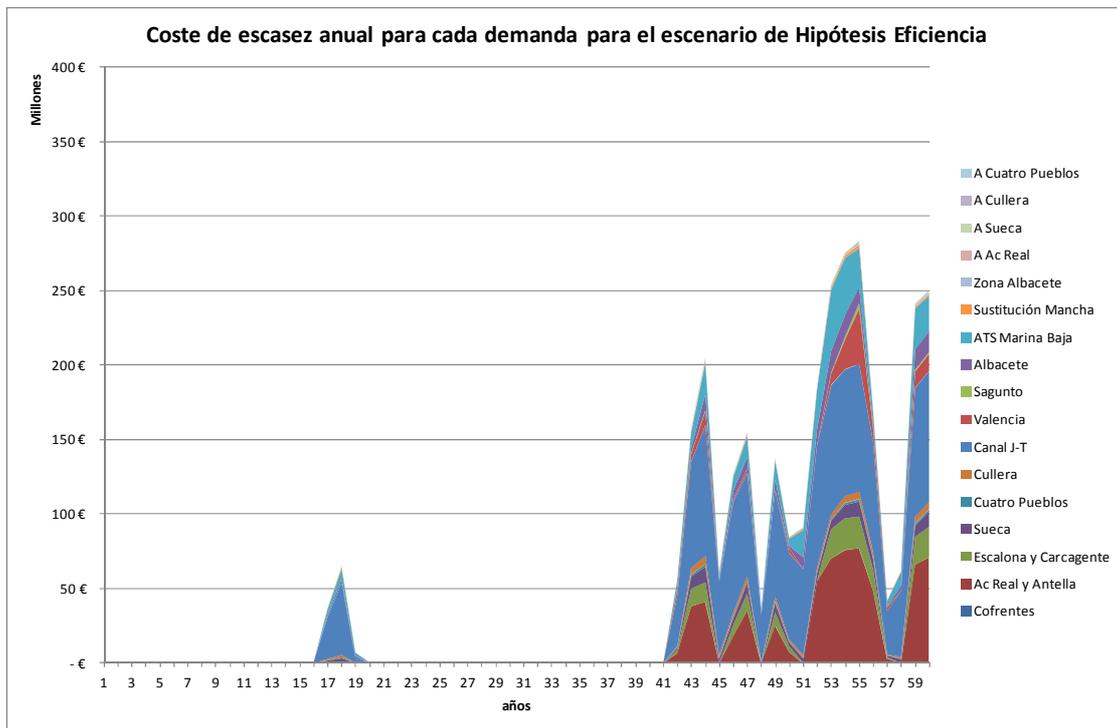


Figura 161: Coste de escasez anual para cada demanda para el escenario de Hipótesis Eficiencias.

5.8.4.3 Reducción de demandas en la Mancha Oriental

Tal como se ha mencionado anteriormente, se propone una estrategia de adaptación que consiste en la reducción de las demandas dejando únicamente aquellas que están dispuestas a pagar más de 0,06 €/m³. Con esto la reducción en la demanda de los regadíos de Albacete pasa de 488,12 hm³/año para el largo plazo a 122,96 hm³/año, lo que supone una disminución en esta demanda del 74,8%.

Así pues, las demandas quedan del siguiente modo:

	Largo Plazo	Hip. Reducción Mancha
CN Cofrentes	23.70	23.70
Ac. Real y de Antella	220.16	220.16
Escalona y Carcagente	55.64	55.64
Sueca	30.54	30.54
Cuatro Pueblos	4.53	4.53
Cullera	15.73	15.73
Canal Júcar Turia	133.55	133.55
Valencia	102.62	102.62
Sagunto	12.83	12.83
Albacete	16.27	16.27
Marina Baja ATS	28.22	28.22
Sustitución Mancha	34.36	34.36
Zona Albacete	488.12	122.96
Arroz Ac Real	81.25	81.25
Arroz Sueca	151.06	151.06
Arroz Cullera	104.91	104.91
Arroz Cuatro Pueblos	22.54	22.54
Total	1526.02	1160.87

Tabla 61: Variación de las demandas brutas respecto al escenario de Largo Plazo con la hipótesis de reducción en la demanda de la Mancha Oriental considerada.

A continuación se presentan los resultados del modelo de gestión:

Demanda	Tipo de demanda	Fallos Mensuales	Garantía Mensual	Fallos Anuales	Garantía Anual	Garantía Volumétrica	Crit. IPH08 Urbano	Crit. IPH08 Agrícola
Valencia	Urbana	3	99.60%	2	96.70%	99.80%	NO	CUMPLE
Sagunto	Urbana	3	99.60%	2	96.70%	99.80%	NO	CUMPLE
Albacete	Urbana	19	97.40%	12	80.00%	97.80%	NO	NO
Marina Baja ATS	Urbana	36	95.00%	15	75.00%	95.80%	NO	NO
CN Cofrentes	Industrial	6	99.20%	4	93.30%	99.40%	NO	NO
Ac. Real y de Antella	Agrícola	139	80.70%	17	71.70%	91.10%	NO	NO
Escalona y Carcagente	Agrícola	317	56.00%	18	70.00%	88.50%	NO	NO
Sueca	Agrícola	239	66.80%	20	66.70%	86.00%	NO	NO
Cuatro Pueblos	Agrícola	239	66.80%	20	66.70%	85.80%	NO	NO
Cullera	Agrícola	239	66.80%	20	66.70%	85.70%	NO	NO
Canal Júcar Turia	Agrícola	176	75.60%	22	63.30%	77.40%	NO	NO
Sustitución Mancha	Agrícola	165	77.10%	21	65.00%	78.40%	NO	NO
Zona Albacete	Agrícola	0	100.00%	0	100.00%	100.00%	CUMPLE	CUMPLE
Arroz Ac Real	Agrícola	160	77.80%	17	71.70%	90.40%	NO	NO
Arroz Sueca	Agrícola	239	66.80%	20	66.70%	88.70%	NO	NO
Arroz Cullera	Agrícola	239	66.80%	20	66.70%	88.60%	NO	NO
Arroz Cuatro Pueblos	Agrícola	239	66.80%	20	66.70%	88.70%	NO	NO

Tabla 62: Resumen de las garantías para el suministro de las demandas en el escenario de Hipótesis Reducción de demanda en la Mancha Oriental.

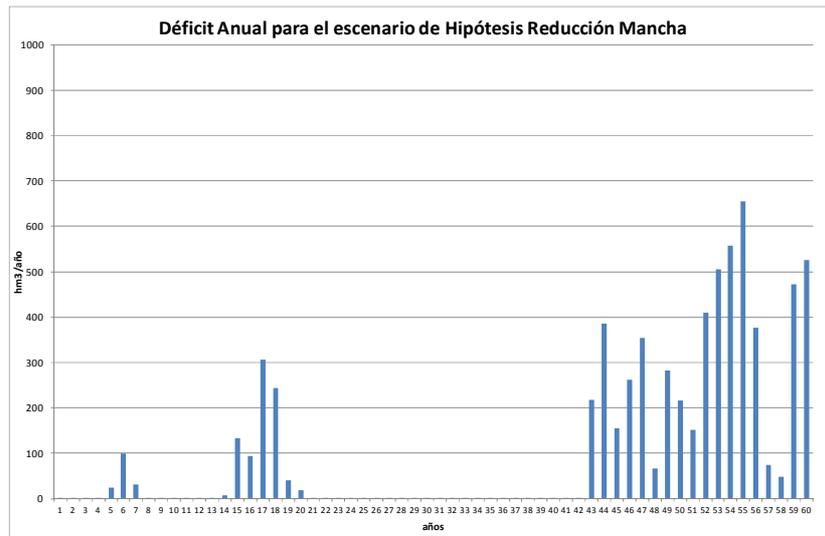


Figura 162: Déficit anuales totales para el escenario de Hipótesis Reducción Mancha.

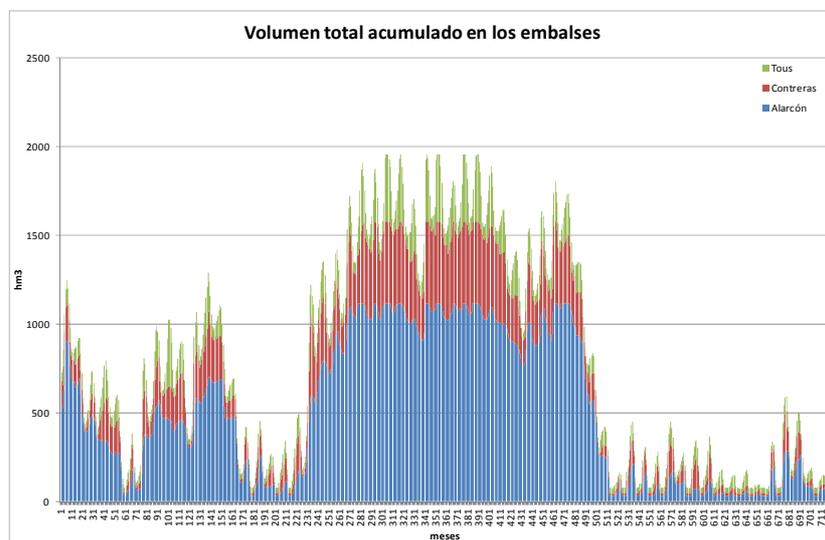


Figura 163: Volumen embalsado para el escenario de Hipótesis Reducción Mancha.

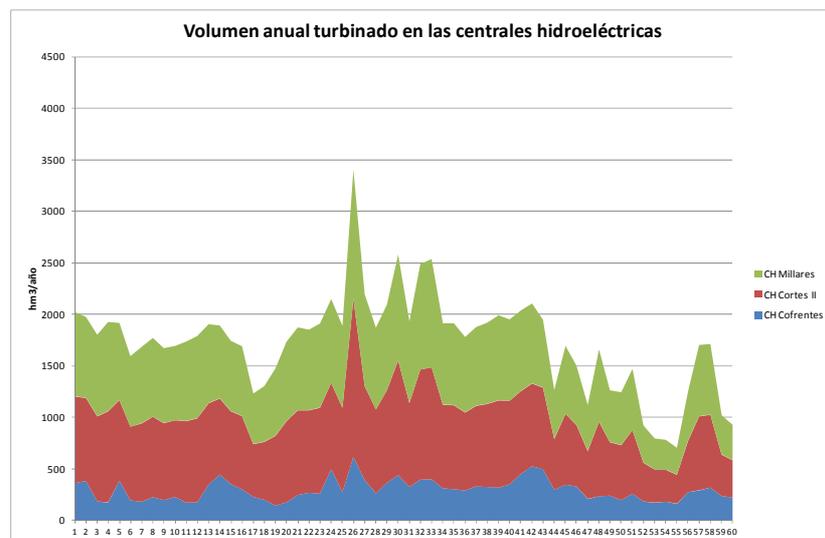


Figura 164: Volumen turbinado en las centrales hidroeléctricas para el escenario de Hipótesis Reducción Mancha.

Con los resultados del modelo de gestión, y una vez modificadas las funciones económicas de demanda —que cambia únicamente para la demanda de la Mancha Oriental—, se obtienen los resultados del modelo hidroeconómico que se presentan a continuación.

HIPÓTESIS REDUCCIÓN MANCHA		
	Coste de Escasez Promedio Anual	Beneficio Anual
Valencia	184,734.95 €	368,084,983.83 €
Sagunto	21,946.92 €	46,030,365.19 €
Albacete	419,261.56 €	58,349,383.79 €
ATS Marina Baja	1,511,404.04 €	116,311,406.49 €
Cofrentes	4,554.67 €	758,080.00 €
Ac Real y Antella	3,697,021.11 €	144,386,048.76 €
Escalona y Carcagente	1,092,414.05 €	36,415,510.75 €
Sueca	1,190,997.33 €	19,796,419.65 €
Cuatro Pueblos	219,618.69 €	2,972,863.56 €
Cullera	968,064.35 €	10,340,916.20 €
Canal J-T	15,568,324.06 €	87,541,049.45 €
Sustitución Mancha	218,524.81 €	2,545,881.91 €
Zona Albacete	- €	15,925,738.39 €
A Ac Real	81,916.72 €	1,421,851.52 €
A Sueca	159,872.42 €	2,643,433.01 €
A Cullera	112,595.40 €	1,835,852.08 €
A Cuatro Pueblos	23,906.30 €	394,458.63 €
TOTAL DEMANDAS CONSUNTIVAS	25,475,157.37 €	915,754,243.21 €
CH Cofrentes	6,038,548.33 €	12,792,000.00 €
CH Cortes II	15,012,696.67 €	70,110,000.00 €
CH Millares	2,033,463.33 €	11,808,000.00 €
TOTAL DEMANDAS HIDROELÉCTRICAS	23,084,708.33 €	94,710,000.00 €

Tabla 63: Promedios anuales del coste de escasez y el beneficio para las demandas en el escenario de Hipótesis Reducción Mancha.

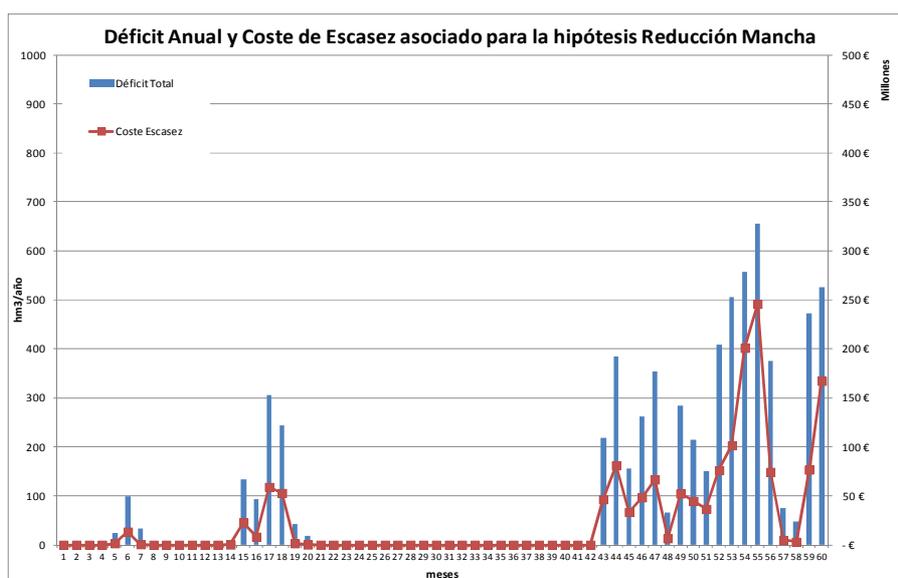


Figura 165: Déficit anual y coste de escasez asociado para el escenario de Hipótesis Reducción Mancha.

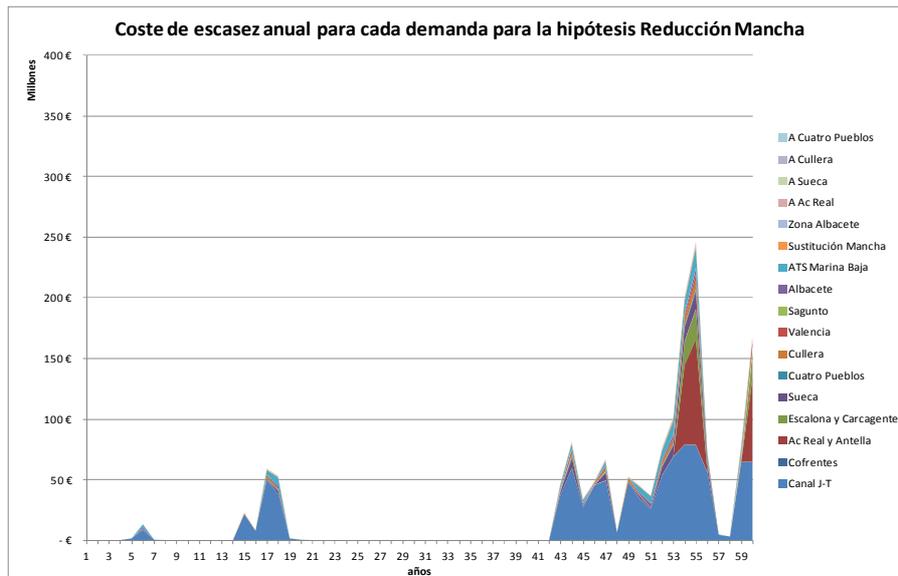


Figura 166: Coste de escasez anual para cada demanda para el escenario de Hipótesis Reducción Mancha.

5.8.4.4 Cambio en la asignación de prioridades

Para mejorar la equidad entre el perjuicio económico entre las demandas, se ha realizado una hipótesis de estrategia de adaptación basada en igualar la prioridad entre todas las demandas urbanas —prioridad 1—, industriales —prioridad 2— y agrícolas —prioridad 3—.

En este caso las demandas con que se ha implementado el modelo son las mismas del escenario de largo plazo, pero como se ha comentado, se han modificado las prioridades de asignación.

Una vez implementado el modelo de gestión con la nueva hipótesis, se presentan los resultados:

Demanda	Tipo de demanda	Fallos Mensuales	Garantía Mensual	Fallos Anuales	Garantía Anual	Garantía Volumétrica	Crit. IPH08 Urbano	Crit. IPH08 Agrícola
Valencia	Urbana	51	92.90%	11	81.70%	97.90%	NO	NO
Sagunto	Urbana	32	95.60%	6	90.00%	98.80%	NO	NO
Albacete	Urbana	137	81.00%	31	48.30%	84.40%	NO	NO
Marina Baja ATS	Urbana	134	81.40%	31	48.30%	84.60%	NO	NO
CN Cofrentes	Industrial	73	89.90%	22	63.30%	91.10%	NO	NO
Ac. Real y de Antella	Agrícola	234	67.50%	33	45.00%	70.80%	NO	NO
Escalona y Carcagente	Agrícola	433	39.90%	34	43.30%	66.60%	NO	NO
Sueca	Agrícola	377	47.60%	34	43.30%	68.90%	NO	NO
Cuatro Pueblos	Agrícola	377	47.60%	34	43.30%	69.40%	NO	NO
Cullera	Agrícola	377	47.60%	34	43.30%	68.50%	NO	NO
Canal Júcar Turia	Agrícola	278	61.40%	35	41.70%	60.40%	NO	NO
Sustitución Mancha	Agrícola	272	62.20%	34	43.30%	62.90%	NO	NO
Zona Albacete	Agrícola	0	100.00%	0	100.00%	100.00%	CUMPLE	CUMPLE
Arroz Ac Real	Agrícola	276	61.70%	34	43.30%	69.20%	NO	NO
Arroz Sueca	Agrícola	377	47.60%	34	43.30%	74.40%	NO	NO
Arroz Cullera	Agrícola	377	47.60%	34	43.30%	74.30%	NO	NO
Arroz Cuatro Pueblos	Agrícola	377	47.60%	34	43.30%	73.90%	NO	NO

Tabla 64: Resumen de las garantías para el suministro de las demandas en el escenario de Hipótesis Modificación de Prioridades.

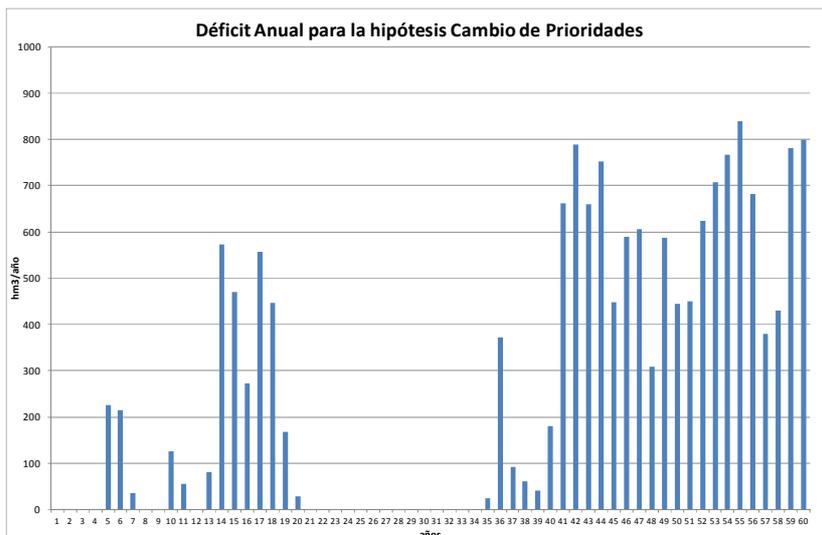


Figura 167: Déficits anuales totales para el escenario de Hipótesis Modificación de Prioridades.

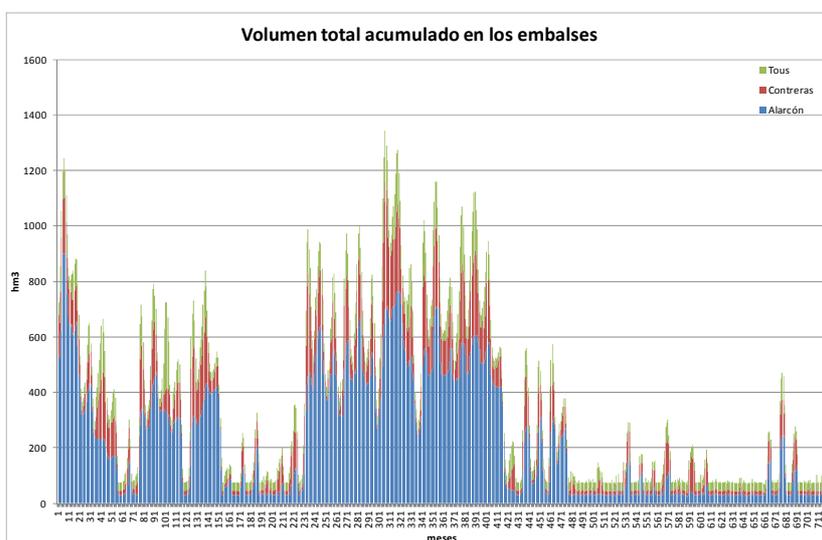


Figura 168: Volumen embalsado para el escenario de Hipótesis Modificación de Prioridades.

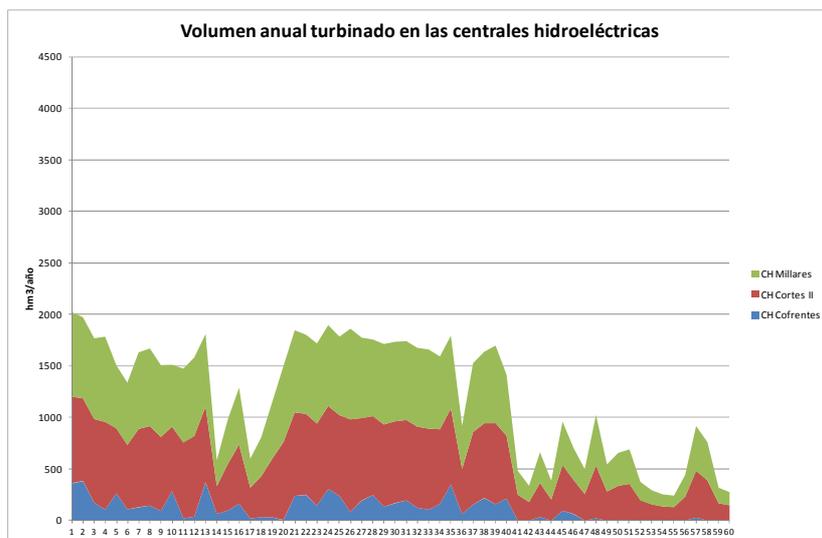


Figura 169: Volumen turbinado en las centrales hidroeléctricas para el escenario de Hipótesis Reducción Mancha.

Con los resultados del modelo de gestión, y en este caso sin modificar las funciones económicas de demanda, ya que no hay cambio en las demandas, se obtienen los resultados del modelo hidroeconómico que se presentan a continuación.

HIPÓTESIS MODIFICACIÓN PRIORIDADES		
	Coste de Escasez Promedio Anual	Beneficio Anual
Valencia	2,525,665.31 €	368,084,983.83 €
Sagunto	173,852.11 €	46,030,365.19 €
Albacete	4,117,587.26 €	58,349,383.79 €
ATS Marina Baja	7,091,874.86 €	116,311,406.49 €
Cofrentes	67,749.33 €	758,080.00 €
Ac Real y Antella	27,134,332.88 €	144,386,048.76 €
Escalona y Carcagente	7,092,621.28 €	36,415,510.75 €
Sueca	4,653,479.83 €	19,796,419.65 €
Cuatro Pueblos	683,572.21 €	2,972,863.56 €
Cullera	2,571,189.16 €	10,340,916.20 €
Canal J-T	29,835,409.86 €	87,541,049.45 €
Sustitución Mancha	433,657.68 €	2,545,881.91 €
Zona Albacete	- €	26,192,982.71 €
A Ac Real	341,792.07 €	1,421,851.52 €
A Sueca	458,439.49 €	2,643,433.01 €
A Cullera	323,213.72 €	1,835,852.08 €
A Cuatro Pueblos	70,583.23 €	394,458.63 €
TOTAL DEMANDAS CONSUNTIVAS	87,575,020.29 €	926,021,487.54 €
CH Cofrentes	2,360,916.67 €	12,792,000.00 €
CH Cortes II	11,492,436.67 €	70,110,000.00 €
CH Millares	2,725,065.00 €	11,808,000.00 €
TOTAL DEMANDAS HIDROELÉCTRICAS	16,578,418.33 €	94,710,000.00 €

Tabla 65: Promedios anuales del coste de escasez y el beneficio para las demandas en el escenario de Hipótesis Modificación de Prioridades.

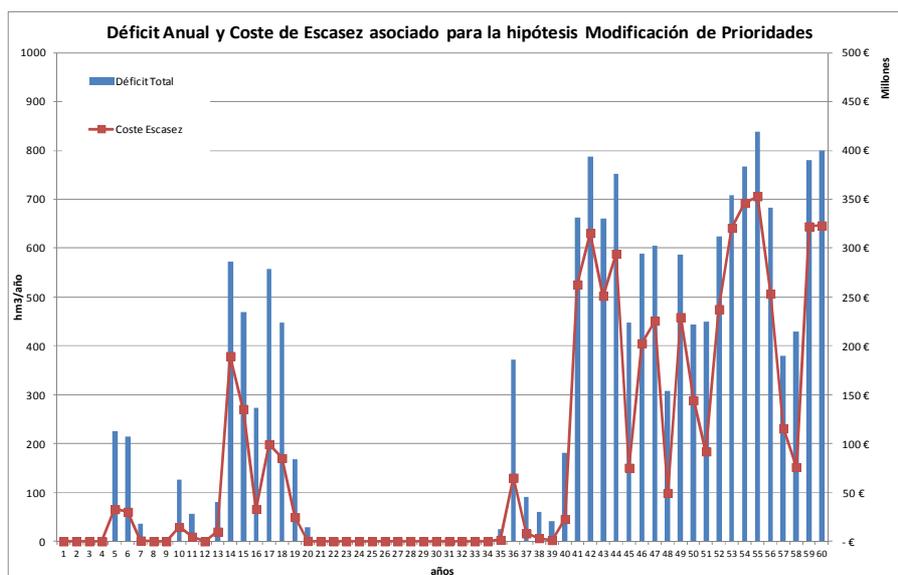


Figura 170: Déficit anual y coste de escasez asociado para el escenario de Hipótesis Modificación de Prioridades.

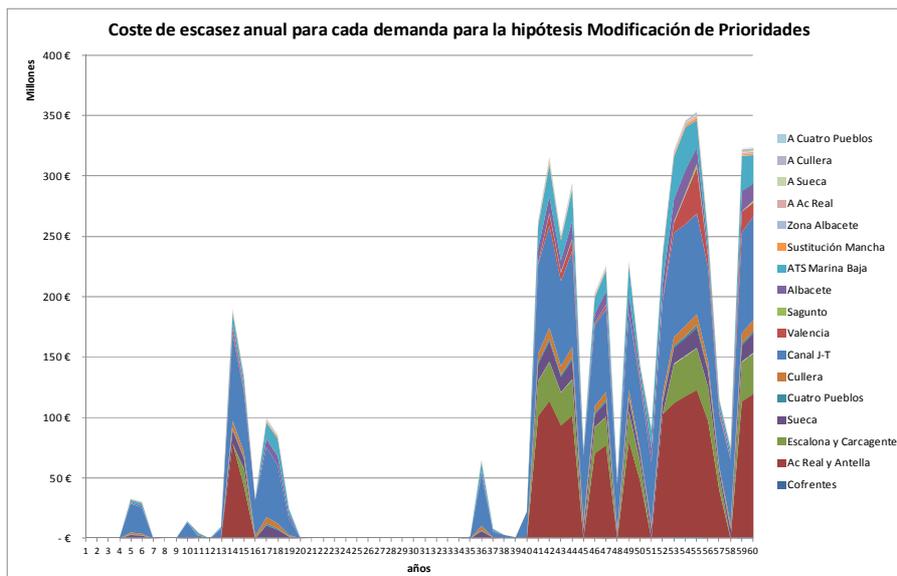


Figura 171: Coste de escasez anual para cada demanda para el escenario de Hipótesis Modificación de Prioridades.

5.8.4.5 Mercados del agua

Esta propuesta de estrategia de adaptación tiene un carácter especial, ya que con ella no se seguirá la misma metodología que con las anteriores, realizando una simulación en el modelo de gestión y posteriormente extrayendo resultados económicos del modelo hidroeconómico.

Para el presente apartado simplemente se tendrán en cuenta los resultados del modelo hidroeconómico del escenario del Largo Plazo, y se plantearán posibilidades de inclusión de mercados del agua con que dos demandas —la compradora (habitualmente demanda urbana) y la vendedora (habitualmente demanda agrícola)— puedan llegar a un acuerdo a través de una estrategia ganar-ganar, ya que la demanda compradora está dispuesta a pagar mucho más por el agua que la demanda agrícola, y así se pueden reducir los costes de escasez totales.

Como se puede ver en el siguiente gráfico, las demandas urbanas tienen para el escenario de Largo Plazo déficits en gran parte de la serie, lo que implica costes de escasez, que en algunos de los años llegan a los 80 millones de euros, siendo especialmente importantes los costes de escasez de la ciudad de Valencia y de los abastecimientos de la Marina Baja.

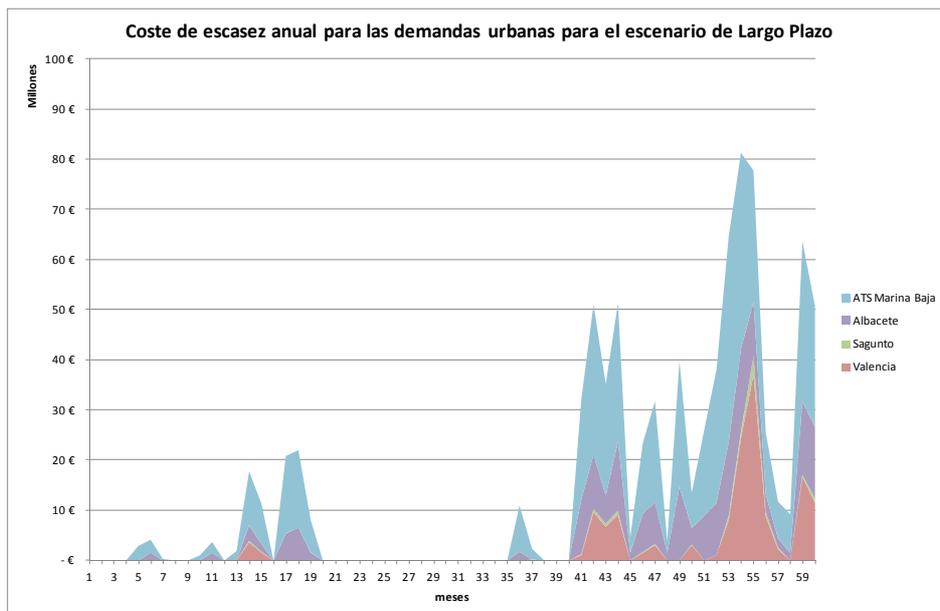


Figura 172: Costes de escasez anual para las demandas urbanas en el escenario de Largo Plazo.

Suponiendo que las demandas urbanas pueden comprar los derechos de agua a los regantes de la Mancha Oriental, que dejarían de bombear del acuífero los caudales que demandaran las demandas urbanas, se tiene que en la Mancha Oriental se tendrían unos déficits iguales a los de las demandas urbanas, pero que en este caso supondrían un coste de escasez mucho menor, por ser mucho menor su disponibilidad a pagar.

En el siguiente gráfico se puede ver el coste de escasez que supondría para los regantes de la Mancha Oriental el déficit generado por la venta de sus derechos de agua para suministrar a las demandas urbanas.

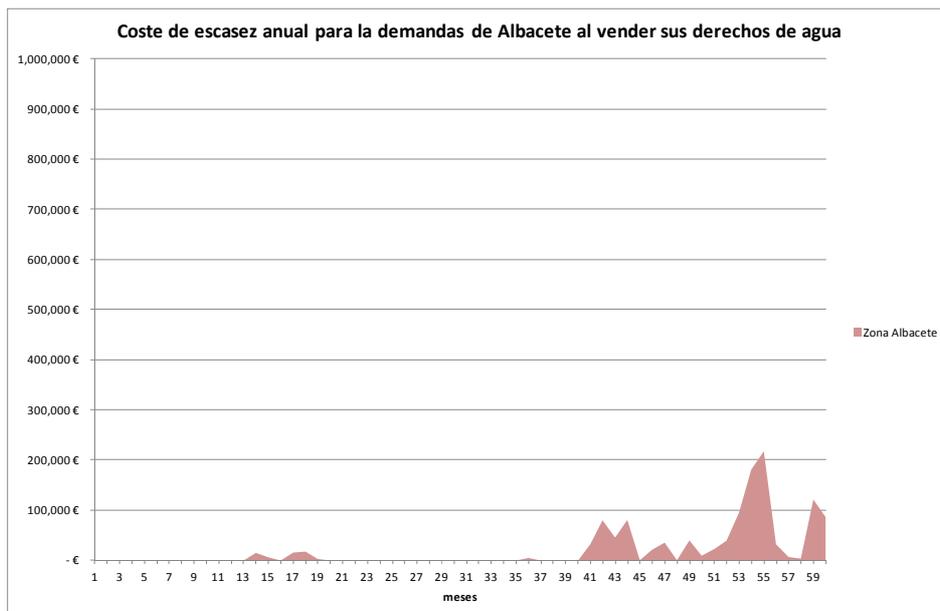


Figura 173: Coste de escasez anual para la demanda de los regantes de la Mancha Oriental al vender sus derechos de agua para el suministro de las demandas urbanas.

Como se puede ver en el gráfico, la venta de los derechos de agua en la zona de los bombeos de Albacete para el abastecimiento de los déficits urbanos solamente supondría en el peor de los años un coste de escasez de 200.000 € para la demanda agrícola en cuestión, mientras que el coste de escasez urbano para ese mismo año es de 80 millones de euros.

En promedio, los déficit urbanos en el escenario de largo plazo suponen un coste de escasez de 14 millones de euros anuales, mientras que ese mismo déficit supondría en los regadíos de la Mancha Oriental un coste de escasez de 20.416,72 €.

Con esta sencilla operación se pretende ilustrar que la implementación de los mercados de agua puede ser una herramienta de gestión del sistema muy eficaz para las épocas de sequía.

5.8.4.6 Comparación entre las estrategias de adaptación

A continuación se presentan los resultados globales entre los escenarios de hipótesis de estrategias de adaptación respecto al escenario de Largo Plazo, aunque se excluirá de algunas partes de esta comparación la estrategia de Mercados del Agua, por la diferente metodología que se ha utilizado para extraer los resultados.

Así pues se presentan a continuación las garantías mensuales, anuales y volumétricas para todas las demandas y para los escenarios de hipótesis considerados tomando como base el escenario de Largo Plazo:

Demanda	Escenario Largo Plazo (2071-2100)			Hipótesis Eficiencia			Hipótesis Reducción Mancha			Hipótesis Cambio Prioridades		
	Garantía Mensual	Garantía Anual	Garantía Volumétrica	Garantía Mensual	Garantía Anual	Garantía Volumétrica	Garantía Mensual	Garantía Anual	Garantía Volumétrica	Garantía Mensual	Garantía Anual	Garantía Volumétrica
Valencia	92.90%	83.30%	98.00%	94.70%	83.30%	98.30%	99.60%	96.70%	99.80%	92.90%	81.70%	97.90%
Sagunto	94.30%	86.70%	98.70%	95.60%	86.70%	98.70%	99.60%	96.70%	99.80%	95.60%	90.00%	98.80%
Albacete	85.80%	53.30%	87.00%	90.00%	65.00%	90.70%	97.40%	80.00%	97.80%	81.00%	48.30%	84.40%
Marina Baja ATS	81.00%	46.70%	83.00%	87.80%	63.30%	88.70%	95.00%	75.00%	95.80%	81.40%	48.30%	84.60%
CN Cofrentes	89.90%	63.30%	91.10%	92.50%	73.30%	93.40%	99.20%	93.30%	99.40%	89.90%	63.30%	91.10%
Ac. Real y de Antella	68.30%	46.70%	73.50%	74.40%	65.00%	84.90%	80.70%	71.70%	91.10%	67.50%	45.00%	70.80%
Escalona y Carcagente	39.90%	45.00%	69.70%	54.70%	65.00%	81.60%	56.00%	70.00%	88.50%	39.90%	43.30%	66.60%
Sueca	47.50%	45.00%	68.10%	65.30%	65.00%	80.70%	66.80%	66.70%	86.00%	47.60%	43.30%	68.90%
Cuatro Pueblos	47.50%	45.00%	67.80%	65.30%	65.00%	80.40%	66.80%	66.70%	85.80%	47.60%	43.30%	69.40%
Cullera	47.50%	43.30%	67.50%	65.30%	65.00%	80.30%	66.80%	66.70%	85.70%	47.60%	43.30%	68.50%
Canal Júcar Turia	61.20%	41.70%	55.80%	74.30%	65.00%	71.50%	75.60%	63.30%	77.40%	61.40%	41.70%	60.40%
Sustitución Mancha	62.20%	43.30%	61.60%	75.00%	65.00%	74.70%	77.10%	65.00%	78.40%	62.20%	43.30%	62.90%
Zona Albacete	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Arroz Ac Real	64.40%	46.70%	72.60%	68.60%	65.00%	84.00%	77.80%	71.70%	90.40%	61.70%	43.30%	69.20%
Arroz Sueca	47.50%	43.30%	72.90%	65.30%	65.00%	83.90%	66.80%	66.70%	88.70%	47.60%	43.30%	74.40%
Arroz Cullera	47.50%	43.30%	72.80%	65.30%	65.00%	83.80%	66.80%	66.70%	88.60%	47.60%	43.30%	74.30%
Arroz Cuatro Pueblos	47.50%	43.30%	72.90%	65.30%	65.00%	83.90%	66.80%	66.70%	88.70%	47.60%	43.30%	73.90%

Tabla 66: Comparación de las garantías obtenidas para las demandas para las hipótesis planteadas respecto al escenario de Largo Plazo.

En los siguientes gráficos se presentan la comparación de los totales anuales de déficits, volúmenes embalsados en los tres embalses principales y volúmenes anuales turbinados en las tres centrales hidroeléctricas consideradas.

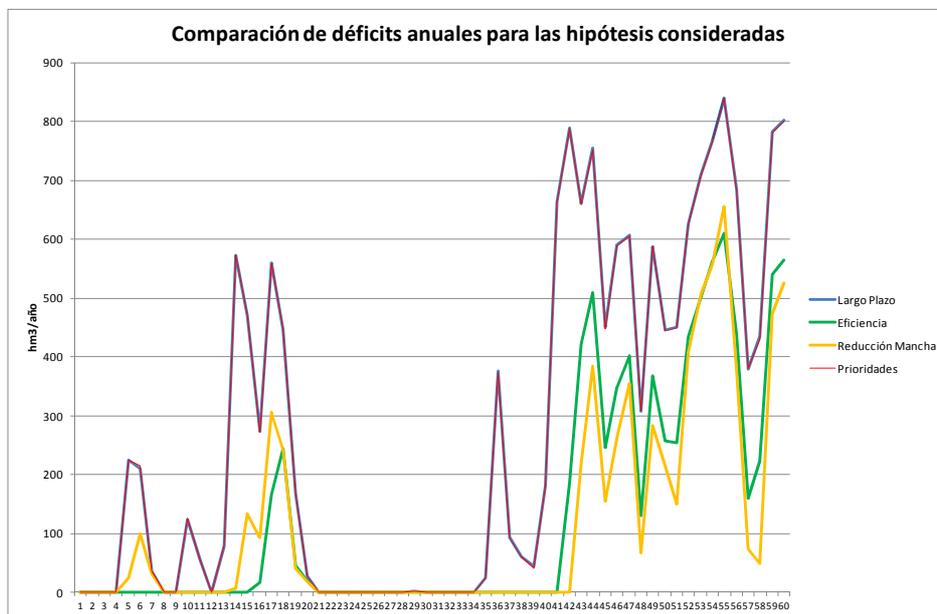


Figura 174: Comparación de déficits anuales para las hipótesis consideradas.

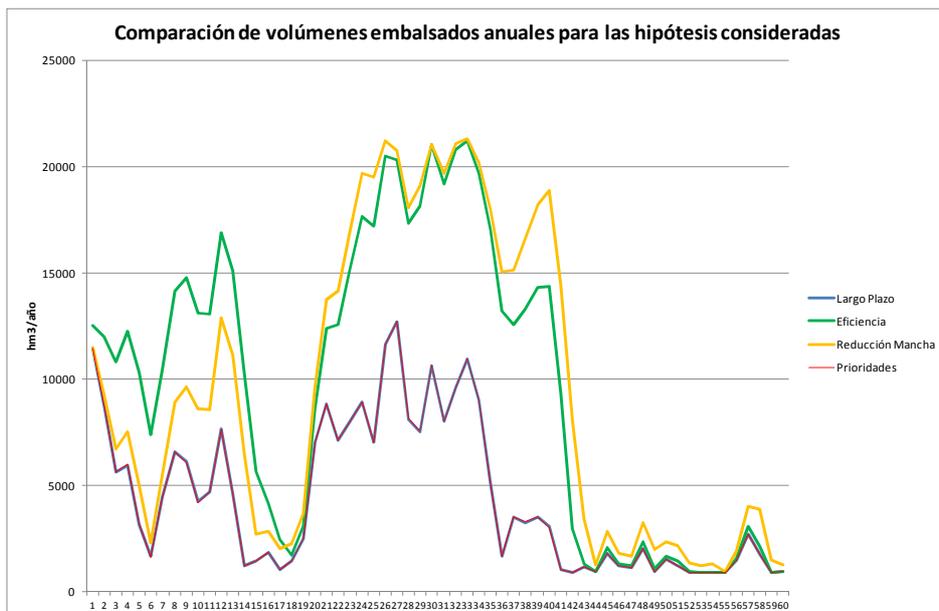


Figura 175: Comparación de volúmenes anuales embalsados para las hipótesis consideradas.

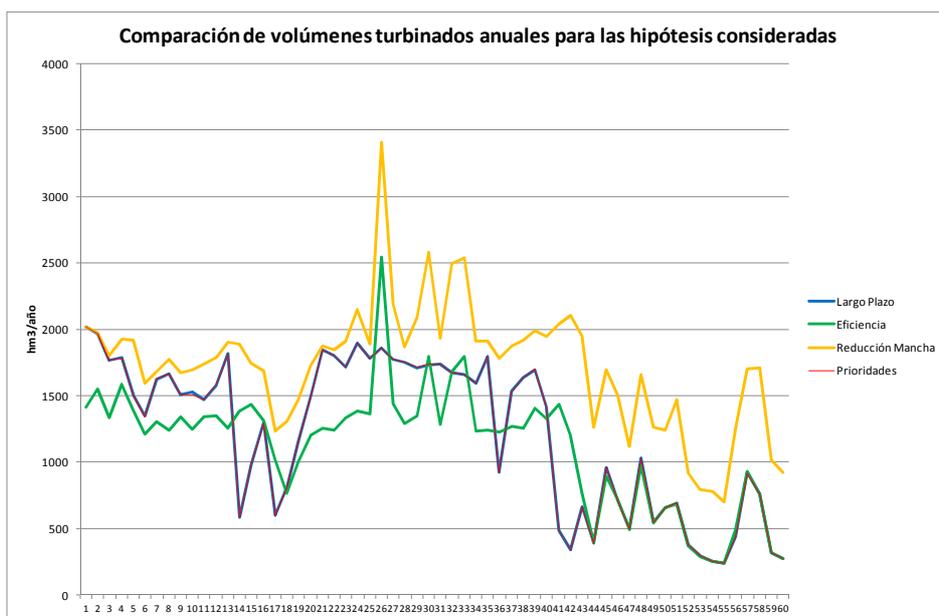


Figura 176: Comparación de volúmenes anuales turbinados para las hipótesis consideradas.

Por lo que se refiere a la comparación de los resultados de los modelos hidroeconómicos, se presenta en la siguiente tabla los resultados comparados para todas las hipótesis del coste de escasez para cada una de las demandas, y en el gráfico siguiente el coste de escasez total para todas las hipótesis. En el análisis hidroeconómico se ha incluido también la hipótesis de Mercados del Agua, tal como se ha planteado anteriormente.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS PARA LOS ESCENARIOS OBTENIDOS

	Coste de Escasez Promedio Escenario Largo Plazo		Coste de Escasez Promedio Hipótesis Eficiencia		Coste de Escasez Promedio Hipótesis Reducción Mancha		Coste de Escasez Promedio Hipótesis Prioridades		Coste de Escasez Promedio Hipótesis Mercados Agua	
	Largo Plazo		Eficiencia		Reducción Mancha		Cambio Prioridades		Mercados Agua	
Valencia	2,501,785.95 €	2,059,993.80 €	184,734.95 €	2,525,665.31 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Sagunto	198,528.19 €	198,504.23 €	21,946.92 €	173,852.11 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Albacete	3,294,932.57 €	2,315,475.67 €	419,261.56 €	4,117,587.26 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
ATS Marina Baja	8,047,522.61 €	5,308,759.35 €	1,511,404.04 €	7,091,874.86 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Cofrentes	67,760.00 €	50,384.00 €	4,554.67 €	67,749.33 €	67,760.00 €	67,760.00 €	67,749.33 €	67,760.00 €	67,760.00 €	67,760.00 €
Ac Real y Antella	24,946,251.40 €	10,610,615.72 €	3,697,021.11 €	27,134,332.88 €	24,946,251.40 €	24,946,251.40 €	27,134,332.88 €	24,946,251.40 €	24,946,251.40 €	24,946,251.40 €
Escalona y Carcagente	6,825,069.32 €	2,920,975.38 €	1,092,414.05 €	7,092,621.28 €	6,825,069.32 €	6,825,069.32 €	7,092,621.28 €	6,825,069.32 €	6,825,069.32 €	6,825,069.32 €
Sueca	4,814,255.63 €	1,851,045.70 €	1,190,997.33 €	4,653,479.83 €	4,814,255.63 €	4,814,255.63 €	4,653,479.83 €	4,814,255.63 €	4,814,255.63 €	4,814,255.63 €
Cuatro Pueblos	749,634.31 €	280,047.91 €	219,618.69 €	683,572.21 €	749,634.31 €	749,634.31 €	683,572.21 €	749,634.31 €	749,634.31 €	749,634.31 €
Cullera	2,687,739.85 €	994,223.19 €	968,064.35 €	2,571,189.16 €	2,687,739.85 €	2,687,739.85 €	2,571,189.16 €	2,687,739.85 €	2,687,739.85 €	2,687,739.85 €
Canal J-T	34,846,231.08 €	22,423,596.00 €	15,568,324.06 €	29,835,409.86 €	34,846,231.08 €	34,846,231.08 €	29,835,409.86 €	34,846,231.08 €	34,846,231.08 €	34,846,231.08 €
Sustitución Mancha	456,861.03 €	304,015.71 €	218,524.81 €	433,657.68 €	456,861.03 €	456,861.03 €	433,657.68 €	456,861.03 €	456,861.03 €	456,861.03 €
Zona Albacete	- €	- €	- €	- €	20,416.72 €	20,416.72 €	- €	20,416.72 €	20,416.72 €	20,416.72 €
A Ac Real	291,880.57 €	111,828.02 €	81,916.72 €	341,792.07 €	291,880.57 €	291,880.57 €	341,792.07 €	291,880.57 €	291,880.57 €	291,880.57 €
A Sueca	501,381.07 €	178,923.79 €	159,872.42 €	458,439.49 €	501,381.07 €	501,381.07 €	458,439.49 €	501,381.07 €	501,381.07 €	501,381.07 €
A Cullera	351,590.53 €	125,573.10 €	112,595.40 €	323,213.72 €	351,590.53 €	351,590.53 €	323,213.72 €	351,590.53 €	351,590.53 €	351,590.53 €
A Cuatro Pueblos	75,045.22 €	26,793.78 €	23,906.30 €	70,583.23 €	75,045.22 €	75,045.22 €	70,583.23 €	75,045.22 €	75,045.22 €	75,045.22 €
TOTAL DEMANDAS CONSUNTIVAS	90,656,469.33 €	49,760,755.35 €	25,475,157.37 €	87,575,020.29 €	76,634,116.73 €	76,634,116.73 €	87,575,020.29 €	76,634,116.73 €	76,634,116.73 €	76,634,116.73 €

Tabla 67 Comparación del promedio anual del Coste de Escasez para todas las demandas en las hipótesis consideradas.

COMPARACIÓN DE INDICADOR PERJUICIO ECONÓMICO

	Indicador Perjuicio Escenario Largo Plazo	Indicador Perjuicio Hipótesis Eficiencia	Indicador Perjuicio Hipótesis Reducción Mancha	Indicador Perjuicio Hipótesis Prioridades	Indicador Perjuicio Hipótesis Mercados
	Valencia	0.6797%	0.5597%	0.0502%	0.6862%
Sagunto	0.4313%	0.4312%	0.0477%	0.3777%	0.0000%
Albacete	5.6469%	3.9683%	0.7185%	7.0568%	0.0000%
ATS Marina Baja	6.9189%	4.5643%	1.2994%	6.0973%	0.0000%
Cofrentes	8.9384%	6.6463%	0.6008%	8.9370%	8.9384%
Ac Real y Antella	17.2775%	10.5911%	2.5605%	18.7929%	17.2775%
Escalona y Carcagente	18.7422%	12.1445%	2.9999%	19.4769%	18.7422%
Sueca	24.3188%	14.7110%	6.0162%	23.5067%	24.3188%
Cuatro Pueblos	25.2159%	15.0660%	7.3874%	22.9937%	25.2159%
Cullera	25.9913%	15.2658%	9.3615%	24.8642%	25.9913%
Canal J-T	39.8056%	25.6149%	17.7840%	34.0816%	39.8056%
Sustitución Mancha	17.9451%	11.9415%	8.5835%	17.0337%	17.9451%
Zona Albacete	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0779%
A Ac Real	20.5282%	11.4695%	5.7613%	24.0385%	20.5282%
A Sueca	18.9670%	10.7683%	6.0479%	17.3426%	18.9670%
A Cullera	19.1514%	10.8830%	6.1331%	17.6057%	19.1514%
A Cuatro Pueblos	19.0249%	10.8072%	6.0605%	17.8937%	19.0249%

Tabla 68: Comparación del indicador de perjuicio económico para todas las demandas en las hipótesis consideradas.

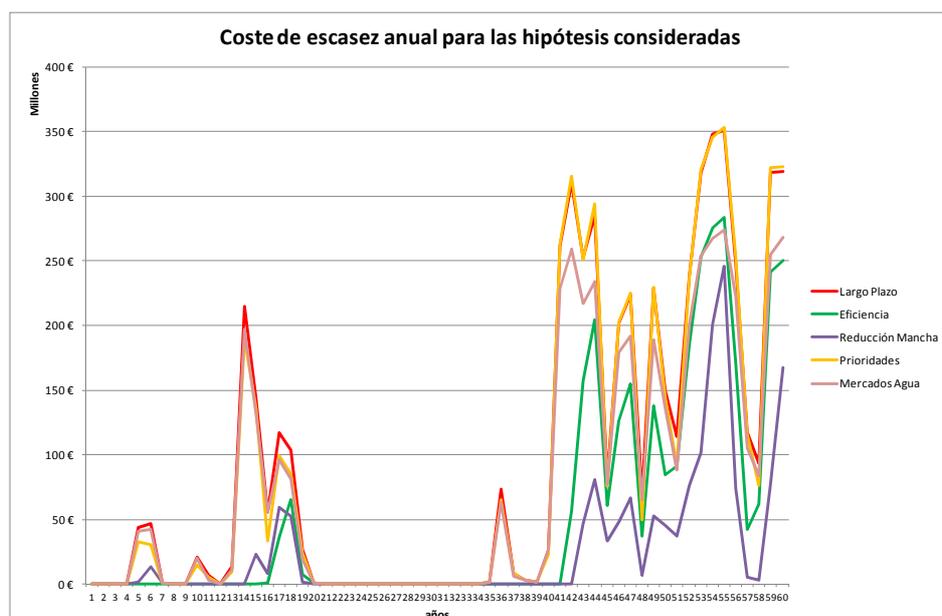


Figura 177: Coste de escasez anual para las hipótesis consideradas en la serie completa.

5.8.5 Conclusiones sobre las estrategias de adaptación

Como se puede observar en el análisis hidroeconómico, la estrategia de la reducción de demandas en la Mancha Oriental es la que genera unas mayores reducciones en los costes de escasez, seguida por el incremento en la eficiencia en los regadíos tradicionales de la Ribera del Júcar, la implementación de Mercados del Agua y finalmente de la modificación en la asignación de prioridades.

Si se consideran cada una de ellas por separado, se tiene lo siguiente:

- La estrategia de mejora de eficiencia en los regadíos tradicionales de la Ribera del Júcar suponen una reducción de casi 41 millones de euros anuales, lo que supone una reducción del 45,11% del promedio anual del coste de escasez. La distribución del coste de escasez entre las demandas es similar a la del escenario de Largo Plazo.
- La estrategia de reducción de demandas en la Mancha Oriental supone una reducción de 65 millones de euros anuales en el coste de escasez, lo que supone un 71,90% del promedio anual del coste de escasez. La distribución del coste entre las demandas es similar, aunque se observa que se reducen sustancialmente los costes de escasez de las demandas urbanas.
- La modificación en la asignación de prioridades supone una reducción anual de 3 millones de euros en el coste de escasez, lo que supone un 3,40% del total. En este caso sí que se observa un cambio en la distribución del coste de escasez entre las demandas, mejorando bastante las demandas del Canal Júcar-Turía y las de los regadíos tradicionales de la Ribera Baja, aunque siguen siendo las más perjudicadas económicamente, lo que hace concluir que no dependen únicamente de su prioridad en la asignación, sino de la disponibilidad de recursos. Aunque el importe de la reducción del coste de escasez promedio anual sea el menor de entre todas las estrategias de adaptación, cabe señalar que en esta estrategia no se impone ninguna restricción a las demandas, ni hace falta realizar grandes inversiones más que las que implica modificar la gestión del sistema.

- Por lo que se refiere a la implementación de los Mercados de Agua, se puede observar que suponen una reducción de 14 millones de euros en el promedio anual del coste de escasez, lo que supone un 15,47% del total. Del mismo modo que en la anterior propuesta de estrategia de adaptación, esta medida no implica actuaciones ni inversiones, sino únicamente un cambio en el sistema de gestión.

Como se ha comentado las reducciones en el coste de escasez tienen una entidad muy importante (del 45%, 72%, 3% y 15% respectivamente), y por importes totales de millones de euros anuales, lo que demuestran su potencial aplicabilidad. Además de esto, estas estrategias podrían combinarse entre sí para conseguir una mayor adaptabilidad del sistema a los posibles impactos del cambio climático.

6.- Conclusiones

6.1 Introducción

En los siguientes epígrafes se describen las principales conclusiones del trabajo de investigación realizado, las limitaciones que se han de tener en cuenta en cuanto a los resultados obtenidos, las aportaciones que se consideran originales y finalmente se esbozan las líneas de investigación en las que se podría seguir trabajando para la mejora de los resultados del trabajo actual.

6.2 Síntesis y conclusiones del trabajo

Se ha implementado y aplicado una metodología completa para la definición y análisis hidroeconómico de estrategias de adaptación al cambio climático en sistemas de gestión de recursos hídricos, desde la selección de los escenarios climáticos, la generación de variables climáticas para escenarios futuros, la implementación de un modelo lluvia – escorrentía con el que se generen las aportaciones futuras del sistema, el estudio de las demandas actuales y la estimación de las futuras, la inclusión de todos los datos anteriores en un modelo de gestión de simulación de recursos hídricos, la generación de un modelo hidroeconómico a partir de los resultados del modelo de gestión, la aplicación de una metodología para la selección de estrategias de adaptación, la concreción de esas estrategias en medidas concretas y la evaluación hidroeconómica de estas medidas de adaptación.

A continuación se describen las principales conclusiones que se han obtenido en cada uno de los pasos mencionados anteriormente:

- Selección de modelos climáticos: en este apartado cabe remarcar que se han actualizado, respecto a otros estudios anteriores, los datos de las variables climáticas con la consideración de cambio climático para la cuenca del Júcar, al realizar un análisis completo de los resultados del proyecto ENSEMBLES (ENSEMBLES, 2009).

Así pues, a partir de los resultados de los Modelos Regionales del Clima existentes en este proyecto, se ha realizado una calibración con los datos

históricos existentes, y se han seleccionado 6 de los 13 modelos analizados para continuar con el trabajo de la generación de las series futuras —DMI HIRHAM, GKSSCLM, KNMI RACMO2 y MPI M REMO, UCLM PROMES Y OURANOS MRCC—.

También se realizó un análisis para los años de la calibración únicamente con años extremos —muy secos y muy húmedos— y se concluyó que la mayoría de los modelos que ajustaban mejor a la serie completa también eran los mejores en las series húmedas o secas.

Cabe mencionar para concluir, que si bien los datos de temperatura están muy bien ajustados a la serie histórica en la mayoría de los modelos climáticos regionales del proyecto ENSEMBLES, existe una dispersión mucho más grande en los datos de los ajustes de los modelos a la serie histórica de la precipitación para la cuenca del Júcar.

- Generación de series futuras: La información disponible para los modelos climáticos regionales que mejor ajustan a las series histórica ha sido empleada para generar las variables climáticas de los tres escenarios futuros que se proponen para el análisis posterior: Corto Plazo (2011 – 2040), Medio Plazo (2041 – 2070) y Largo Plazo (2071 – 2100). Para ello se han perturbado las series históricas con las anomalías en medias y desviación típica obtenidas para dichos modelos aplicando la metodología descrita por Pulido-Velázquez et al. (2011).
- Implementación del modelo lluvia – escorrentía: el objetivo final de la implementación de un modelo lluvia – escorrentía es la obtención de las aportaciones para los escenarios futuros en el sistema.

En el presente trabajo se han obtenido las series futuras de aportaciones mediante dos métodos: el primero mediante la perturbación de las series históricas con la variación en media y desviación típica de las series futuras de precipitación y temperatura a partir de un modelo lluvia – escorrentía pseudodistribuido (formado por 8 modelos de Témez calibrados por

subcuencas); el segundo de los métodos ha sido a partir de la extracción de los datos de aportaciones de los 6 modelos climáticos regionales de ENSEMBLES que se seleccionaron en la calibración de la selección de los modelos.

Al respecto de la comparación entre ambos métodos se concluye que los ajustes de los modelos de Témez a la serie histórica son mucho mejores que los ajustes de los modelos de ENSEMBLES, que en muchas de las subcuencas dan unos resultados muy pobres respecto a las aportaciones simuladas.

Además, en lo que se refiere a la variabilidad de las aportaciones en los escenarios futuros se puede observar que los modelos de Témez tienen mucha mayor consistencia, ya que la respuesta es muy similar en todas las subcuencas, mientras que los modelos de ENSEMBLES tienen una variabilidad mucho mayor, lo que les resta mucha fiabilidad.

Con todo esto se concluye que las aportaciones obtenidas a partir de los modelos de Témez tienen mucha mayor fiabilidad que los datos de aportaciones obtenidos a partir de los MCRs de ENSEMBLES.

- Efectos sobre la demanda: se ha realizado un estudio y actualización a los últimos datos publicados (CHJ, 2009) de las demandas del Sistema de Explotación Júcar.

A partir de estos datos se ha realizado la estimación de las demandas para los escenarios futuros a partir de datos de trabajos estadísticos en el caso de las demandas urbanas, y mediante la ayuda de un modelo agronómico de estimación de demandas a partir de las variables climáticas futuras generadas anteriormente.

Como conclusión respecto a las demandas urbanas se tiene que estas crecerán un 4,48% para el escenario de corto plazo, y un 8,46% para los escenarios de medio y largo plazo, suponiendo que la población se tenderá a estabilizarse a partir de 2050 (UN, 2011).

Por lo que se refiere a las demandas agrícolas, se esperan las variaciones porcentuales que se presentan en la siguiente tabla:

Tipo de cultivo	Zona	Variación Porcentual CP	Variación Porcentual MP	Variación Porcentual LP
Trigo	Mancha Oriental	105.53%	120.56%	126.65%
Cebada	Mancha Oriental	105.53%	120.56%	126.65%
Maíz	Mancha Oriental	105.56%	120.02%	126.07%
Viña	Mancha Oriental	105.63%	122.86%	128.99%
Cebolla	Mancha Oriental	105.39%	120.56%	126.46%
Alfalfa	Mancha Oriental	104.97%	119.16%	124.84%
Cítricos	Ribera del Júcar	101.85%	141.76%	148.37%
Arroz	Ribera del Júcar	103.26%	121.71%	126.73%

Tabla 69: Variación porcentual para los distintos cultivos agrícolas en los escenarios futuros planteados.

- Modelos de gestión de recursos hídricos: Una vez obtenidas las aportaciones y las demandas para los escenarios futuros se realizó la simulación de estos cuatro escenarios —histórico, Corto Plazo, Medio Plazo y Largo Plazo— con el modelo de gestión de recursos hídricos SIMGES de Aquatool.

Como conclusiones cabe remarcar que se observa claramente en los resultados que las garantías en las demandas disminuyen progresivamente en los escenarios de corto, medio y largo plazo respecto al escenario histórico (existiendo un salto importante entre el medio plazo y el largo plazo en que parte de las garantías mensuales pasan de estar entre el 75%-80% a estar entre el 40%-50%), mientras que los déficits tienen el sentido inverso, aumentan de un modo muy importante en cada paso entre los escenarios histórico, de corto plazo, de medio plazo y de largo plazo.

De un modo similar se comportan los almacenamientos en los embalses, en los que se acusa especialmente la disminución de volumen el paso de la consideración del escenario de Medio Plazo al Largo Plazo.

Y ya para concluir, señalar que los volúmenes turbinados en las centrales hidroeléctricas también tienen una disminución progresiva, aunque en este caso en el escenario de Medio Plazo los volúmenes turbinados son mayores que en el escenario de Corto Plazo ya que las aportaciones en este escenario se incrementan sobretodo en los meses de invierno. Finalmente, la reducción del volumen turbinado en el escenario del Largo Plazo es muy acusado.

- Análisis hidroeconómico: Una vez obtenidos los resultados del modelo de simulación de la gestión de los recursos hídricos, el siguiente paso fue el de realizar un análisis hidroeconómico de los escenarios planteados. En primer lugar se obtuvieron las funciones económicas de demanda para cada una de las demandas a partir de estudios precedentes, y posteriormente se realizó el análisis de los costes de escasez de las demandas.

Como se puede ver con detenimiento en el apartado 5.7, los resultados del coste de escasez promedio anual pasa de los 944,078.11€ para el escenario histórico, a los 90,656,469.33 € anuales en el escenario de Largo Plazo, con resultados intermedios de 8,176,624.20 € para el escenario de Corto Plazo y 20,664,082.08 € para el escenario de Medio Plazo.

Cabe mencionar en este punto que de los resultados del análisis hidroeconómico también se desprende que algunas de las demandas (principalmente la del Canal Júcar-Turia y la Acequia Real) son las que presentan unos mayores perjuicios económicos.

- Estrategias de adaptación: Siguiendo la metodología descrita por Pulido-Velázquez et al. (2001), se ha realizado un análisis con indicadores de los escenarios planteados.

Además de los indicadores propuestos por la mencionada metodología, también se ha propuesto la inclusión de un *Indicador de Perjuicio Económico* que evalúe la equidad en los perjuicios económicos de las demandas, y a partir del cual también se puedan identificar propuestas de estrategias de adaptación.

Así pues, se tiene que el sistema tiene unos indicadores aceptables para los escenarios a corto y medio plazo, pero para el largo plazo el sistema resulta vulnerable, poco fiable y con exceso de demandas para los recursos existentes. Las soluciones, según esta metodología, se basan en la gestión de las demandas y en la obtención de recursos complementarios. Además, y teniendo en cuenta el indicador de perjuicio económico para las demandas se puede observar que

el sistema tiene poca equidad, ya que algunas de las demandas son las que cargan mayoritariamente con el perjuicio, por lo que se propone que algunas de las medidas de adaptación también pueden ir en el camino de disminuir el perjuicio de estas demandas, o mejor dicho, de igualar el perjuicio relativo de las demandas, aumentando la equidad.

Con todo esto, se propusieron las siguientes estrategias de adaptación:

- Actuaciones sobre la demanda: mejora de las eficiencias en los regadíos tradicionales de la Ribera del Júcar y la reducción de la demanda en la Mancha Oriental.
- Actuaciones sobre la gestión del sistema: cambio en la asignación de prioridades y implementación de mercados del agua.
- Actuaciones sobre los recursos: aunque en el presente trabajo no se plantearon actuaciones sobre los recursos adicionales, cabe mencionar que la metodología implementada puede servir perfectamente para realizar un análisis hidroeconómico de este tipo de medidas para evaluarlas económicamente y para compararlas con otro tipo de medidas.

Con las propuestas de estrategias de actuación planteadas, se realizó una simulación mediante el modelo de gestión de recursos y un análisis hidroeconómico posterior, obteniendo las siguientes conclusiones:

- La estrategia de mejora de eficiencia en los regadíos tradicionales de la Ribera del Júcar suponen una reducción de casi 41 millones de euros anuales, lo que supone una reducción del 45,11% del promedio anual del coste de escasez. La distribución del coste de escasez entre las demandas es similar a la del escenario de Largo Plazo.
- La estrategia de reducción de demandas en la Mancha Oriental supone una reducción de 65 millones de euros anuales en el coste de escasez, lo que supone un 71,90% del promedio anual del coste de escasez. La

distribución del coste entre las demandas es similar, aunque se observa que se reducen sustancialmente los costes de escasez de las demandas urbanas.

- La modificación en la asignación de prioridades supone una reducción anual de 3 millones de euros en el coste de escasez, lo que supone un 3,40% del total. En este caso sí que se observa un cambio en la distribución del coste de escasez entre las demandas, mejorando bastante las demandas del Canal Júcar-Turía y las de los regadíos tradicionales de la Ribera Baja, aunque siguen siendo las más perjudicadas económicamente, lo que hace concluir que no dependen únicamente de su prioridad en la asignación, sino de la disponibilidad de recursos. Aunque el importe de la reducción del coste de escasez promedio anual sea el menor de entre todas las estrategias de adaptación, cabe señalar que en esta estrategia no se impone ninguna restricción a las demandas, ni hace falta realizar grandes inversiones más que las que implica modificar la gestión del sistema.
- Por lo que se refiere a la implementación de los Mercados de Agua, se puede observar que suponen una reducción de 14 millones de euros en el promedio anual del coste de escasez, lo que supone un 15,47% del total. Del mismo modo que en la anterior propuesta de estrategia de adaptación, esta medida no implica actuaciones ni inversiones, sino únicamente un cambio en el sistema de gestión.

Como se ha comentado las reducciones en el coste de escasez tienen una entidad muy importante (del 45%, 72%, 3% y 15% respectivamente), y por importes totales de millones de euros anuales, lo que demuestran su potencial aplicabilidad. Además de esto, estas estrategias podrían combinarse entre sí para conseguir una mayor adaptabilidad del sistema a los posibles impactos del cambio climático

Con todo esto, y tal como se ha comentado al inicio de las conclusiones, se considera que se ha implementado y aplicado una metodología completa para realizar un análisis

de las estrategias de adaptación al cambio climático para un sistema de gestión de recursos hídricos, y que podría ser aplicado en cualquier otra cuenca o sistema de gestión simplemente siguiendo los pasos que se han planteado en el presente trabajo.

6.3 Limitaciones

Como en todo trabajo de investigación cabe mencionar en este punto las limitaciones que se consideran importantes en cuanto al trabajo realizado. Se tratan de resumir a continuación las que se consideran de interés:

- Como se ha referido en otros trabajos de investigación (Chirivella, 2010), las grandes incertidumbres existentes en toda la generación de los modelos climáticos hace que existan muchas dudas en cuanto a los resultados que se extraen. Sobre todo en el estudio de los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos es muy importante mencionar la gran dispersión existente en las previsiones de precipitación por los distintos modelos climáticos, lo que hace surgir ciertas dudas en cuanto a la aplicación de los resultados.
- Una vez seleccionados los modelos de ENSEMBLES que mejor ajuste presentaban, se ha realizado el trabajo a partir de los resultados promedios de estos seis modelos, y no con cada uno de ellos por separado, por la gran cantidad de procesamiento de información que hubiera sido necesaria. Con esto, se realiza la suposición de los seis modelos tienen la misma posibilidad de presentarse en el futuro.
- Como se ha comentado en los respectivos apartados, el modelo lluvia escorrentía seleccionado es un modelo de Témez pseudo-distribuido por subcuencas, lo que obliga a tener las series históricas disponibles para la aplicación de la metodología.
- En lo que se refiere a la obtención de las demandas urbanas, se ha realizado la hipótesis de que los patrones de consumo no cambiarán en el futuro, aunque existen estudios que correlacionan el consumo doméstico de agua con la temperatura, lo que implicaría un cambio del patrón de consumo por la consideración del aumento de temperaturas debido al cambio climático.

- En cuanto a las demandas agrícolas, no se ha considerado los cambios en las demandas asociados al incremento de las concentraciones de CO₂ en los escenarios futuros, ya que no se han encontrado estudios en la bibliografía de sencilla aplicación para la metodología desarrollada.
- También es necesario comentar que el modelo de gestión de recursos hídricos presenta una simplificación de la tremenda complejidad del sistema de explotación Júcar, aunque se considera más que válido para el tipo de resultados que se han obtenido.
- Por lo que se refiere al análisis hidroeconómico, éste es completamente dependiente de las funciones económicas de demanda obtenidas, lo que condiciona los resultados obtenidos a la bondad de aproximación de esas curvas de demanda a la realidad económica.
- Otra limitación del presente trabajo reside en la definición de las propuestas de adaptación realizadas, ya que evidentemente estas propuestas hubieran podido ser muchas más, la combinación de ellas, etc. Pero se considera que es una muestra de la aplicación de la metodología y del tipo de propuestas que se pueden realizar con el conocimiento del sistema.
- Finalmente también cabe señalar que no se ha realizado ninguna cuantificación de las incertidumbres asociadas a cada parte de la metodología, ni ningún análisis de sensibilidad de los resultados respecto al cambio en los parámetros, variables o modelos implementados.

6.4 Aportaciones

Se considera que la implementación y aplicación de una metodología completa para realizar un análisis hidroeconómico de las estrategias de adaptación al cambio climático para un sistema de gestión de recursos hídricos es en sí mismo una aportación, ya que aunque existen en la bibliografía múltiples investigaciones de muchas de las partes que integran el presente trabajo, no se han encontrado metodologías completas, aplicadas de la cuantificación económica de las estrategias de adaptación al cambio climático en un sistema de gestión de recursos hídricos.

Por lo que se refiere a la implementación del modelo lluvia – escorrentía, se ha realizado una comparación de los resultados del modelo con los datos de salida de aportaciones de los modelos climáticos ENSEMBLES para la cuenca del Júcar, la cual cosa se considera una aportación original del presente trabajo.

También se ha realizado la propuesta de un nuevo indicador económico —*Indicador de Perjuicio Económico*— a añadir a los indicadores que existen en la bibliografía para la generación de propuestas de adaptación, que puede servir como indicador de la equidad en los perjuicios económicos que se dan en un sistema de gestión de recursos hídricos.

Finalmente, como ya se ha mencionado, la propia cuantificación económica de las estrategias de adaptación se considera en sí mismo una aportación, ya que no existen estudios de este tipo con la consideración de cambio climático para la Cuenca del Júcar, y tampoco se han encontrado en otras cuencas españolas.

6.5 Necesidades de investigación y líneas futuras

Ya para concluir se incluye una enumeración de las necesidades de investigación que se han detectado en el desarrollo del presente trabajo:

- Modelos climáticos: evidentemente en los modelos climáticos queda mucho campo de investigación abierto, ya que aún existe fallos en la calibración de los modelos respecto a las series históricas y mucha dispersión en algunas de las variables climáticas predichas por los modelos. Por lo que se refiere al trabajo realizado, se considera que sería necesario realizar análisis geoestadísticos para incluir la variable espacial en la selección de los modelos climáticos.
- Modelos lluvia – escorrentía: los MCRs de ENSEMBLES presentan una gran dispersión en los resultados y un ajuste malo a las series históricas, por lo que se concluye que los modelos lluvia – escorrentía incluidos en los propios MCRs deben desarrollarse mucho más de lo que están en la actualidad.
- Estudios de las demandas futuras: por lo que se refiere a las demandas futuras es necesario desarrollar estudios agrícolas de las demandas con las condiciones

de cambio climático, para poder afinar mucho más en la gestión de los sistemas de recursos a partir de datos más fiables de demandas futuras. También se deben realizar estudios de los posibles cambios en los patrones de consumo urbano con la consideración de las nuevas condiciones climáticas.

- Análisis hidroeconómico: queda mucho campo abierto en lo que se refiere a la realización de estudios más fiables de obtención de funciones económicas de demanda, ya que los estudios existentes son escasos y con ya cierta antigüedad.
- Estrategias de adaptación: finalmente, en lo que se refiere a las estrategias de adaptación, sería conveniente realizar comparaciones entre estudios para diferentes cuencas de aplicación con la consideración cambio climático, para poder validar la metodología propuesta y aumentar el conocimiento sobre la tipología de estrategias de adaptación a realizar.

7.- Referencias

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

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), 2009: Generación de escenarios regionalizados de Cambio Climático para España. AEMET. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino.

Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu y J.P. Palutikof, Eds., 2008: El Cambio Climático y el Agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC, Ginebra, 224 págs.

Castro, M., 2006: Modelos climáticos globales y regionales. Escenarios de cambio climático en Europa. Instituto de Ciencias Ambientales de Castilla La Mancha. Universidad de Castilla La Mancha.

Cayan, D.R., Maurer, E.P., Dettinger, M.D., Tyree, M., Hayhoe, K., 2008: Climate Change scenarios for the California region. *Climatic Change* 87 (Suppl. 1), S21–S42.

CEDEX, 2011: Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Ministerio de Medio Ambiente Rural y Marino.

Chirivella Osma, V., 2010: Caracterización de los futuros escenarios climáticos en la Comunidad Valenciana: propuestas de mejora para la evaluación de la oferta y la demanda de recursos hídricos. Tesis doctoral. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. UPV.

CHJ, 2008: Informe de síntesis de la Comisión de Caudales Ecológicos. Confederación Hidrográfica del Júcar.

CHJ, 2009: Documento Técnico de Referencia: Metodología y Resultados de la Estimación de Demandas en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar. Confederación Hidrográfica del Júcar.

Deidda, D., 2004: Análisis hidroeconómico de sistemas de recursos hídricos mediante modelos de simulación: Aplicación a la cuenca del Río Júcar. Ejercicio Final de Carrera. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Valencia.

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).

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).

Dragoni, W. and Sukhija, B.S., 2008: Climate change and groundwater: a short review. Geological Society, London. Special Publications 2008; v. 288; 1-12.

ENSEMBLES Project, 2009: European Commission's 6th Framework Integrated Project from 2004-2009 (through the contract GOCE-CT-2003-505539) under the Thematic Sub-Priority "Global Change and Ecosystems". <http://ensemble.eu.metoffice.com/>

Estrela Monreal, T. Y Quintas Ripoll, L., 1996: “El sistema integrado de modelización precipitación-aportación SIMPA”. Ingeniería Civil, 104

FAO, 2006: Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Roma.

Fowler, H.J., Kilsby, C.G., Stunell, J., 2007: Modelling the impacts of projected future climate change on water resources in north-west England. Hydrology and Earth system Sciences 11 (3): 1115-1124.

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, Universidad Pablo de Olavide, Fundación Nueva Cultura del Agua. Sevilla, Spain. 787 pp.

Herrera et al., 2010: Development and Analysis of a 50 year high-resolution daily gridded precipitation dataset over Spain (Spain02). *International Journal of Climatology* 32:74-85 DOI: 10.1002/joc.2256.

Hernández Barrios, 2007: Efectos del cambio climático en los sistemas complejos de recursos hídricos. Aplicación a la cuenca del Júcar. Tesis doctoral. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. UPV.

Iglesias A., Garrote L., Flores F., Moneo M., 2007: Challenges to manage the risk of water scarcity and climate change in the Mediterranean. *Water Resources Manage* 21: 227 – 228.

IPCC-TAR (Intergovernmental Panel on Climate Change, Third Assessment Report) 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Houghton, JT; Ding, Y; Griggs, DJ; Noguer, M; van der Linden, PJ; Dai, X; Maskell, K y Johnson, CA (Eds.), Cambridge Univ. Press.

IPCC, 2007. *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.

IPCC, 2008: *El cambio climático y el agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, Secretaría del IPCC, Ginebra, 224 págs.

IVE, 2012: *Proyecciones de población a largo plazo, 2010 – 2050*. Instituto Valenciano de Estadística. Recurso electrónico: www.ive.es

JCRMO, 2012: *Memoria de la Junta Central de Regantes de la Mancha Oriental de 2011*. Junta Central de Regantes de la Mancha Oriental.

Knowles N, Cayan DR, 2004: Elevational dependence of projected hydrologic changes in the San Francisco estuary and watershed. *Clim Change* 62:319–336

Lama Pedrosa et al., 2010: Metodología de evaluación de sistemas de gestión de recursos hídricos en escenarios de cambio climático. Congreso Latinoamericano de Hidráulica de Punta del Este, Uruguay.

Lettenmaier DP and Sheer DP, 1991. Climate sensitivity of California water resources. *J Water Resour Plan Manage* 117(1):108–125.

Lozano Gómez, X., 2010: Modelo hidroeconómico para el análisis del impacto de cambio climático. Aplicación a la cuenca del río Serpis. Trabajo Final de Máster. Máster en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia.

Lund, J. R., Howitt, R. E., Jenkins, M.W., Zhu, T., Tanaka, S., Pulido, M., Tauber, M., Ritzema, R. and Ferriera, I.: 2003, ‘Climate Warming and California’s Water Future’, Center for Environmental and Water Resources Engineering Report No. 03–1, Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, CA, <http://cee.engr.ucdavis.edu/faculty/lund/CALVIN/,2003>.

Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, 2008: Instrucción de Planificación Hidrológica, aprobada por la Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre. BOE, 2008.

Ministerio de Medio Ambiente, 2004: Caracterización económica del uso del agua en el sector energético y análisis de factores determinantes de las presiones y escenarios de evolución del 2015 al 2025. MMA.

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”. Septiembre 2002, Valencia.

Nakicenovic, N. et al., 2000: Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 599 pp.

PNACC, 2006: Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Oficina Española de Cambio Climático; S.G: para la prevención de la contaminación y del cambio climático; Ministerio de Medio Ambiente.

PNACC, 2008: Primer Informe de Seguimiento del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Oficina Española de Cambio Climático; S.G: para la prevención de la contaminación y del cambio climático; Ministerio de Medio Ambiente.

PNACC, 2011: Segundo Informe de Seguimiento del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Oficina Española de Cambio Climático; S.G: para la prevención de la contaminación y del cambio climático; Ministerio de Medio Ambiente.

Pulido-Velázquez, D., Garrote, L., Andreu, J., Martín-Carrasco, F.J., Iglesias, A. 2011: A methodology to diagnose the effect of climate change and to identify adaptive strategies to reduce its impacts in conjunctive-use systems at basin scale. *Journal of Hydrology* 405: 110 – 122 doi:10.1016/j.jhydrol.2011.05.014.

Pulido-Velázquez, M., Andreu, J., Sahuquillo, A., 2007: Economic optimization of conjunctive use of surface and groundwater at the basin scale. *Journal of Water Resources Planning and Management* 132 (6), 454–467

Pulido-Velázquez, M., Jenkins, M.W., Lund, J.R., 2004: Economic values for conjunctive use and water banking in southern California. *Water Resources Research* 40 (3).

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. Valencia, España

Sandberg J, Manza P, 1991. Evaluation of central valley project water supply and delivery system. Global Change Response Program, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Sacramento, California

Schellnhuber, H.J. y H. Held, 2002: How Fragile is the Earth System? In J.C. Briden y T.E. Downing (eds.), *Managing the Earth. The Linacre Lectures 2001*. Oxford University Press, 5.

Sumpsi, J.M., Garrido, A., Blanco, M., Varela Ortega, C. e Iglesias, E., 1998: Economía y política de gestión del agua en la agricultura. MAPA/Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

Tanaka, S.K., Zhu, Tingju, Lund, J., Howitt, R.E., Jenkins, M.J, Pulido, M.a., Tauber, M. Ritzema, R.S. and I.C. Ferreira, 2006. Climate Warming and Water Management Adaptation for California. *Climatic Change*, 76 (3-4), 361-384.

Témez, J.R., 1977: Modelo matemático de transformación Precipitación Aportación, ASINEL 1977

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division 2011: World Population Prospects: The 2010 Revision, Highlights and Advance Tables. ESA/P/WP/220.

Vicuna, S. and Dracup, J.A., 2007: The evolution of climate change impact studies on hydrology and water resources in California. *Climatic Change*, 82(3-4), 327-350, doi: 10.1007/s10584-006-9207-2.