



Título del Trabajo Fin de Máster:

***ANÁLISIS DE METODOLOGÍAS DE
BALANCES HÍDRICOS EN SISTEMAS
COMPLEJOS EN EL CONTEXTO
EUROPEO DE LA PLANIFICACIÓN
HIDROLÓGICA. APLICACIÓN A LA
CUENCA DEL JÚCAR.***

Intensificación:

RECURSOS HÍDRICOS

Autor:

PEDRO MONZONÍS, MARÍA

Director/es:

FERRER POLO, JAVIER

SOLERA SOLERA, ABEL

Fecha:

JULIO, 2013

Título del Trabajo Fin de Máster:

ANÁLISIS DE METODOLOGÍAS DE BALANCES HÍDRICOS EN SISTEMAS COMPLEJOS EN EL CONTEXTO EUROPEO DE LA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA. APLICACIÓN A LA CUENCA DEL JÚCAR.

Autor: **PEDRO MONZONÍS, MARÍA**

Tipo	A <input type="checkbox"/> B <input checked="" type="checkbox"/>	Lugar de Realización	VALENCIA
Director	JAVIER FERRER POLO	Fecha de Lectura	JULIO, 2013
Codirector1	ABEL SOLERA SOLERA		
Codirector2			
Tutor			

Resumen:

CASTELLANO

La Directiva Marco del Agua establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas y cuyo objetivo principal es alcanzar el buen estado de las masas de agua. Su trasposición a la legislación española se ha tratado de implementar en la elaboración de los Planes Hidrológicos de cuencas mediante la aplicación de la Instrucción de Planificación Hidrológica.

Una importante dificultad que afrontan los Planes Hidrológicos es el ajuste de los balances de recursos y demandas, teniendo en cuenta los derechos y prioridades existentes, con el cumplimiento de los objetivos ambientales. El cálculo de balances a priori parece sencillo, pero se complica en la práctica debido a la insuficiencia y mala calidad de los datos, o a las diferentes opciones en la selección de la información. Además la agregación de variables encubre una pérdida de información que oculta los problemas a que se enfrenta la gestión de una cuenca.

Las metodologías utilizadas en España se han centrado en la evaluación del recurso disponible mediante el empleo de técnicas de optimización, asimilándolo a la máxima demanda que puede ser suministrada atendiendo a un criterio de garantía. Por otro lado, las metodologías europeas tratan de emular el ciclo hidrológico en un territorio.

Tomando como caso de estudio la cuenca del río Júcar se han obtenido diferentes estimaciones del recurso disponible atendiendo al origen de las series de aportaciones, la longitud del periodo de simulación y el criterio de garantía empleado para considerar satisfechas las demandas. Los resultados obtenidos son muy dispares dada la complejidad del sistema.

Desde la Unión Europea se busca encontrar un sistema de indicadores que sea igualmente válido para todas las cuencas de los países miembros. Este planteamiento puede no ser válido en países como España, donde la larga tradición en planificación y gestión de recursos hídricos puede llegar a ser más exigente que la propia UE. Hay que tener presente que la UE está formada por países con diferentes características físicas y con diferencias tanto de infraestructuras como de demandas. Ante esta situación, un primer paso puede ser realizar una clasificación previa de las regiones con el fin de aplicar diferentes metodologías que se adecuen a las características de cada uno de los países miembros.

ENGLISH

The Water Framework Directive establishes a framework for Community action in the field of water policy whose main objective is to achieve good status of all water bodies. Its transposition into Spanish law has tried to implement in developing basin hydrological plans by applying Water

Planning Instruction.

A major challenge facing Water Plans is the balance sheet adjustment of resources and demands, taking into account the rights and existing priorities, compliance with environmental objectives. The calculation of balances at first glance seems simple, but in practice it is complicated due to various reasons such as insufficient and poor quality of the data, or the different options in the selection of data to be considered. Another serious problem is the loss of information due to the variable aggregation that generates hidden problems on the watershed management.

The methodologies used in Spain are focused on the evaluation of available resources by using optimization techniques, likening it to the maximum demand that can be supplied according to warranty criteria. On the other hand, European methodologies make the balancing approach by gathering information emulating the hydrologic cycle in a territory.

Taking as a study case the Jucar river basin, different estimations of the available resources have been obtained according to the origin of the series contributions, the period simulation length and the warranty criteria used to consider all demands satisfied. The results obtained present a lot of diversity, due to the system complexity.

The European Union is looking for finding an indicator system to be equally valid for all the country members' basins. This approach may not be valid in countries like Spain, where the long tradition in planning and management of water resources can be more demanding than EU itself. It has to be taken into account that the EU is made from countries with different physical characteristics, different hydrology and economies based on various productive sectors and with differences on demands and infrastructures. In this situation, a first step may be to conduct a preliminary classification of the regions that comprise the EU in order to apply different methodologies that are appropriate to the physical and socioeconomic characteristics of each of the member countries.

VALENCIÀ

La Directiva Marc de l'Aigua estableix un marc comunitari d'actuació en l'àmbit de la política d'aigües on l'objectiu principal és assolir el bon estat de les masses d'aigua. La seua transposició a la legislació espanyola s'ha tractat d'implementar en l'elaboració dels plans hidrològics de conques mitjançant l'aplicació de la Instrucció de Planificació Hidrològica.

Una important dificultat que afronten els plans hidrològics és l'ajust dels balanços de recursos i demandes, tenint en compte els drets i prioritats existents, amb el compliment dels objectius ambientals. El càlcul de balanços a priori sembla senzill, però es complica en la pràctica a causa de la insuficiència i mala qualitat de les dades, o les diferents opcions en la selecció de la informació. A més l'agregació de variables encobreix una pèrdua d'informació que oculta els problemes a què s'enfronta la gestió d'una conca.

Les metodologies utilitzades a Espanya s'han centrat en l'avaluació del recurs disponible mitjançant l'ús de tècniques d'optimització, assimilant-lo a la màxima demanda que pot ser subministrada atenent un criteri de garantia. D'altra banda, les metodologies europees tracten d'emular el cicle hidrològic en un territori.

Prenent com a cas d'estudi la conca del riu Xúquer s'han obtingut diferents estimacions del recurs disponible atenent a l'origen de les sèries d'aportacions, la longitud del període de simulació i el criteri de garantia emprat per considerar satisfetes les demandes. Els resultats obtinguts són molt dispers donada la complexitat del sistema.

Des de la Unió Europea es busca trobar un sistema d'indicadors que siga igualment vàlid per a totes les conques dels països membres. Aquest plantejament pot no ser vàlid en països com Espanya, on la llarga tradició en planificació i gestió de recursos hídrics pot arribar a ser més exigent que la pròpia UE. Cal tenir present que la UE està formada per països amb diferents característiques físiques i amb diferències tant d'infraestructures com de demandes. Davant d'aquesta situació, un primer pas pot ser fer una classificació prèvia de les regions que conformen la UE per tal d'aplicar diferents metodologies que s'adeqüen a les característiques físiques i socioeconòmiques de cada



un dels països membres.

Palabras clave:

Júcar, recurso disponible, balances hídricos, indicadores, Europa

AGRADECIMIENTOS

Agradecer, en primer lugar, la colaboración y empeño de los Doctores Ingenieros D. Javier Ferrer Polo y D. Abel Solera Solera, directores de este Proyecto, por su experiencia, las horas dedicadas y por todos los conocimientos y consejos que he recibido de ellos.

Extender mi agradecimiento a D. Javier Paredes Arquiola, quien se ha mostrado siempre participativo y ha prestado su colaboración en todo momento. También a D. Joaquín Andreu Álvarez y al Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente de la Universitat Politècnica de València por brindarme la oportunidad de colaborar durante este tiempo en el Grupo de Ingeniería de Recursos Hídricos.

A mis compañeros, especialmente a Néstor, Edgar, Andrea y David por todos los momentos compartidos.

Por último, a mi familia, y en especial a Edu, por todo el apoyo y comprensión recibidos, por haber confiado en mí y prestado su apoyo incondicional incluso en los momentos más difíciles.

Muchas gracias a todos.

Índice general

Índice de figuras	III
Índice de tablas	VII
1	Introducción 1
1.1	Objetivo del trabajo..... 4
1.2	Estructura del trabajo..... 4
2	Conceptos generales de balances hídricos..... 7
2.1	Planificación hidrológica..... 7
2.2	Contexto sociopolítico actual de la planificación hidrológica 8
2.2.1	Tratados internacionales..... 9
2.2.2	Exigencias europeas 10
2.2.3	Divulgación de la información 11
2.2.4	Legislación estatal 12
2.3	Balances..... 15
2.3.1	Tipologías de balances..... 15
2.3.2	Estimación del recurso disponible..... 16
2.4	Garantía en los sistemas de recursos hídricos 18
2.4.1	Indicadores basados en la ocurrencia de fallos..... 19
2.4.2	Indicadores basados en la duración de los fallos 20
2.4.3	Indicadores basados en la severidad de los fallos..... 20
2.5	Análisis de la gestión de sistemas de recursos hídricos 21
2.6	La sequía 23
2.6.1	Tipos de sequía 24
2.7	Consideraciones finales..... 27
3	Estado del arte..... 29
3.1	Balances..... 29
3.1.1	Enfoque clásico en España 29
3.1.2	Escenarios de cambio climático 47
3.1.3	Contabilidad del agua y sistemas de información..... 54
3.2	Criterios de garantía 68
3.2.1	Criterios basados en la frecuencia de los fallos..... 69
3.2.2	Criterios basados en la severidad de los fallos..... 69
3.2.3	Criterios basados en la repercusión de los fallos 72
3.2.4	Criterio utilizado en España..... 76

3.2.5	Criterio utilizado en Europa.....	79
3.3	Indicadores de sequía.....	80
3.3.1	Indicadores basados en las precipitaciones.....	81
3.3.2	Indicadores basados en las precipitaciones y otros parámetros hidrológicos.....	83
3.3.3	Indicadores basados en los volúmenes embalsados.....	84
3.3.4	Índices basados en la planificación hidrológica española.....	85
3.4	Consideraciones finales.....	88
4	Aplicación a la cuenca del Júcar.....	91
4.1	Descripción de la cuenca hidrográfica del Júcar.....	91
4.1.1	Marco físico.....	93
4.1.2	Características socioeconómicas.....	94
4.1.3	Hidrología.....	95
4.1.4	Consideraciones adicionales sobre la descripción de la cuenca.....	97
4.2	Balances en el Júcar.....	98
4.2.1	Análisis de trabajos previos destacables sobre balances en el sistema Júcar.....	101
4.2.2	Descripción de la metodología empleada.....	104
4.2.3	Análisis del escenario de referencia.....	109
4.2.4	Análisis de resultados. Método 1.....	114
4.2.5	Análisis de resultados. Método 2.....	117
4.3	Cálculo de indicadores y caracterización de las sequías.....	123
4.3.1	Indicadores basados en las precipitaciones.....	124
4.3.2	Indicadores basados en las precipitaciones y otros parámetros hidrológicos.....	129
4.3.3	Indicadores basados en los volúmenes embalsados.....	131
4.3.4	Índices basados en la planificación hidráulica española.....	132
4.4	Resumen.....	134
4.5	Discusión y análisis de resultados.....	135
5	Conclusiones.....	143
5.1	Conclusiones del caso de estudio.....	144
5.2	Conclusiones generales.....	145
5.3	Aportaciones originales del trabajo.....	146
5.4	Futuras líneas de investigación.....	147
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	149
	LISTADO DE ABREVIATURAS.....	154

Índice de figuras

Figura 1. Diferencia entre variables, indicadores e índices (Lorenz, 1999, citado por De Lama, 2011)	12
Figura 2. Esquema conceptual de movilización de recursos naturales y su transformación en recursos disponibles (MIMAM, 2000a)	16
Figura 3. Relaciones entre los distintos tipos de sequía y duración de los eventos (Villalobos, 2007)	25
Figura 4. Esquema general del río Júcar (MIMAM, 2000b)	30
Figura 5. Índice de comportamiento para distintas combinaciones de expansión del sistema con CJT = 125 hm ³ /año (MIMAM, 2000b)	31
Figura 6. Relación entre incremento de afección y posibilidades de expansión del sistema con CJT = 125 hm ³ /año (MIMAM, 2000b)	32
Figura 7. Índice de comportamiento para distintas combinaciones de expansión del sistema con CJT = 95 hm ³ /año (MIMAM, 2000b)	32
Figura 8. Relación entre incremento de afección y posibilidades de expansión del sistema con CJT = 95 hm ³ /año (MIMAM, 2000b)	33
Figura 9. Esquema del sistema unificado de explotación de recursos hídricos (MIMAM, 2000a)	35
Figura 10. Detalle del esquema de optimización de la cuenca del río Júcar (MIMAM, 2000a)	36
Figura 11. Mapa de distribución territorial del déficit (mm/año) (MIMAM, 2000a)	41
Figura 12. Mapa de distribución territorial del superávit (mm/año) (MIMAM, 2000a)	41
Figura 13. Mapa de déficit (hm ³ /año) en los ámbitos territoriales de los Planes Hidrológicos (MIMAM, 2000a)	42
Figura 14. Mapa de superávit (hm ³ /año) en los ámbitos territoriales de los Planes Hidrológicos (MIMAM, 2000a)	43
Figura 15. Mapa de riesgo de escasez en los ámbitos territoriales de los Planes Hidrológicos (MIMAM, 2000a)	44
Figura 16. Esquema simplificado de optimización de la demarcación del Júcar. Demanda distribuida (MAGRAMA, 2012a)	49
Figura 17. Esquema simplificado de optimización de la demarcación del Júcar. Demanda concentrada (MAGRAMA, 2012a)	50
Figura 18. Distribución geográfica de los sistemas en los que se desagrega la cuenca del Ebro para el análisis (De Lama, 2011)	52
Figura 19. Curvas Garantía vs. Demandas por sistemas para la situación actual (De Lama, 2011)	53
Figura 20. Esquema del dominio y elementos de contabilidad (Momb Blanch, 2011)	60
Figura 21. Esquema del Informe número 3 sobre el Estado del Medio Ambiente (EEA, 2009)	64
Figura 22. Herramientas del Sistema Integrado de información del Agua (MARMA, 2008c)	65
Figura 23. Visor geográfico del SIA	66
Figura 24. Temáticas del Libro Digital del Agua	67
Figura 25. Ejemplo del Libro Digital del Agua	67
Figura 26. Sistema de Indicadores del Agua	68
Figura 27. Intensidad de los problemas de escasez de agua bajo los valores de I1 e I2 (Chávez, 2012)	72

Figura 28. Aspecto clave en el marco de confianza del agua (AWDO, 2013).....	73
Figura 29. Seguridad Nacional del Agua en Asia y el Pacífico (AWDO, 2013)	75
Figura 30. National Water Security Index y Governance Index (AWDO, 2013)	76
Figura 31. Indicadores de comportamiento según el volumen de aportación externa a través del ATS (MMA, 2001)	78
Figura 32. Sensibilidad del sistema frente a efectos de cambio climático (MMA, 2001)	78
Figura 33. WEI obtenido a partir de los datos disponibles en 2009 (EEA, 2010).....	80
Figura 34. Estado de los sistemas de explotación en septiembre de 2012 (MAGRAMA, 2012b).....	87
Figura 35. Sistemas de explotación en la CHJ (Villalobos, 2007)	92
Figura 36. Precipitación media anual (mm/año) (Villalobos, 2007).....	93
Figura 37. Distribución de la superficie regada en el ámbito territorial de la CHJ (MARM, 2010)	94
Figura 38. Mapa detalle de masas de agua subterránea (MARM, 2010).....	96
Figura 39. Serie de aportaciones superficiales naturales del modelo de simulación del Sistema de Explotación Júcar.....	98
Figura 40. Resumen de balances en el S.E. Júcar	102
Figura 41. Resumen del estado del arte para el cálculo de balances en el S.E. Júcar.....	104
Figura 42. Esquema del Sistema de Explotación Júcar empleado para la estimación del recurso disponible adicional.....	106
Figura 43. Metodología empleada para la estimación del recurso disponible adicional.....	107
Figura 44. Esquema del modelo del Sistema de Explotación Júcar.....	110
Figura 45. Volumen embalsado en Alarcón, Contreras y Tous para el escenario considerado	110
Figura 46. Volumen embalsado en Alarcón para el escenario considerado	111
Figura 47. Series anuales de suministros a los riegos tradicionales según procedencia	111
Figura 48. Series anuales de suministros a los riegos mixtos según procedencia	111
Figura 49. Curva garantía-suministro para el uso agrícola en el sistema Júcar	113
Figura 50. Curva garantía-suministro para el uso urbano en el sistema Júcar	113
Figura 51. Curva garantía-suministro para el uso industrial en el sistema Júcar.....	114
Figura 52. Proceso secuencial de incrementos de demandas considerado en el método 1	115
Figura 53. Diagrama de Caja-Bigotes para la estimación del recurso disponible adicional positivo mediante el empleo de series sintéticas. Método 1	116
Figura 54. Volumen almacenado en el acuífero de la Mancha Oriental. Escenario de referencia	116
Figura 55. Volumen almacenado en Alarcón, Contreras y Tous. Escenario de referencia	117
Figura 56. Localización de los recursos disponibles adicionales según origen de la serie de aportaciones, longitud de la serie y criterio de garantía utilizado. Método 2.....	120
Figura 57. Diagrama de Caja-Bigotes para la estimación del recurso disponible adicional positivo mediante el empleo de series sintéticas. Método 2. Serie 1980/81-2008/09 y criterio IPH 2008 (MARMA, 2008a).....	121
Figura 58. Diagrama de Caja-Bigotes para la estimación del recurso disponible adicional positivo mediante el empleo de series sintéticas. Método 2. Serie 1940/41-2008/09 y criterio IPH 2008 (MARMA, 2008a).....	122

Figura 59. Diagrama de Caja-Bigotes para la estimación del recurso disponible adicional positivo mediante el empleo de series sintéticas. Método 2. Serie 1980/81-2008/09 y criterio de eficiencia	122
Figura 60. Diagrama de Caja-Bigotes para la estimación del recurso disponible adicional positivo mediante el empleo de series sintéticas. Método 2. Serie 1940/41-2008/09 y criterio de eficiencia	123
Figura 61. Precipitación anual registrada en el Sistema de Explotación Júcar para el periodo 1940-2009.....	124
Figura 62. Porcentaje de Precipitación Normal (PPN) en el Sistema de Explotación Júcar para el periodo 1940-2009.....	125
Figura 63. Función de distribución de probabilidad de precipitación en el Sistema de Explotación Júcar	126
Figura 64. Evolución del SPI en el Sistema de Explotación Júcar	128
Figura 65. Índice de aportaciones estandarizado en el Sistema de Explotación Júcar	129
Figura 66. Índice de reservas estandarizadas en el sistema de explotación Júcar	132
Figura 67. Escenario de sequía por sistema de explotación en el mes de diciembre de 2012. (CHJ, 2013b).	133
Figura 68. Escenario de sequía por sistema de explotación en el mes de diciembre de 2012 (CHJ, 2013b).	133
Figura 69. Propuesta de un esquema general para el estudio del recurso disponible	137
Figura 70. Reutilización en Europa (EC, 2007).....	138
Figura 71. Demanda VS Recurso generado para los diferentes ámbitos de planificación.....	140

Índice de tablas

Tabla 1. Estimaciones de los recursos hídricos disponibles en España (MIMAM, 2000a).....	34
Tabla 2. Volúmenes regulados en régimen natural con las series de aportaciones empleadas en los Planes de cuenca (MIMAM, 2000a)	38
Tabla 3. Volúmenes regulados en la situación teórica considerada, con las series empleadas en los Planes de cuenca (MIMAM, 2000a)	39
Tabla 4. Síntesis de disponibilidades hídricas teóricas (MIMAM, 2000a).....	40
Tabla 5. Precipitación, evapotranspiración y aportación en régimen natural (hm ³ /año) (CHJ, 2013a) 45	
Tabla 6. Estimación de recursos no convencionales y transferencias por sistema de explotación (CHJ, 2013a).....	46
Tabla 7. Uso consuntivo 2005-2015 (hm ³ /año) (CHJ, 2013a)	46
Tabla 8. Balance en el horizonte 2015 (hm ³ /año) en régimen natural (CHJ, 2013a).....	47
Tabla 9. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al periodo de control en la demarcación hidrográfica del Júcar (MAGRAMA, 2012a).....	51
Tabla 10. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al periodo de control en la demarcación hidrográfica del Júcar (MAGRAMA, 2012a).....	51
Tabla 11. Valores de los indicadores de eficiencia para la situación actual (De Lama, 2011)	53
Tabla 12. Cuentaseconómicas de producción y explotación por operaciones económicas, periodo y tipo de actividad (Momblanch, 2011)	55
Tabla 13. Tabla física de usos (Momblanch, 2011)	56
Tabla 14. Modelo de contabilidad WA IWMI (Momblanch, 2011)	58
Tabla 15. Propuesta para la presentación de los datos de la huella hídrica calculada en un área geográfica (Momblanch, 2011).	59
Tabla 16. Término de balance correspondiente a los recursos superficiales (Momblanch, 2011).....	60
Tabla 17. Término de balance correspondiente a los recursos subterráneos (Momblanch, 2011)	61
Tabla 18. Valores orientativos de los déficits admisibles según el criterio de Thompson.....	70
Tabla 19. Clasificación de los estados hidrológicos (MMA, 2007)	86
Tabla 20. Tipología de las medidas de mitigación.....	88
Tabla 21. Resumen de demandas (MARM, 2010).....	95
Tabla 22. Estimación de aportaciones medias en régimen natural de la red fluvial (MARM, 2010)....	96
Tabla 23. Relación demanda/aportaciones naturales para los diferentes sistemas de explotación de la DHJ.....	97
Tabla 24. Balance simplificado del Sistema de Explotación Júcar para el escenario de referencia....	101
Tabla 25. Modulación anual de las demandas consideradas en el análisis (%)	107
Tabla 26. Criterio de garantía de la IPH 2008 (MARMA, 2008a) del sistema Júcar para el escenario de referencia	112
Tabla 27. Recurso disponible adicional en el sistema Júcar según origen de las series de aportaciones, longitud de la serie y criterio de garantía considerado. Método 1.....	115

Tabla 28. Recurso disponible adicional en el sistema Júcar según origen de las series de aportaciones, longitud de la serie y criterio de garantía considerado. Método 2.....	118
Tabla 29. Clasificación de la sequía hidrológica según la probabilidad de excedencia. (Beran y Rodier, 1985, citado por Fernández, 1998)	127
Tabla 30. Clasificación de la sequía según los valores del SPI (Fernández, 1998).....	127
Tabla 31. Intensidad de las sequías meteorológicas según SPI en el Sistema de Explotación Júcar ..	129
Tabla 32. Índice de aridez según zonas climáticas (Subramanyam, 1967, citado por Fernández, 1998).	130
Tabla 33. Índice de aridez en los distintos sistemas de explotación de la DHJ.....	130
Tabla 34. Síntesis de usos y disponibilidades hídricas teóricas (hm ³ /año) (MIMAM, 2000a)	139

Capítulo 1

1 Introducción

La Directiva Marco del Agua (EU, 2000), en adelante DMA, establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas y cuyo objetivo principal es alcanzar el buen estado de las masas de agua. Su trasposición a la legislación española se ha tratado de implementar en la elaboración de los Planes Hidrológicos de cuenca mediante la aplicación de la Instrucción de Planificación Hidrológica, IPH 2008 (MARMA, 2008a). En España, debido a la larga tradición en planificación y gestión de recursos hídricos, estos Planes han llegado a ser, en algunos aspectos, más ambiciosos que la propia DMA. Quizá por este motivo se ha producido un considerable retraso en su aprobación.

Una importante dificultad que afrontan los Planes Hidrológicos es el ajuste de los balances de recursos y demandas, teniendo en cuenta los derechos y prioridades existentes, con el cumplimiento de los objetivos ambientales. La condición de muchas cuencas españolas en que las demandas son muy cercanas al recurso medio hace muy costoso social y económicamente el satisfacer unas restricciones ambientales que en ocasiones podrían ser muy superiores a las vigentes con anterioridad. Actualmente la Unión Europea trabaja en la definición de nuevas directrices para la determinación de balances en todos los países miembros apoyándose en el Plan para salvaguardar los recursos de Europa, BLUEPRINT (EC, 2012).

El cálculo de balances a priori parece sencillo, ya que consistiría en agregar recursos frente a demandas. Pero se complica en la práctica debido a diversas causas como son la insuficiencia y mala calidad de los datos, o las diferentes opciones en la selección de los datos que se van a considerar. A modo de ejemplo, en cuanto a estas diferentes opciones, se puede hacer un balance anual como seguimiento del funcionamiento de las cuencas de forma que, para cada año se tuviera su balance (tal y como se plantea en las primeras experiencias de las futuras directrices europeas); o bien se puede plantear un escenario horizonte (tal y como se hace en los Planes Hidrológicos, donde se plantea un escenario actual y varios escenarios futuros). Estos escenarios de balance continúan complicándose a medida que se trata de completarlos ya que, en ellos, intervienen datos todavía no definidos o desconocidos, como el crecimiento de los consumos urbanos o la extensión y tecnología de los cultivos futuros, por el lado de las demandas, o la incertidumbre en el cambio climático si se trata de estimar los recursos.

Otro serio inconveniente que se plantea en el cálculo de los balances es que la agregación de variables encubre, en realidad, una pérdida de información muy valiosa que oculta los problemas a que se enfrenta la gestión de una cuenca. Este tipo de balance no deja de ser un índice agregado del sistema que no refleja su comportamiento como consecuencia del elevado número de datos con el que se define. Una información importante que se pierde con los balances es la relacionada con los problemas de sequía. Para caracterizar estos problemas se recurre tradicionalmente a los indicadores de garantía, los cuales son utilizados en la planificación española para juzgar si el sistema cumple con sus objetivos de gestión o si por el contrario es necesaria la adopción de medidas correctoras a largo plazo.

Es esta misma consecuencia necesaria del cálculo de garantías la que enmascara las dificultades de la planificación para cumplir con sus objetivos. Ya que una vez identificados los problemas en el cumplimiento de garantías, el siguiente paso es buscar las soluciones e incorporarlas al Plan. Por lo que finalmente el valor de los indicadores de garantía será satisfactorio. Así pues se echa de menos un indicador que describa tales dificultades o costes necesarios para el cumplimiento de las garantías. En esta línea se pretende buscar un planteamiento de indicadores adecuado que permita así diferenciar entre sistemas como el

del río Júcar que durante la última década ha sufrido un proceso de adaptación muy complejo para continuar manteniendo los indicadores de balance y garantía en valores admisibles; de otros sistemas localizados en climas húmedos donde con valores similares del indicador de garantía, apenas se ha alterado el régimen natural de caudales en los ríos. También se ha de distinguir de otros sistemas hídricos (no europeos) en los que debido a su contexto político de falta de gobernanza en materia de aguas no existe una planificación aplicada y donde los indicadores de balance y garantía sí podrían ser suficientes para su caracterización (AWDO, 2013).

En el contexto español, los balances tienen otra consecuencia práctica importante en relación con el establecimiento de las asignaciones y reservas de recursos, así como otras competencias derivadas de la aprobación de un Plan Hidrológico. La tramitación de nuevas concesiones para el uso de agua en una cuenca debe ser compatible con el Plan vigente materializándose mediante los correspondientes "informes de compatibilidad". Lo cual demanda otro índice del sistema que va orientado a determinar los recursos que podrían estar disponibles en el mismo para nuevos usos cumpliendo con los indicadores de garantía. En este sentido se han desarrollado diversas metodologías, sin que ninguna resulte plenamente convincente debido a la interacción entre todos los usos y recursos de una cuenca.

Europa con el BLUEPRINT está tratando de elaborar una metodología general para establecer balances que sea de igual aplicación para todos los sistemas. Existen experiencias piloto en España en las que ya se advierte la dificultad indicada en el cálculo de los balances. El indicador WEI (EEA, 2010) desarrollado por la Agencia Europea del Medioambiente (EEA) se limita a obtener la relación entre un dato de recurso y un dato de demanda. Donde tanto el recurso como la demanda son vistos bajo distintos criterios si se plantea en una cuenca de clima húmedo o en una cuenca de clima seco. En la primera es importante la cuantificación de la precipitación y el almacenamiento en el suelo. Mientras que en la segunda preocupa la escorrentía en los ríos y las reservas en embalses y acuíferos.

1.1 Objetivo del trabajo

Este trabajo trata de recopilar, ordenar y analizar los criterios en uso para la elaboración de balances, así como la definición de indicadores e índices diseñados para caracterizar los sistemas. Con este objetivo se ha seleccionado la cuenca hidrográfica del Júcar como cuenca piloto, ya que sus especiales características tanto climáticas como de infraestructuras y demandas, proporcionan un amplio conjunto de circunstancias ideal para servir de referencia a problemas de muy diversa índole.

Una vez analizados los diferentes métodos empleados hasta el momento en la elaboración de balances y teniendo presente sus virtudes y defectos, así como el grado de confianza que cada una de las metodologías proporciona, el siguiente paso será aplicarlos en la cuenca del Júcar con el objetivo de plantear el diseño de un esquema general de condicionantes para la determinación de balances.

Partiendo de esta premisa se pretende analizar las diferentes estimaciones del recurso disponible en la cuenca del río Júcar en función de la información de partida empleada, distinguiendo entre:

- El origen de las series de aportaciones consideradas.
- El criterio de garantía empleado para considerar satisfechas las demandas.
- La longitud del periodo de simulación de gran importancia en el sistema Júcar.

Resuelto este análisis, el último paso será plantear un criterio de selección de metodologías en función de las características de cada sistema.

1.2 Estructura del trabajo

El presente trabajo se ha estructurado de la siguiente manera: cinco capítulos dentro de los cuales se incluye esta introducción y dos anexos.

El capítulo 2 recopila y ordena los diferentes objetivos y criterios utilizados para la elaboración de balances e indicadores de estado de los sistemas para, en el capítulo 3, desarrollar éstos mediante una revisión más detallada de la bibliografía e información oficial disponible. En el capítulo 4 se trata de evaluar las diferentes metodologías de cálculo de

balances, recopiladas en el estado del arte, mediante su aplicación al río Júcar. La finalidad de esta evaluación es valorar la dificultad actual para seleccionar una metodología que sea ampliamente aceptada en los países miembros y que permita transmitir la información necesaria que describe el estado de los recursos del sistema. Y por último, en el capítulo 5 se resume y generaliza las conclusiones obtenidas en apartados anteriores con el fin de plantear algunas propuestas y futuras líneas de investigación y desarrollo que mejoren la definición de índices para la caracterización de balances en los diferentes sistemas europeos, que permitan considerar la heterogeneidad en las condiciones de contorno de cada sistema.

Capítulo 2

2 Conceptos generales de balances hídricos

En este capítulo se presenta información general sobre diferentes aspectos relacionados con la planificación hidrológica y la construcción de balances. No sólo es necesario definir qué son los balances y describir las razones por las que son necesarios en planificación, sino que también se debe hacer hincapié en el estado actual de la planificación hidrológica, los indicadores más empleados, qué inconvenientes presentan y de qué otro tipo de información se requiere para solventar estas circunstancias.

2.1 Planificación hidrológica

Planificar, en general en cualquier actividad, es asignar recursos en función de objetivos determinados y llevar el seguimiento y programación de las actividades necesarias. En el caso particular de la planificación hidrológica se trata, por tanto, de evaluar cuánta agua se dispone y cuánta agua se necesita, teniendo en cuenta la ubicación y calidad tanto de la fuente del recurso como de la demanda (Bailarón, 2000).

Para aquellas situaciones en las que no se dispone de suficientes recursos básicos para atender las demandas existentes, es necesario ordenar su aprovechamiento. De esta manera, la planificación se encuentra ligada al concepto de escasez, puesto que en situación de abundancia basta con hacer un uso racional del recurso, en cambio, la escasez de éste requiere hacer una elección concreta entre todas las posibles para la consecución de los objetivos planteados.

Actualmente la planificación hidrológica se considera un instrumento técnico-jurídico utilizado para la gestión del agua definiendo las estrategias y medidas para compatibilizar las actividades humanas y la preservación del medio ambiente hídrico. Entre los objetivos que persigue podría citarse el abastecimiento a la población de agua potable, la protección y mejora del medio ambiente, la mejora de la calidad de las aguas continentales o el incremento del nivel de renta.

Para alcanzar estos objetivos las políticas de agua plantean actuaciones sobre la regulación de los recursos hídricos, las prioridades de los diferentes usos, la protección frente a inundaciones, etc. Por tanto, la planificación requiere de un profundo conocimiento del territorio, no sólo de los recursos hídricos de las cuencas, sino también de su marco físico, administrativo y socioeconómico.

Como instrumento de gestión, la planificación hidrológica debe enfrentarse a los diferentes conflictos motivados por los usos del agua. Para ello habitualmente se recurre al uso de modelos y balances que permitan analizar las distintas alternativas de gestión.

2.2 Contexto sociopolítico actual de la planificación hidrológica

Por todos es conocida la importancia del agua para la sociedad. El motivo histórico responde a su papel como fuente de riqueza, ya en la antigüedad, favoreciendo los asentamientos de las ciudades y, hasta mediados del siglo pasado, fomentando el desarrollo de regiones mediante importantes proyectos de regadío que perseguían el incremento de sus niveles de renta. Actualmente, se atienden también otros aspectos como son las necesidades de protección de la población frente a eventos extremos, las consideraciones sobre la calidad de las aguas o los requerimientos hídricos de los ecosistemas.

Para minimizar las presiones producidas por la regulación de los recursos es necesario formular una legislación que ordene el uso del agua en el territorio. A continuación se describe la legislación actual tanto de ámbito estatal como a nivel europeo (MAGRAMA, 2012b).

2.2.1 Tratados internacionales

Desde la antigüedad, son numerosos los conflictos causados por la escasez de los recursos naturales entre diferentes países. Si a esta escasez se le añade un significativo valor estratégico o político se convierten en motivo de innumerables disputas entre quienes los comparten. Además de la escasez influyen también otros factores determinantes en estos conflictos como son la aridez del suelo, el incremento de la demanda, la desaparición de las zonas húmedas, etc. El problema no es sencillo de resolver. Por un lado, se acepta que el reconocimiento de la soberanía nacional de un determinado país lleva implícito la libertad para gestionar los recursos naturales que se hallan dentro de sus fronteras, si bien resulta obligado que dicha gestión no cause daños a otros países que también utilicen el recurso (Bailarón, 2000).

Con el fin de resolver los conflictos en aquellas cuencas hidrográficas cuyo territorio pertenece a diversos países se recurre a la firma de tratados internacionales relacionados con el aprovechamiento de sus aguas, la generación de energía hidroeléctrica, la pesca, el control de la contaminación de sus aguas o el control de inundaciones. Como ejemplo, a continuación se citan algunos de estos casos:

- Resolución de las Naciones Unidas sobre la Ley de Acuíferos Transfronterizos de 11 de diciembre de 2011.
- Acuerdo de Toulouse de 15 de febrero de 2006 entre España y Francia, sobre gestión del agua.
- Tratado de Amsterdam de 1999, por el que se modifican el tratado de la UE, los tratados constitutivos de las comunidades europeas y determinados actos conexos.
- Convenio de Albufeira de 30 de noviembre de 1998, sobre cooperación para la protección y el aprovechamiento de las aguas de las cuencas hidrográficas hispano-portuguesas. La Conferencia de las Partes, máximo órgano del Convenio, reunida en febrero de 2008, adoptó un nuevo régimen de caudales que modifica el original y unas nuevas condiciones para identificar la entrada y salida de las situaciones de excepción al cumplimiento de dicho régimen (MAEC, 2008).
- Convención de las Naciones Unidas sobre el derecho de los usos de los cursos de agua internacionales para fines distintos de la navegación de 21 de mayo de 1997.

- Convenio de Helsinki de 1992, sobre protección y utilización de los cursos transfronterizos y los lagos internacionales.
- Convenio de Espoo de 1991, sobre evaluación de impacto en el medio ambiente en el contexto transfronterizo.

2.2.2 Exigencias europeas

La Comisión Europea presenta a través de su normativa un abanico de orientaciones que pueden aplicarse a la gestión de los recursos hídricos, tanto en el ámbito de la UE como en el de los Estados miembros.

La directiva de referencia en materia de planificación hidrológica es la Directiva 2000/60/CE del parlamento europeo y del consejo de 23 de octubre de 2000 (EU, 2000), por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Su objetivo principal es alcanzar el buen estado de las masas de agua en 2015, protegiéndolas y evitando su deterioro. Entre sus principales aportaciones cabe destacar:

a) Sitúa el énfasis en la calidad del agua, en sus funciones ambientales y en el uso sostenible de la misma.

b) Establece la cuenca, sea o no transfronteriza, como unidad básica de gestión, e incluye las aguas subterráneas, de transición y costeras en la demarcación hidrográfica.

c) Exige mayor transparencia en el acceso a los datos hidrológicos y ambientales, obligando a procedimientos normalizados para la determinación del estado ambiental. Este objetivo se pretende alcanzar mediante la directiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo y del consejo de 14 de marzo de 2007 por la que se establece una infraestructura de información espacial en la Comunidad Europea (INSPIRE).

d) Introduce el principio de recuperación íntegra de costes y obliga a una mayor participación pública.

Además, establece el marco para, entre otras cosas, garantizar el suministro suficiente de agua en buen estado y contribuir a paliar los efectos de las sequías e inundaciones.

2.2.3 Divulgación de la información

La progresiva toma de conciencia de los ciudadanos y de las diversas administraciones sobre la importancia de la accesibilidad a la información sobre el medio ambiente, ha conducido a iniciativas como la Directiva europea INSPIRE (Directiva 2007/2/CE), que obliga a las Administraciones Públicas generadoras de este tipo de información a facilitar el acceso a la misma, aprovechando el salto tecnológico cualitativo que ha supuesto el desarrollo de las IDE's (Infraestructuras de Datos Espaciales).

La transposición de esta Directiva al ordenamiento jurídico español se desarrolla a través de la *Ley 14/2010, de 5 de julio, sobre las infraestructuras y los servicios de información geográfica en España* (LISIGE).

Como ejemplo de acceso a la información el Ministerio de Medio Ambiente pone a disposición de los ciudadanos el Sistema Integrado de Información del Agua, que recoge toda la información relacionada con el agua, el Libro Digital del Agua (MARMA, 2008b) que ha sido desarrollado emulando el concepto del 'Libro Blanco del Agua' y el Sistema de Indicadores del Agua (MARMA, 2008c), que es un conjunto de medidas clave que caracterizan el estado del medio y sus presiones en España.

Para una adecuada comprensión de la información disponible que facilite la participación pública de los ciudadanos, antes de continuar es necesario distinguir entre los términos variable, indicador e índice, puesto que muchas veces se utilizan estos términos indistintamente de forma errónea. Las variables permiten definir el estado del sistema en cada momento, como ejemplo podemos mencionar la precipitación, la evapotranspiración (tanto real como potencial)... Un indicador se obtiene mediante la agregación de diferentes variables, dicha agregación responde a un criterio científico-técnico y su finalidad es también informar sobre el estado del sistema. Por último, un índice es el resultado adimensional obtenido mediante la agregación de variables e indicadores. Su definición carece de sentido físico puesto que responde a las necesidades de la sociedad.

La siguiente figura muestra la diferencia entre variables, indicadores e índices, así como la pérdida de información como consecuencia de la agregación de diferentes variables.

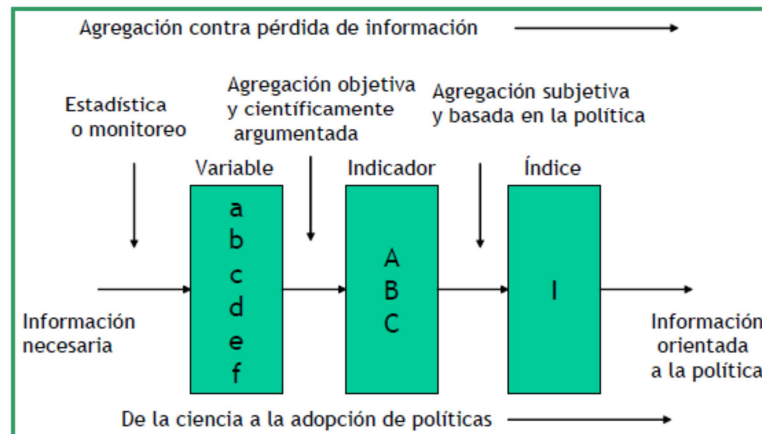


Figura 1. Diferencia entre variables, indicadores e índices (Lorenz, 1999, citado por De Lama, 2011)

2.2.4 Legislación estatal

La planificación hidrológica actual se lleva a cabo por medio de los Planes Hidrológicos de Cuenca (PHC en adelante) y por el Plan Hidrológico Nacional (PHN). Los Organismos de Cuenca (las Confederaciones Hidrográficas en el caso de las cuencas intercomunitarias o bien las Comunidades Autónomas en el caso de las cuencas intracomunitarias) son los encargados de la elaboración, seguimiento y revisión de los PHC. Por otro lado, el PHN tiene competencias en aspectos que afecten a más de un ámbito de planificación o que no se hayan podido resolver en los PHC. Su desarrollo es responsabilidad del Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente junto con otros ministerios relacionados con el uso del agua.

Los planes hidrológicos de cuenca que se encuentran actualmente en vigor se aprobaron en cumplimiento de lo establecido en la Ley 29/1985, de 2 de agosto, conocida como la Ley de Aguas, mediante tres Reales Decretos. Con el primero de ellos, el Real Decreto 1664/1998, de 24 de julio, se aprobaron los Planes Hidrológicos de las cuencas Norte I, Norte II, Norte III, Duero, Tajo, Guadiana I, Guadiana II, Guadalquivir, Sur, Segura, Júcar, Ebro y cuencas intracomunitarias de Cataluña. Mediante el Real Decreto 378/2001, de 6 de abril se aprobó el Plan Hidrológico de Illes Balears y, por último, el Plan Hidrológico de Galicia-Costa fue aprobado mediante el Real Decreto 103/2003, de 24 de enero. Durante este año estamos viendo la superación de muchos hitos en el proceso de aprobación de todos los planes de cuencas españolas.

La Ley de Aguas de 1985 es el texto básico estatal regulador de la materia de legislación de aguas. En su Título III trata sobre la planificación hidrológica, constituyendo una de las

novedades más importantes introducidas respecto a la anterior Ley de Aguas de 1879. Posteriormente el esquema de planificación previsto en la Ley de Aguas se completó con:

- El Real Decreto 927/1988, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica.
- La Orden de 24 de septiembre de 1992, por la que se aprueban las instrucciones y recomendaciones técnicas complementarias para la elaboración de los planes hidrológicos de cuencas intercomunitarias.
- La Ley 10/2001, de 5 de julio, por la que se aprueba el Plan Hidrológico Nacional, que fue posteriormente modificada por la Ley 11/2005, de 22 de junio.

Con la trasposición de la DMA se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, que se traduce en diferentes modificaciones en la legislación hasta entonces vigente:

- Se modifica el texto refundido de la Ley de Aguas (Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio) mediante el artículo 129 de la Ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales administrativas y del orden social. Esto permite modificar el Título III del texto refundido de la Ley de Aguas, correspondiente a la planificación hidrológica, en los aspectos estrechamente relacionados con el proceso de planificación hidrológica y la consecución de sus fines:
 - Nuevos conceptos: demarcación hidrográfica, redefinición de cuenca hidrográfica.
 - Modificaciones en la Administración Pública del Agua: creación del Consejo del Agua de la demarcación y el Comité de Autoridades Competentes.
 - Nuevos objetivos medioambientales, estado de las masas de agua y programas de medidas para la consecución de tales objetivos.
 - Registro de zonas protegidas.
 - Principio de recuperación de los costes de los servicios relacionados con la gestión de las aguas.
 - Plazos para la consecución de los objetivos ambientales y para la participación pública.

- Se deroga la parte relativa a planificación hidrológica del Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, mediante el RD 907/2007, de 6 de julio, del Reglamento de la Planificación Hidrológica.
- Se aprueba la Orden ARM/2656/2008 (MARMA, 2008a), de 10 de septiembre, de la Instrucción de Planificación Hidrológica (en adelante IPH 2008), modificada posteriormente por la Orden ARM/1195/2011, de 11 de mayo. El objeto de esta instrucción es el establecimiento de los criterios técnicos para la homogeneización y sistematización de los trabajos de elaboración de los planes hidrológicos de cuenca, conforme a lo establecido en el Reglamento de la Planificación Hidrológica (Real Decreto 907/2007). En ella se indica que la asignación y reserva de recursos se establecerá en el plan hidrológico mediante el empleo de balances entre recursos y demandas, teniendo en cuenta los derechos y prioridades existentes.

En 2005, con la Ley 11/2005, de 22 de junio, por la que se modifica la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, se modifica a su vez el texto refundido de la Ley de Aguas, estableciendo una definición de caudales ecológicos, la figura de las reservas naturales fluviales y un nuevo apartado relativo a las obras hidráulicas de interés general.

En respuesta al apartado 2 del artículo 27 de la ley del PHN, se aprobó la Orden MAM/698/2007, de 21 de marzo, por la que se aprueban los planes especiales de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía en los ámbitos de los planes hidrológicos de cuencas intercomunitarias (en adelante PES) (MMA, 2007).

Finalmente, dentro del contenido de los nuevos Planes Hidrológicos se incluyen por una parte, los aspectos tradicionales incluidos en la planificación hidrológica en España como son: el inventario de recursos, las restricciones medioambientales y las asignaciones de agua entre usuarios; y además, aquellos aspectos incorporados en la DMA como son: la consecución de los objetivos medioambientales, la participación pública, los aspectos económicos y el programa de medidas.

Los Planes Hidrológicos se revisarán y actualizarán a más tardar 15 años desde la entrada en vigor de la Directiva y posteriormente cada 6 años, con el objetivo de incorporar aquellos

cambios que se producen en las condiciones de la cuenca hidrográfica (recursos naturales, usos del agua, tecnologías, opinión pública, etc.).

2.3 Balances

Los balances explican de forma concisa la situación de la cuenca a nivel general. De esta forma, el balance entre los recursos disponibles y las demandas es la herramienta fundamental de la planificación hidrológica para determinar si un sistema es excedentario o deficitario. Los términos que deben incluirse en el balance son los siguientes (Bailarón, 2000):

- a) Demandas brutas de los usos consuntivos
- b) Recursos disponibles, distinguiendo entre:
 - a. Recursos convencionales (aguas superficiales y subterráneas)
 - b. Recursos no convencionales (reutilización directa y desalación)
 - c. Retornos de los usos consuntivos
 - d. Transferidos (importados y exportados)

2.3.1 Tipologías de balances

Cabría distinguir entre dos tipologías de balances:

- El balance de agua medio. Formulado como una ecuación que expresa la igualdad de los flujos de entrada y salida, referido todo ello a un mismo dominio espacial y a un periodo de referencia suficientemente largo como para que el incremento de reservas tenga una magnitud despreciable (Estrela, 1992). Estos balances suelen construirse tanto para la situación actual como para horizontes futuros y, en su definición, suelen emplearse valores promedio tanto de las entradas al sistema de explotación (aportaciones en régimen natural, recursos regenerados,...) como de las salidas del mismo (evaporaciones en embalses, consumos,...).
- El balance de seguimiento. Este tipo de balances aportan una información completa sobre la evolución de los recursos hídricos a lo largo de un año hidrológico. En ellos se detalla tanto las aportaciones a embalses, como los volúmenes embalsados y las demandas previstas en función de los consumos registrados en años anteriores. Con

esta información se pretende concluir si los recursos embalsados son suficientes para cubrir el abastecimiento de las demandas previstas en dicho año hidrológico en cuestión.

En ambos casos el principal inconveniente con el que nos encontramos es que este tratamiento de la información no permite identificar los periodos de sequía puesto que la variabilidad de los recursos queda enmascarada dentro de los valores medios. Por esta razón se utilizan los indicadores de garantía que informan sobre el estado de las sequías operativas.

2.3.2 Estimación del recurso disponible

La siguiente figura pretende ser un breve resumen de los distintos factores que deben tenerse en cuenta en la estimación de los recursos disponibles de un sistema.

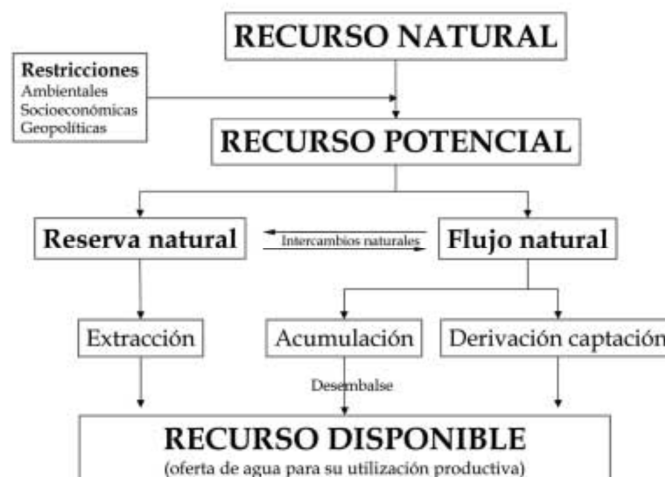


Figura 2. Esquema conceptual de movilización de recursos naturales y su transformación en recursos disponibles (MIMAM, 2000a)

No todo el recurso natural puede –ni debe- considerarse como una oferta que puede servir para atender una demanda de agua (MIMAM, 2000a). Existen algunas restricciones externas al propio sistema que limitan la potencialidad real de la utilización del agua. En este caso se define el recurso potencial como la parte del recurso natural que puede ser utilizado una vez satisfechas las restricciones. Estas restricciones pueden ser ambientales, socioeconómicas o geopolíticas.

Existen además, otro tipo de restricciones de carácter técnico que limitan el aprovechamiento de los recursos. En este caso se define el recurso disponible como aquel recurso que depende tanto de las características de los recursos naturales como de las restricciones externas y de las limitaciones técnicas. En muchos textos se refieren a los recursos disponibles como recursos movilizables.

Una de las mayores dificultades en la formulación de los balances se encuentra en el cómputo de los recursos disponibles ya que éstos dependen de diversos factores, algunos de los cuáles son de difícil cuantificación:

- Un aspecto muy importante a tener en cuenta es la capacidad de movilización de los recursos en el sistema. Movilizar el agua para que se encuentre en disposición de ser usada, consiste en, partiendo del medio natural, ponerla en circulación en la estructura técnica del sistema de utilización (MIMAM, 2000a).
- La gestión del sistema de explotación, entendida como el conjunto de normas de explotación de las infraestructuras hidráulicas del sistema, es otro de los aspectos decisivos en la disponibilidad de los recursos. De forma que, una gestión óptima del recurso permite aumentar la disponibilidad de éste, mientras que, una gestión deficitaria reduce esta disponibilidad irremediablemente.
- La calidad del agua en sí misma puede ser un condicionante en el aprovechamiento de los recursos, puesto que ésta debe adaptarse al uso al que se destina.
- Otra particularidad que condiciona la disponibilidad de recursos es la garantía con la que se dispone de ellos. Contar con altos niveles de garantía en el suministro supone disponer de menores recursos, mientras que una menor exigencia de garantía permitiría contar con una mayor disponibilidad (MIMAM, 2000a).
- La posibilidad de aprovechamiento de los retornos de suministros previos que se reincorporan al medio natural constituye un doble aprovechamiento del recurso. Esta circunstancia es primordial en países como España, donde una parte muy importante de los recursos disponibles se destinan al regadío dando lugar a importantes volúmenes de retornos.
- Por último, el nivel de tecnologías existente en cada momento permite distinguir entre recursos convencionales y recursos no convencionales. Dentro de estos últimos

suele incluirse los recursos procedentes de la reutilización directa y de la desalación. Pero precisamente al estar asociados a la tecnología existente se convierten en concepto dinámico que se va modificando con el tiempo. Actualmente para algunos sistemas, estas técnicas se encuentran tan implantadas que podrían considerarse como convencionales sin lugar a duda.

Estas circunstancias hacen que el concepto de recurso disponible haya sido objeto de diferentes interpretaciones. Una prueba son las distintas estimaciones que han venido elaborándose en los últimos años tanto para el cómputo de los recursos disponibles como para la formulación de los balances. Este punto se desarrollará con más detalle en el siguiente capítulo.

2.4 Garantía en los sistemas de recursos hídricos

Un aspecto que condiciona de manera muy importante la disponibilidad de los recursos es su fiabilidad, es decir, la garantía con la que se dispone de ellos (MIMAM, 2000a). La garantía es un indicador que pretende advertir de la esperanza de que se produzcan fallos en el suministro a largo plazo. De este modo, contar con altos niveles de garantía supone disponer de menores recursos, y viceversa. Cuanto más flexibles seamos en el nivel de suministros más demandas seremos capaces de atender.

Durante los últimos años se han empleado diferentes fórmulas para fijar la garantía del suministro a las diferentes demandas. Los indicadores más utilizados son los basados en la ocurrencia de fallos. Los fallos en el suministro pueden medirse según:

- Intensidad. Es el valor máximo del volumen de fallo en un intervalo de tiempo determinado durante un episodio de fallo.
- Duración. Es la medida del tiempo que se está en situación de fallo.
- Magnitud. Es el valor acumulado del fallo en toda la duración del fallo.

Para esto, la mayoría de los indicadores parten de una definición de fallo y mediante un análisis de la evolución del sistema a largo plazo calculan una probabilidad de que este fallo se produzca. Además de caracterizar el fallo, se debe evaluar las consecuencias derivadas del

mismo. En la práctica, se definen criterios para evaluar el fallo y criterios para considerar si un fallo es admisible o no según el uso al que se destina.

Habitualmente se establecen unos límites máximos admisibles al valor de este indicador para determinar si el sistema “cumple” o “no cumple” los objetivos fijados. El cumplimiento o no de la garantía es de gran relevancia para el sistema, ya que puede servir de referencia para decidir si un nuevo uso es autorizable o si una inversión es necesaria.

Los indicadores de garantía utilizados varían de un territorio a otro y han cambiado a lo largo de los años, debido a que ninguno es capaz de abarcar en su determinación todos los aspectos que describen un fallo y sus consecuencias.

A continuación se describen algunas de las fórmulas más empleadas. Esta información se ha extraído del documento *Garantía de los sistemas de explotación de los Recursos Hidráulicos* (Estrada, 1994).

2.4.1 Indicadores basados en la ocurrencia de fallos

Como se ha comentado, la garantía se define como la probabilidad de que el sistema se halle en una situación satisfactoria, es decir, que el suministro sea suficiente para satisfacer la demanda. La probabilidad de la situación contraria representa lo que se denomina riesgo de fallo.

En este caso, la garantía representa la probabilidad de que en cualquier año, o mes, el estado del sistema sea satisfactorio y, por tanto, el suministro sea suficiente para atenderla demanda. Este indicador recibe el nombre de garantía anual (G_a), cuando se adopta el año como intervalo de tiempo, o garantía mensual (G_m), si el intervalo de tiempo adoptado es el mes:

$$G_a = 1 - \frac{M_a}{N}$$

$$G_m = 1 - \frac{M_m}{N}$$

Donde M_a es el número de años en que se produce fallo, M_m es el número de meses en que se produce fallo y N es el número total de años.

Uno de los principales inconvenientes que presenta este tipo de indicadores es que, tal como se ha planteado, no tienen en cuenta la diferente magnitud ni las consecuencias de los mismos. Esto significa que, se puede obtener la misma garantía tanto si los fallos son de tipo catastrófico o si el suministro es ligeramente inferior a la demanda. La forma más simple de paliar este inconveniente consiste en considerar como situación satisfactoria aquellas en que el suministro es superior a un cierto porcentaje de la demanda. Por ejemplo, puede obtenerse la garantía anual correspondiente al 80% de la demanda, que representaría la probabilidad de que en cualquier año el suministro fuese superior al 80% de la demanda anual.

2.4.2 Indicadores basados en la duración de los fallos

La garantía temporal (G_t) se define como la fracción del período de operación total durante la cual la demanda fue plenamente satisfecha, es decir, como la suma de todos los períodos Δt sin fallo expresada en relación con el período de operación total T :

$$G_t = \frac{1}{T} \sum_{R(t) > D(t)} \Delta t$$

Donde $R(t)$ representa el suministro y $D(t)$ representa el porcentaje de la demanda por debajo de la cual se considera hay fallo. Dado que el intervalo de cálculo habitual en el análisis de los problemas de suministro de agua es el mes, la garantía temporal se suele aproximar por medio de la garantía mensual. Ello supone considerar que los suministros y las demandas son funciones discretas.

Otros autores emplean el concepto de resiliencia, que indica la rapidez con la que el sistema se recupera una vez producido el fallo. Este concepto es más complejo que el de garantía temporal, ya que permite tener en cuenta si los fallos se concentran en un determinado periodo de tiempo.

2.4.3 Indicadores basados en la severidad de los fallos

La principal finalidad de estos indicadores es describir la magnitud de los fallos. Los más sencillos son el déficit y la garantía volumétrica.

El déficit se define como la diferencia entre la demanda y el suministro, es decir, representa la demanda que no ha sido servida. El déficit se puede referir tanto a un año cualquiera como a un determinado periodo de años. En este sentido, algunas instituciones utilizan como déficits característicos los que se acumulan en dos y diez años consecutivos. Éstos se pueden expresar tanto en valor absoluto como en relativo, en función de la demanda solicitada.

La garantía volumétrica (G_v) representa la fracción de la demanda total que se satisface durante el periodo de tiempo T:

$$G_v = 1 - \frac{\int_{R < D} (D - R) dt}{\int_0^T D dt}$$

Donde D representa la demanda y R el suministro. La integral del numerador es el déficit total acumulado durante el período T.

2.5 Análisis de la gestión de sistemas de recursos hídricos

Tanto para construir los balances de recursos hídricos como para evaluar la garantía de los suministros, es necesario analizar el funcionamiento del sistema durante un largo periodo de tiempo sometido a las diferentes condiciones hidrológicas que pueden darse. La experiencia histórica no es suficiente ya que, aunque sí se tiene experiencia de condiciones hidrológicas variables, los usos del agua en la cuenca han variado a lo largo de los años, siendo diferentes de los usos e infraestructuras actuales y de aquellos para los que se trata de obtener el balance y evaluar la garantía. Por tanto es necesario reproducir de forma analítica el hipotético funcionamiento del sistema en las condiciones supuestas. Esto se realiza mediante los modelos de simulación, que son una representación matemática simplificada de las asignaciones del agua a lo largo del tiempo bajo unas condiciones de contorno dadas.

El análisis de la gestión de sistemas de recursos hídricos se basa en herramientas de simulación de la gestión de cuencas que ayudan a identificar problemas futuros y evaluar la eficacia de las soluciones que se plantean dentro del ámbito de la planificación y gestión.

Esta materia permite a los responsables de la gestión del agua identificar y seleccionar una alternativa entre un gran número de posibilidades.

Se plantea como un enfoque sistemático, que contribuye a entender mejor el sistema, ampliar su información básica, predecir las consecuencias de las distintas posibilidades de gestión y a seleccionar entre ellas la mejor alternativa.

En planificación hidrológica la práctica habitual consiste en considerar diferentes escenarios de estudio con el objetivo de analizar las circunstancias que caracterizan cada uno de los horizontes temporales. De este modo se distingue el escenario actual, el cual se supone conocido, del resto de escenarios donde cada uno de ellos refleja la situación del sistema previsible en el horizonte temporal analizado. La DMA establece que los Planes Hidrológicos se revisarán y actualizarán a más tardar 15 años desde su entrada en vigor y posteriormente cada 6 años, con el objetivo de incorporar aquellos cambios que se producen en las condiciones de la cuenca hidrográfica. Por tanto, son muy comunes las referencias a los escenarios 2009, 2015, 2021 y 2027.

En cada uno de estos horizontes temporales los objetivos perseguidos pueden ser distintos. Las diferencias entre unos horizontes y otros pueden hallarse en la evolución previsible de las demandas, la puesta en marcha de ciertas infraestructuras que permitan resolver los problemas existentes, un cambio en las reglas de explotación del sistema e incluso la consideración de los efectos de un posible cambio climático.

Sean cuales sean los objetivos de cada uno de estos escenarios, la sociedad exige a las administraciones responsables de la planificación hidrológica disponer de unos recursos, en cantidad y calidad suficientes, que le permita satisfacer sus necesidades. Es fácil entrever que el recurso disponible no puede considerarse como un valor preestablecido, estático e inamovible, sino que en función de las necesidades, se requerirán distintos orígenes del recurso procedentes tanto de la regulación en embalses superficiales y subterráneos, como de recursos de reutilización, desalación o procedentes de otros sistemas, obteniendo un recurso disponible distinto según el escenario de planificación considerado.

Volviendo a la definición del escenario actual, es necesario hacer una reflexión. El hecho de partir de un escenario actual, supuestamente conocido, supone además que debe estar

adecuadamente caracterizado. Como se ha comentado en apartados anteriores el uso de balances de seguimiento permite obtener un orden de magnitud de las demandas existentes y del volumen de recursos necesario para garantizarlas, si además se disponen datos sobre la variación de los almacenamientos, con esta información el balance se encontraría cuadrado. Pero en muchos casos este tipo de análisis puede no ser suficiente para explicar la situación real de la cuenca. A modo de ejemplo, la respuesta a ¿por qué este año el suministro a las demandas es inferior al de otros años? Podría buscarse una respuesta en la hidrología del año en cuestión, pero ¿se trata de un año húmedo o seco?, puede que el suministro sea menor porque los embalses se encuentran vacíos, o puede que al haber sido un año con importantes lluvias las necesidades de riego se hayan visto reducidas. Por ello este tipo de información que se obtiene a partir de los balances de seguimiento se debería completar con los indicadores de garantía de los suministros, y éstos últimos con los indicadores de sequía para definir en qué estado se encuentra el sistema.

2.6 La sequía

Un factor a tener en cuenta es la existencia de periodos de sequía. Las situaciones de sequía son difícilmente detectables en los balances de recursos, puesto que, como se ha dicho en apartados anteriores, el hecho de trabajar con valores medios en un periodo de referencia suficientemente largo puede enmascarar una reducción de los recursos. Estas situaciones, en cambio, sí que pueden recogerse mediante el cálculo de las garantías de suministros a las demandas, pero sólo será posible a posteriori, una vez hayan pasado los problemas. Precisamente unos de los objetivos del análisis de recursos hídricos es predecir el fenómeno con la suficiente antelación para generar alternativas viables que ayuden a tomar las decisiones oportunas.

En las referencias bibliográficas podemos encontrar diferentes formas de expresar el concepto de sequía. La IPH 2008 (MARMA, 2008a), indica que la sequía es un fenómeno natural no predecible que se produce principalmente por una falta de precipitación que da lugar a un descenso temporal significativo en los recursos disponibles. De la misma manera el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (MAGRAMA, 2012a) describe la sequía como un fenómeno hidrológico extremo que puede definirse como una disminución

coyuntural significativa de los recursos hídricos durante un período suficientemente prolongado que afecta a un área extensa con consecuencias socioeconómicas adversas.

De esta manera podemos indicar que la sequía es un fenómeno normal y recurrente del clima, que ocurre en todas las regiones climáticas aunque sus características varían de unas regiones a otras, pero tanto su ocurrencia como su duración son impredecibles. Además la sequía tiene un carácter lento y progresivo, de forma que, cuando se manifiesta ya se está de lleno en ella (Estrela, 2006).

No se trata únicamente de un fenómeno físico. La sequía ocasiona elevados costes tanto económicos, sociales como medioambientales. Esto ha llevado a que se busquen fuentes alternativas de recursos en los periodos de sequía como son la explotación de acuíferos profundos, las transferencias desde otras cuencas, la desalinización... y que se extiendan nuevas estrategias de gestión que permitan prevenir los periodos de escasez.

Por otra parte es necesario distinguir entre aridez, escasez y sequía, puesto que muchas veces se utilizan estos términos indistintamente de forma errónea. Por una parte la sequía supone una disminución impredecible de las precipitaciones o caudales naturales que puede generar o no restricciones en los suministros en función del volumen de demandas. En cambio la aridez es una característica de ciertos climas en los que la falta de recursos hídricos es permanente. Por último, la escasez puede asociarse a una falta de regulación, a una gestión inadecuada de las infraestructuras e incluso a un exceso en el volumen de demandas, ya que ante una disminución de las precipitaciones se producen deficiencias en los suministros.

2.6.1 Tipos de sequía

Existen diferentes tipos de sequía en función de la variable de referencia considerada. Habitualmente se distingue entre cinco tipos de sequía: la sequía meteorológica, la sequía hidrológica, la sequía agrícola, la sequía operativa y la sequía socioeconómica, que se describen a continuación. La siguiente figura explica la relación entre estos tipos de sequía y la duración del acontecimiento (Villalobos, 2007).

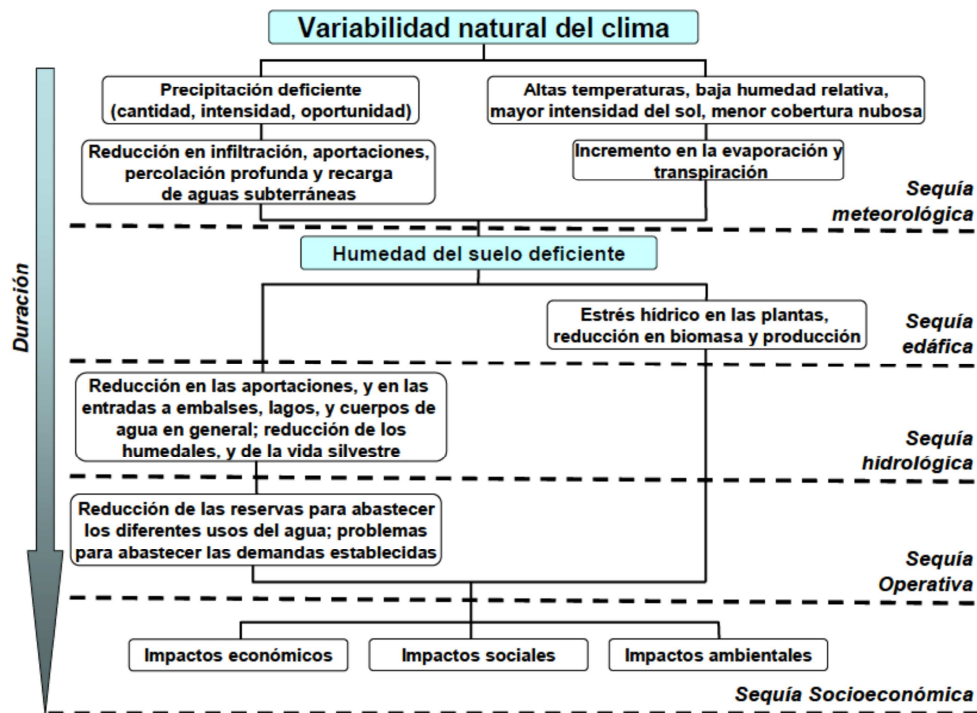


Figura 3. Relaciones entre los distintos tipos de sequía y duración de los eventos (Villalobos, 2007).

Se dice que se está en sequía meteorológica cuando se produce una escasez continuada de precipitaciones. Es la sequía que da origen a los restantes tipos de sequía y normalmente suele afectar a zonas de gran extensión. El origen de la escasez de precipitaciones está relacionado con el comportamiento global del sistema océano-atmósfera, donde influyen tanto factores naturales como factores antrópicos, como la deforestación o el incremento de los gases de efecto invernadero.

La definición de sequía meteorológica está vinculada a una región específica, ya que las condiciones atmosféricas que producen déficit de precipitación son muy variables de una región a otra. Además este tipo de sequía también puede implicar temperaturas más altas, vientos de fuerte intensidad, humedad relativa baja, incremento de la evapotranspiración, menor cobertura de nubes y mayor insolación; todo ello puede traducirse finalmente en reducciones en las tasas de infiltración, menor escorrentía, reducción en la percolación profunda y menor recarga de las aguas subterráneas (MAGRAMA, 2012b).

La sequía agrícola puede definirse como déficit de humedad en la zona radicular para satisfacer las necesidades de un cultivo en un lugar en una época determinada. En zonas de cultivos de secano va ligada a la sequía meteorológica con un pequeño desfase temporal

dependiente de la capacidad de retención de humedad del suelo edáfico. En zonas irrigadas la sequía agrícola está más vinculada a la sequía hidrológica (MAGRAMA, 2012b).

La sequía hidrológica puede definirse como aquella relacionada con periodos de caudales circulantes por los cursos de agua o de volúmenes embalsados por debajo de lo normal. Una definición más precisa sería la disminución en las disponibilidades de aguas superficiales y subterráneas en un sistema de gestión durante un plazo temporal dado, respecto a los valores medios, que puede impedir cubrir las demandas de agua al cien por cien (MAGRAMA, 2012b).

A diferencia de la sequía agrícola, que tiene lugar poco tiempo después de la meteorológica, la sequía hidrológica puede demorarse durante meses o algún año desde el inicio de la escasez pluviométrica o si las lluvias retornan en poco tiempo, no llegar a manifestarse (MAGRAMA, 2012b).

Sonia Sánchez en su libro *Gestión de recursos hídricos con decisiones basadas en estimación del riesgo* (Sánchez-Quispe et al, 2001) introduce el concepto de sequía operativa. Se dice que se está en sequía operativa cuando se producen periodos de tiempo en estado de fallos (no satisfacción de un uso) anómalos en un sistema de explotación de recursos hídricos desarrollado. Las causas pueden ser: la escasez de recursos (sequía hidrológica), el exceso de demanda o la gestión o el diseño no adecuado del sistema de explotación de recursos y de sus reglas de explotación.

Por último, se entiende como sequía socioeconómica a la afección de la escasez de agua sobre las personas y la actividad económica como consecuencia de la sequía. Para hablar de sequía socioeconómica no es necesario que se produzca una restricción del suministro de agua, sino que basta con que algún sector económico se vea afectado por la escasez hídrica con consecuencias económicas desfavorables (MAGRAMA, 2012b).

En las últimas décadas se ha observado el aumento en el número de episodios de sequía socioeconómica que ha supuesto en muchos casos importantes pérdidas económicas, y que son consecuencia de las crecientes presiones sobre los recursos hídricos que ejercen las actividades humanas.

2.7 Consideraciones finales

La planificación hidrológica trata de evaluar cuánta agua se dispone y cuánta agua se necesita, teniendo en cuenta la ubicación y calidad tanto de la fuente del recurso como de la demanda (Bailarón, 2000).

Un primer indicador que puede utilizarse para identificar problemas en la planificación son los balances. Estos balances podrían delatar el riesgo de llegar a situación de aridez. Sin embargo no sirve para la evaluación o detección de problemas de sequía operativa, ya que ésta queda diluida al reducir la información a valores medios. Por otro lado, una de las mayores dificultades en la construcción de los balances es el cómputo de los recursos disponibles.

El siguiente instrumento de que se dispone para la planificación son los indicadores de garantía. Estos son índices de sequía que tratan de predecir el riesgo de sequía operativa en un escenario futuro de gestión del sistema. No pueden llamarse “indicadores de sequía” como tal dado que no miden la sequía como un suceso real sino que se calculan para una situación futura. Si bien es habitual que para su cálculo se utilice datos históricos de recursos en régimen natural, no es el escenario histórico el que se analiza, ya que los datos de consumo son los correspondientes a la situación actual o futura analizada.

La experiencia en la aplicación de indicadores, tanto de sequía como de balances o garantía en sistemas complejos demuestra que la agregación de variables físicas empleada para la definición de estos índices encubre, en realidad, una pérdida de información muy valiosa que define los graves problemas a que se enfrenta la cuenca en muchos casos. Sin embargo estos indicadores son necesarios para la difusión de la información.

Capítulo 3

3 Estado del arte

El siguiente capítulo presenta el estado del arte de los temas centrales de este trabajo como son: balances, estimación de recursos hídricos disponibles, criterios de garantía para el suministro de las demandas e indicadores de sequía.

3.1 Balances

Tal y como se ha visto en el capítulo anterior, los balances son herramientas fundamentales en la planificación hidrológica ya que permiten explicar la situación de una cuenca a nivel general.

En este apartado se ha tratado de recoger una recopilación de los diferentes trabajos relacionados con el cálculo y la definición de los balances hídricos. Esta selección muestra la diversidad de metodologías empleadas para la estimación del recurso y la formulación de sus balances, así como su evolución en los últimos años. La elección de un procedimiento u otro dependerá fundamentalmente del objetivo perseguido en cada uno de los casos.

3.1.1 Enfoque clásico en España

Las metodologías utilizadas en España en los últimos años se han centrado en la evaluación del recurso disponible mediante el empleo de técnicas de optimización, asimilándolo a la máxima demanda que puede ser satisfecha. En otros casos, estos balances han consistido en estimar los recursos, mediante el empleo de modelos del ciclo hidrológico

y la contabilidad de los recursos no convencionales, para posteriormente enfrentarlos con los volúmenes de las demandas requeridas por el sistema. A continuación se detallan tres ejemplos que reflejan los procedimientos desarrollados.

Tres casos de Planificación Hidrológica

En este trabajo se recogen los análisis realizados en las cuencas de los ríos Segura, Júcar y Tajo y que fueron considerados piezas clave para la aprobación de sus respectivos Planes Hidrológicos de cuenca en 1998. En estos trabajos se trataron aspectos como la reasignación y ordenación de los regadíos de las vegas del Segura, la regulación normativa del trasvase Tajo-Segura y la ordenación del río Júcar, que se analiza en este punto con más detalle.

En la siguiente figura se presenta el esquema de explotación básico del sistema Júcar. Del estudio de la situación actual del momento se comprobó que, con el análisis del sistema para el periodo 1940/41-1993/94, todas las demandas se encontraban correctamente satisfechas y se obtuvo una garantía volumétrica global del sistema del 99,7% y un índice ponderado de comportamiento (IPOC) de 1,00. En cambio, utilizando el periodo extendido (incluyendo los años 1994/95 y 1995/96) esta garantía volumétrica se reducía al 98,3% y el IPOC crecía hasta 1,19 debido a la extraordinaria reducción de las aportaciones.

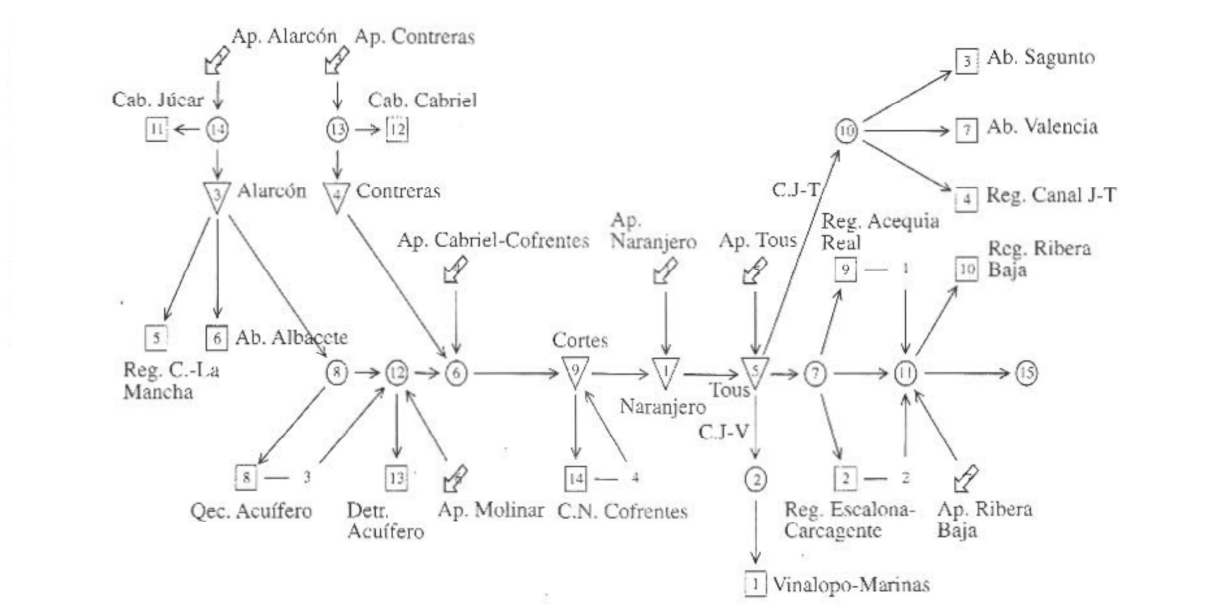


Figura 4. Esquema general del río Júcar (MIMAM, 2000b)

Una vez comprobada la viabilidad del sistema con las demandas existentes en el momento y las reservas previstas se analizó la posible expansión para dotar de recursos a los nuevos regadíos en Castilla-La Mancha, y redotar el sistema del Vinalopó-Alicantí-Marinas.

Para determinar estas posibilidades de expansión se evaluó el cumplimiento de los criterios de garantías de todas sus demandas bajo diferentes supuestos de volúmenes asignados a estas ampliaciones.

El siguiente gráfico muestra la variación del IPOC para cada combinación de valores en la Comunidad Valenciana (abscisas) y Castilla-La Mancha (distintas curvas). La línea gruesa negra une los puntos de reparto equitativo (igual asignación en ambas demandas). Esta línea negra se desvía del valor IPOC = 1 a partir de una asignación de 60 hm³/año, por lo que este es el valor que se propuso adoptar como máxima posibilidad de expansión para cada una de ambas demandas.

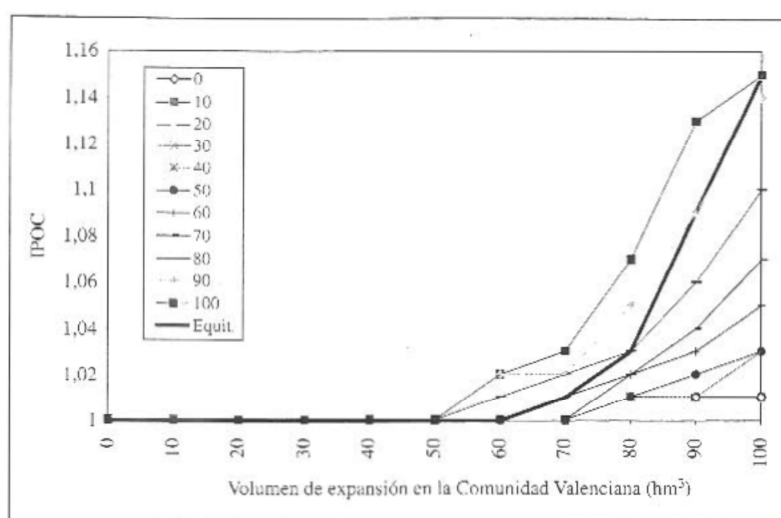


Figura 5. Índice de comportamiento para distintas combinaciones de expansión del sistema con CJT = 125 hm³/año (MIMAM, 2000b)

Todos los análisis de posibilidades de expansión se realizaron bajo el supuesto de que las demandas se mantenían en sus valores nominales actuales de forma sostenible en el futuro. Si aumentase la afección de los bombeos sobre el río Júcar, esta capacidad de expansión podría verse comprometida (y también los usos actuales). Para evaluar este efecto en la siguiente figura se ha representado la relación entre el incremento anual de la afección y el volumen anual que quedaría disponible para atender las demandas de expansión del sistema

manteniendo el IPOC = 1. Se comprobó que existe una relación lineal entre ambos conceptos de forma que, para consolidar las nuevas demandas sería necesario que se impidiera cualquier incremento en los bombeos del acuífero.

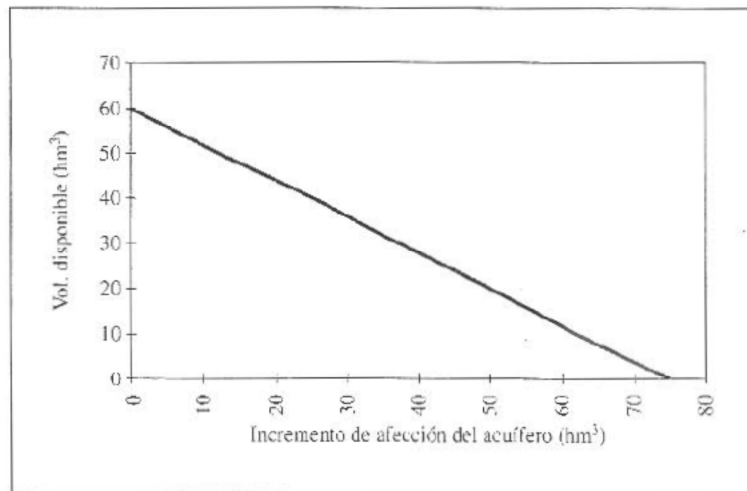


Figura 6. Relación entre incremento de afección y posibilidades de expansión del sistema con CJT = 125 hm³/año (MIMAM, 2000b)

Los resultados anteriores se obtuvieron considerando la demanda futura de los regadíos del Canal Júcar-Turia que ascendía a 125 hm³/año. Repitiendo el análisis con la demanda real actual cifrada en 95 hm³/año y calculando el IPOC para diferentes valores de ampliación conjunta equitativa de las demandas del Vinalopó y Castilla-La Mancha los resultados que se obtuvieron son los representados en la figura siguiente:

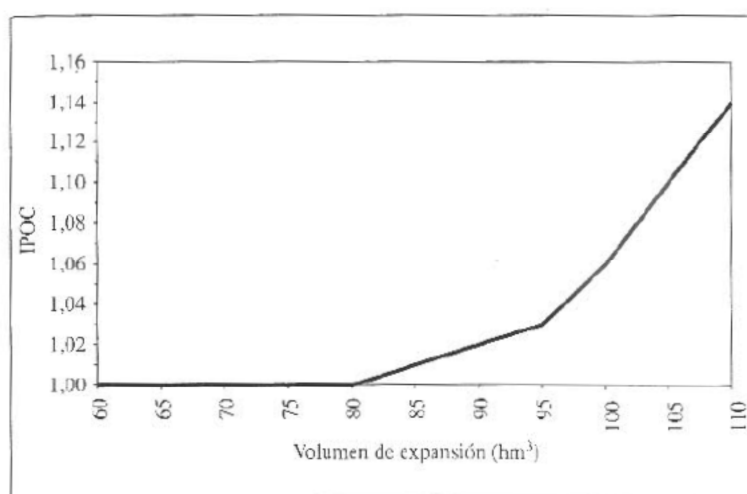


Figura 7. Índice de comportamiento para distintas combinaciones de expansión del sistema con CJT = 95 hm³/año (MIMAM, 2000b)

Como se observa puede expandirse el sistema hasta 80 hm³/año para cada una de las demandas manteniendo el índice IPOC igual a la unidad. La reducción de una demanda en 30 hm³/año permite generar unas disponibilidades de 40 hm³/año.

Para concluir el análisis en la siguiente figura se evalúa el impacto de un posible incremento de las extracciones en el acuífero sobre los caudales del río. Como se observa, incrementos de afección de unos 70 hm³/año harían inviable cualquier expansión y comprometerían los usos actuales.

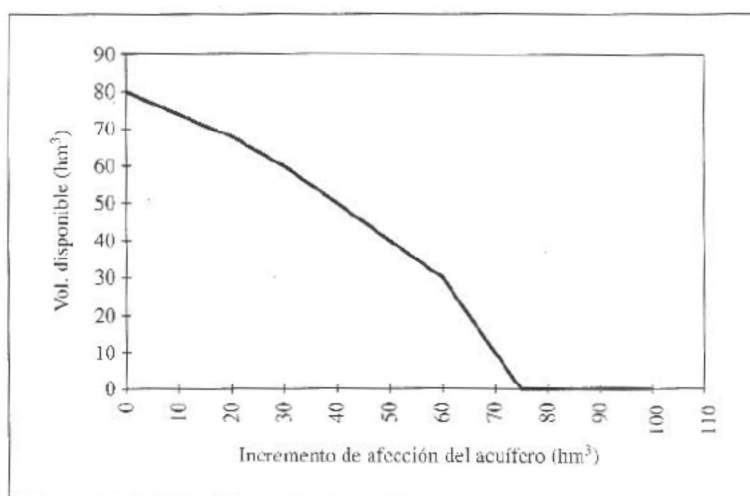


Figura 8. Relación entre incremento de afección y posibilidades de expansión del sistema con CJT = 95 hm³/año (MIMAM, 2000b)

En estas condiciones el análisis del sistema reveló que era posible incrementar el grado de aprovechamiento del sistema llegándose a disponer de hasta un máximo absoluto de 130 hm³/año en los riegos de Castilla-La Mancha (de los que al menos 80 hm³/año debían ir a sustituir bombeos actuales) y un máximo de 80 hm³/año para redotación en la Comunidad Valenciana.

Libro blanco del agua en España

El *Libro blanco del agua en España* (MIMAM, 2000a) fue redactado por el Ministerio de Medio Ambiente en el año 2000 con el objetivo de conseguir un mejor conocimiento de los problemas del agua en España.

El LBA (MIMAM, 2000a) en su tabla 27 (Tabla 1 del documento) recopila una serie de estimaciones de los recursos hídricos disponibles en España (en hm³/año). Es necesario

remarcar que no se utiliza el mismo concepto de recurso disponible en todos los sistemas, ni se han seguido los mismos criterios y procedimientos para su obtención, de ahí que los resultados no sean directamente comparables.

	1967 (a)	1980 (b)	1980 (c)	1990 (d)	1991 (e)	1993 (f)	1998 (g)
Galicia Costa					1.302	1.302	
Norte I				1.100		5.515	691
Norte II				1.807		1.518	587
Norte III				943		493	468
Norte	8.525	10.123	7.448		4.967	8.828	
Duero	6.405	7.713	9.111	9.465	9.269	7.797	10.229
Tajo	4.356	6.496	8.343	6.281	6.233	6.233	5.063
Guadiana I				2.610		2.592	2.591
Guadiana II				407		371	345
Guadiana	2.252	1.428	2.462	3.017	2.385	2.963	2.936
Guadalquivir	3.564	2.965	2.810	4.780	3.255	3.416	3.451
Sur	538	717	785	533	861	1.109	1.007
Segura	665	675	1.317	1.742	700	1.125	1.500
Júcar	1.850	2.665	3.104	2.003	2.564	3.052	3.437
Ebro	8.502	11.164	14.133	9.289	9.337	10.727	9.898
C.I. Cataluña	697	1.139	1.656		1.358	1.358	1.587
Total Península	37.354	45.085	51.169		40.929	46.608	
Baleares	-	224	313		312	312	300
Canarias	-	496	496		496	420	417
Total España		45.805	51.978		41.737	47.340	

Tabla 27. Distintas estimaciones de los recursos hídricos disponibles en España

(a) Recursos Hidráulicos. II Plan de Desarrollo Económico y Social. Presidencia del Gobierno, PG (1967)

(b) El agua en España. MOPU-DGOH-CEH (1980)

(c) Planificación Hidrológica Nacional. (Avance 80). Comisión Interministerial de Planificación Hidrológica. MOPU-CIPH (1980). Incluye retornos, evaluados en 6007 hm³/año para todo el territorio nacional.

(d) Plan Hidrológico. Síntesis de la Documentación Básica. MOPU-DGOH (1990). Estas cifras se presentan bajo la denominación recursos garantizados y se refieren solo a las cuencas intercomunitarias.

(e) El agua en España. Instituto de la Ingeniería de España IIE-ITGE-UNESA. (1991). Incluye los recursos regulados por los embalses y los procedentes de una explotación equilibrada de los acuíferos en una primera aproximación. No se incluyen retornos o recursos importados de otras cuencas. Basado principalmente en la Documentación Básica de los Planes Hidrológicos.

(f) Memoria del PHN. MOPT (1993). Incluye los acuíferos sobreexplotados: Guadiana I (280 hm³/año), Guadalquivir (25 hm³/año), Sur (60 hm³/año), Segura (325 hm³/año), Júcar (125 hm³/año), C.I. Cataluña (50 hm³/año), Baleares (30 hm³/año) y Canarias (160 hm³/año). Total 1055 hm³/año. No incluye retornos (8.000 hm³/año), ni reutilización y desalación (115 hm³/año)

(g) Planes Hidrológicos de cuenca (1998). La cifra del Norte solo incluye la regulación conseguida en los embalses destinados exclusivamente a atender demandas consuntivas. Las cifras del Tajo y el Ebro corresponden a la demanda interna satisfecha, inferior al recurso disponible. El Tajo incluye lo que denomina demanda ambiental y el Ebro incluye 3150 hm³/año de caudal mínimo medioambiental en la desembocadura. Se incluyen las transferencias máximas previstas al Sur (10 hm³/año), Segura (540 hm³/año) y Cataluña (100 hm³/año). La cifra del Júcar incluye reutilización, transferencias y retornos.

Tabla 1. Estimaciones de los recursos hídricos disponibles en España (MIMAM, 2000a)

En la tabla anterior puede apreciarse la disparidad de los resultados obtenidos. Con esta comparativa el LBA (MIMAM, 2000a) pone de manifiesto la necesidad de unificar conceptos y criterios que ayuden a determinar la evolución temporal de las disponibilidades. Por ello realiza una nueva estimación de los recursos a partir de la configuración del sistema de explotación disponible.

Esta nueva estimación de los recursos está basada en el análisis de gestión de sistemas de recursos hídricos. Para tener en cuenta la variabilidad temporal de los recursos e

introducir los elementos de regulación y gestión es necesario utilizar herramientas que permitan la simulación y optimización de la gestión del recurso ante distintos escenarios. El LBA (MIMAM, 2000a) utiliza un modelo de optimización a nivel nacional constituido por las principales infraestructuras (presas, azudes y conducciones), las demandas existentes con sus puntos de retorno, los tramos de río y sus aportaciones. En la siguiente figura se muestra el detalle y complejidad del esquema.

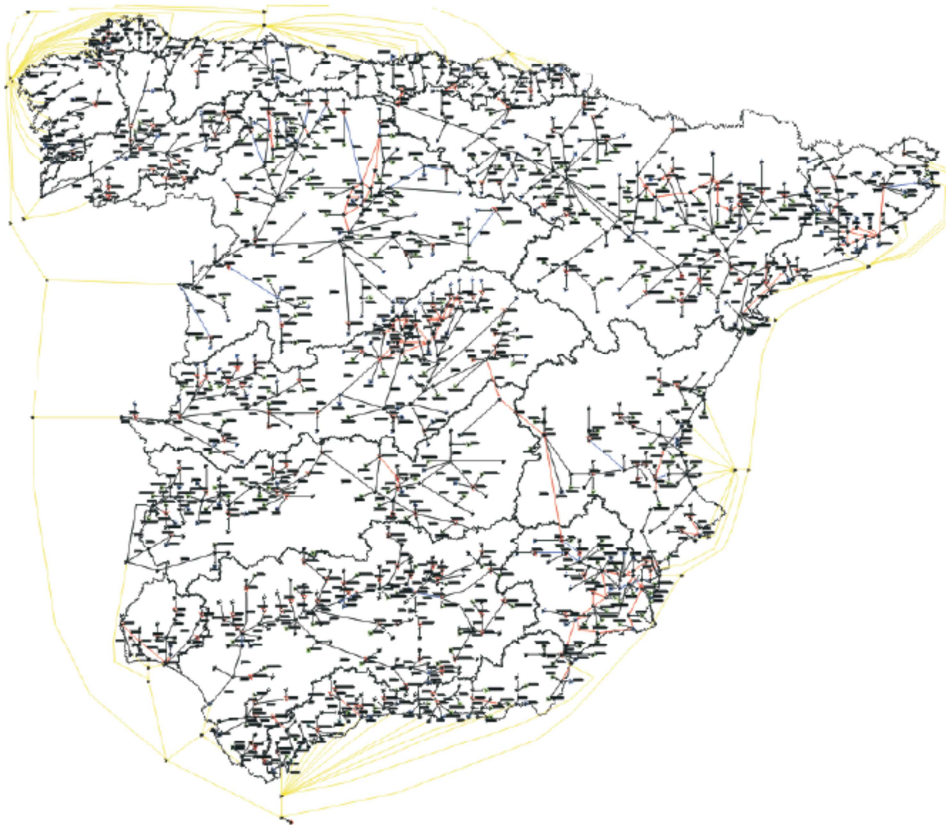


Figura 9. Esquema del sistema unificado de explotación de recursos hídricos (MIMAM, 2000a)

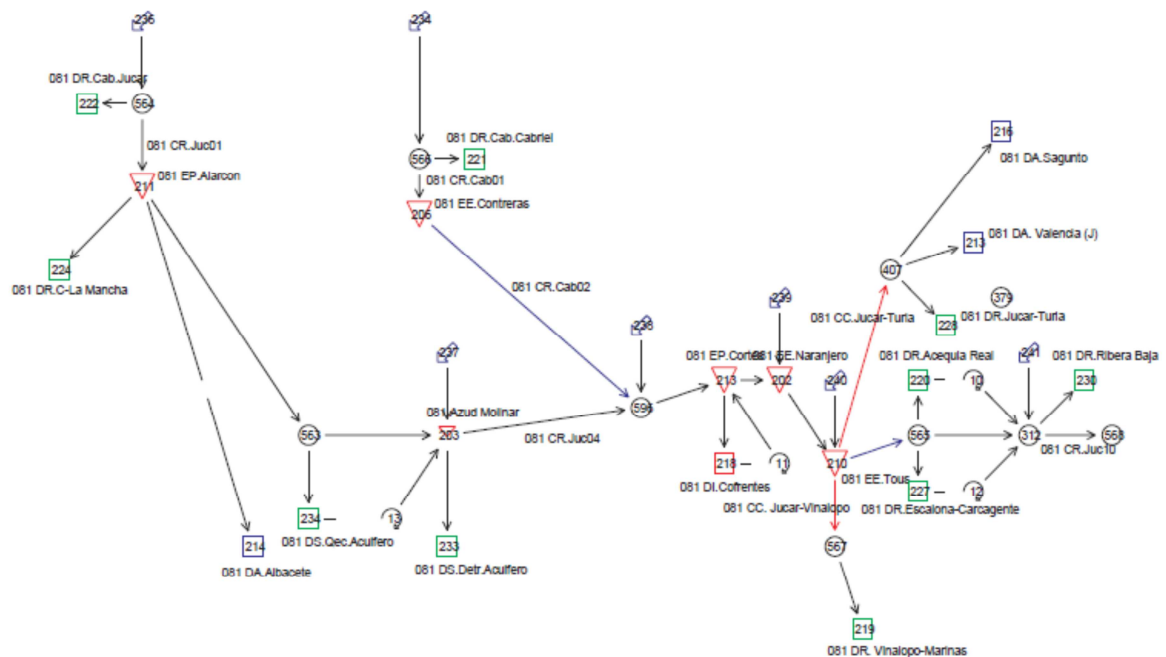


Figura 10. Detalle del esquema de optimización de la cuenca del río Júcar (MIMAM, 2000a)

La figura anterior muestra, a modo de ejemplo, el esquema de la cuenca del Júcar extraído del sistema unificado, y que ha sido utilizado para estimar sus recursos disponibles.

El modelo de optimización empleado por el LBA (MIMAM, 2000a) considera dos grupos de series de aportaciones mensuales en régimen natural: por una parte, las series utilizadas en los PHC; y por otra, un segundo grupo constituido por series obtenidas mediante un modelo de simulación de aportaciones y que cubre el periodo 1940/41-1995/96. Se supone además dos tipos de distribuciones de demandas: una uniforme con garantía 100% y otra variable con el criterio de garantía estándar de déficit anuales acumulados del 50, 75 y 100% de la demanda anual para 1, 2 y 10 años, respectivamente. Además de ello, en el caso de demanda uniforme no se considera ningún tipo de retorno, mientras que en el caso de la demanda variable se estiman unos retornos del 20% de la demanda atendida. La demanda se ha considerado distribuida a lo largo de cada demarcación hidrográfica, asociando una demanda a cada nudo del sistema. De esta forma, el recurso disponible en cada demarcación es la suma de la máxima demanda asociada a cada nudo.

Las diferentes estimaciones se obtienen a partir de un modelo matemático de gestión de recursos con ciclo de optimización anual. Operativamente, el algoritmo procede desde aguas arriba hacia aguas abajo por niveles homogéneos de prioridad, ajustando en una primera fase las demandas de máxima prioridad (más aguas arriba). Las demandas del siguiente nivel de prioridad se ajustan en una segunda fase, y así sucesivamente. En cada fase se supone que las demandas situadas aguas abajo de las del nivel de prioridad estudiado son nulas, para no interferir con la asignación de recursos. En las demandas situadas aguas arriba de las del nivel de prioridad estudiado se mantiene la estimación realizada en las fases previas.

Esta metodología se ha empleado para determinar diferentes variables. El modo de abordar la estimación del recurso permanente (también conocido como regulado en régimen natural) ha sido no considerar la existencia de infraestructuras de almacenamiento, ya que es habitual interpretar estos recursos regulados de forma natural como aquéllos que, en situación de libre apropiación y de ausencia de infraestructuras de almacenamiento, podrían ser utilizados para la satisfacción de las demandas.

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos con las series de aportaciones empleadas en los PHC. Se indican además las cifras de aportación natural indicadas en los planes y las aportaciones de cálculo empleadas en el análisis de los sistemas de explotación (las diferencias se deben a pequeñas cuencas vertientes directamente al mar y a posibles actualizaciones de los datos).

Ámbito	Aportación natural total (lm ³ /año)	Aportación de cálculo (lm ³ /año)	Regulado con demanda uniforme (hm ³ /año)	Regulado con demanda uniforme (%)	Regulado con demanda variable (hm ³ /año)	Regulado con demanda variable (%)
Norte I	11.235	10.489	640	6	411	4
Norte II	13.000	10.950	546	5	708	6
Norte III	5.381	4.211	180	4	248	6
Duero	15.168	13.558	2.006	15	1.656	12
Tajo	12.230	12.230	644	5	505	4
Guadiana I	4.875	4.714	18	0	128	3
Guadiana II	1.293	825	0	0	0	0
Guadalquivir	7.978	8.021	192	2	233	3
Sur	2.483	1.076	15	1	41	4
Segura	1.000	857	299	35	226	26
Júcar	4.142	2.580	524	20	484	19
Ebro	18.217	18.217	2.661	15	2.638	14
C. I. Cataluña	2.780	1.544	282	18	284	18
Galicia Costa	12.642	8.137	591	7	619	8
Península	112.424	97.408	8.599	9	8.179	8

Tabla 2. Volúmenes regulados en régimen natural con las series de aportaciones empleadas en los Planes de cuenca (MIMAM, 2000a)

En segundo lugar, con el fin de estimar el volumen regulado en la situación actual se consideran una serie de cambios respecto al modelo de gestión utilizado hasta ese momento. Se añaden los embalses reduciendo su capacidad un 5% para tener en cuenta los resguardos y volúmenes mínimos. Y se considera una utilización libre sin tener en cuenta las limitaciones concesionales o de explotación.

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos utilizando las series de aportaciones de los Planes de cuenca. Los resultados muestran el notable incremento de los volúmenes aprovechables como consecuencia de la infraestructura de regulación, que se situarían ahora en torno al 41-47% de las aportaciones naturales frente al 8-9% anterior (ver Tabla 2 y Tabla 3). Debe hacerse notar que las cifras resultantes simplemente proporcionan un orden de magnitud, ya que se han obtenido en un supuesto teórico de utilización exclusiva de aguas superficiales, sin considerar la existencia de ningún bombeo de aguas subterráneas, sin ninguna limitación derivada de las concesiones existentes y supeditado a la estrategia de gestión de embalses de ciclo anual supuesta en el modelo de optimización utilizado.

Ámbito	Aport. natural total (hm ³ /año)	Aport. de cálculo (hm ³ /año)	Capacidad de embalse total (hm ³)	Capacidad de embalse de cálculo (hm ³)	Regulado demanda uniforme (hm ³ /año)	Regulado demanda uniforme (%)	Regulado demanda variable (hm ³ /año)	Regulado demanda variable (%)
Norte I	11.235	10.489	3.040	2.427	3.891	37	3.442	33
Norte II	13.000	10.950	559	384	1.579	14	1.475	13
Norte III	5.381	4.211	122	79	337	8	307	7
Duero	15.168	13.558	7.667	6.691	6.829	50	8.128	60
Tajo	12.230	12.230	11.135	9.887	5.860	48	7.071	58
Guadiana I	4.875	4.714	8.843	7.550	2.029	43	2.711	58
Guadiana II	1.293	825	776	522	207	25	264	32
Guadalquivir	7.978	8.021	8.867	7.835	2.904	36	3.632	45
Sur	2.483	1.076	1.319	1.042	388	36	504	47
Segura	1.000	857	1.223	737	610	71	725	85
Júcar	4.142	2.580	3.349	2.417	1.650	64	1.985	77
Ebro	18.217	18.217	7.702	6.860	11.017	60	12.998	71
C. I. Cataluña	2.780	1.544	772	709	768	50	1.115	72
Galicia Costa	12.642	8.137	688	451	1.777	22	1.493	18
Península	112.424	97.408	56.063	47.591	39.846	41	45.850	47

Tabla 3. Volúmenes regulados en la situación teórica considerada, con las series empleadas en los Planes de cuenca (MIMAM, 2000a)

La Tabla 4 recoge además de los recursos convencionales –considerando conjuntamente los volúmenes regulados en embalses y los bombeos de aguas subterráneas- los recursos considerados no convencionales que hacen referencia a reutilización directa, desalación de agua de mar y transferencias superficiales. Con ello, se estima que la disponibilidad hídrica de la península se encuentra en aproximadamente 45.000 hm³/año. Se ha titulado la última columna no como disponibilidades totales, sino como un indicador de la cota máxima de las disponibilidades totales, ya que se ha obtenido separadamente la regulación superficial y los bombeos de agua subterránea, y su agregación no es del todo correcta.

	Volumen regulado en embalses (hm ³ /año)	Bombeo actual de aguas subterráneas.	Reutilización directa (hm ³ /año)	Desalación de agua de mar (hm ³ /año)	Transferenc. superficiales (hm ³ /año)	Indicador de cota máxima actual total (hm ³ /año)
Galicia Costa	1.223					1.223
Norte I	3.937					3.937
Norte II	1.870	19			+4-4	1.889
Norte III	353	33			+190	576
Norte	7.383	52			+194-4	7.625
Duero	6.095	371				6.466
Tajo	5.845	164			-301	5.708
Guadiana I	1.922	738			+20	2.680
Guadiana II	228	76				304
Guadiana	2.150	814	5		+60	2.984
Guadalquivir	2.819	507	12		-6	3.332
Sur	359	420	19	20	+7	825
Segura	626	478	56		+225-30	1.355
Júcar	2.095	1.425	83		+85	3.688
Ebro	11.012	198	6		+4-247	10.973
C.I. Cataluña	791	424	6		+53	1.274
Total Península	39.175	4.853	187	20		44.230
Baleares		284	26	6		316
Canarias		395	20	68		483
Total España	39.175	5.532	233	94	+588-588	45.029

Tabla 4. Síntesis de disponibilidades hídricas teóricas (MIMAM, 2000a)

En el apartado 3.5.1.5 BALANCE el LBA (MIMAM, 2000a) realiza un balance para todo el territorio español a partir de los mapas de recursos potenciales y demandas consuntivas, con ello se pretenden localizar las descompensaciones existentes:

- Los recursos potenciales están constituidos por la fracción no reservada de los recursos naturales más los recursos procedentes de la desalación de agua mar y teniendo en cuenta la redistribución originada por las transferencias existentes.
- El mapa de demanda consuntiva se ha obtenido aplicando para la demanda de riego un 80% y para la demanda urbana e industrial un 90% en la franja costera peninsular de 10 km, un 80% en la misma franja costera insular y un 20% en el resto del territorio, reflejando de esta forma las distintas posibilidades de reutilización directa o indirecta de los recursos.

El saldo resultante del balance da lugar a dos nuevos mapas en los que se representan las celdas del territorio que presentan déficit y las celdas con superávit.

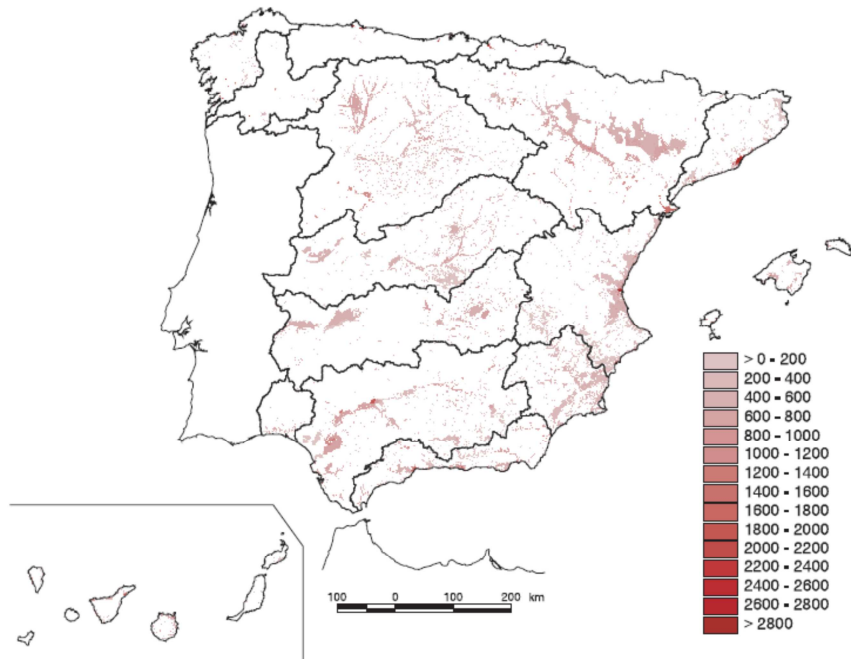


Figura 11. Mapa de distribución territorial del déficit (mm/año) (MIMAM, 2000a)

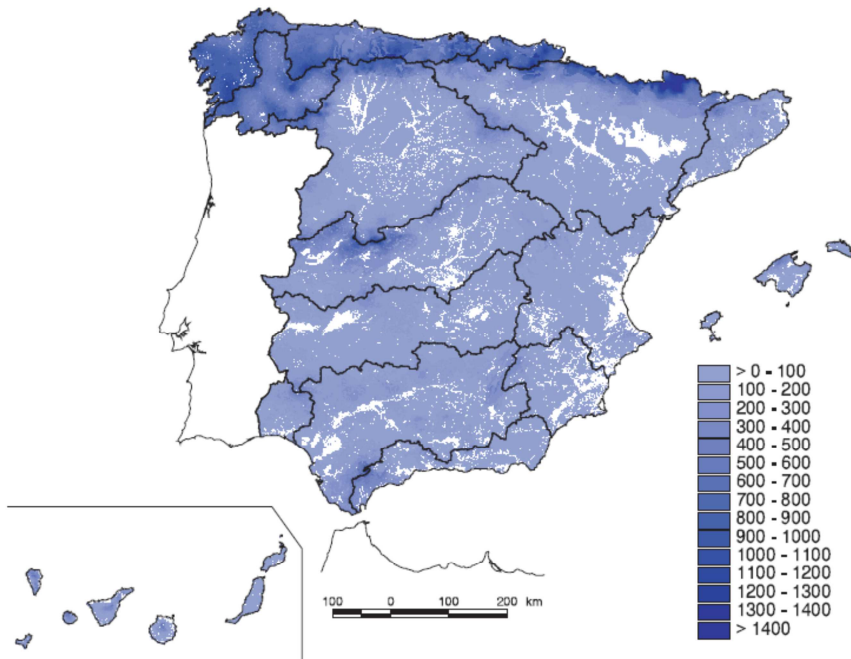


Figura 12. Mapa de distribución territorial del superávit (mm/año) (MIMAM, 2000a)

Como puede apreciarse, la distribución territorial de los déficits es prácticamente coincidente con la distribución de demandas, intensificándose en las grandes zonas de riego y en las concentraciones urbanas. El mapa de superávit permite identificar la localización de los territorios con abundancia de agua en el norte peninsular.

El LBA (MIMAM, 2000a) también analiza el balance agregado por sistemas de explotación y por ámbito de planificación (ver Figura 13 y Figura 14). Los mapas revelan que el único plan de cuenca incapaz de atender sus propios niveles de consumo, en el supuesto de máximo aprovechamiento del recurso potencial (incluyendo transferencias y desalación) y máximo grado de reutilización, es el Segura. En el resto de los Planes, aunque pueden presentarse problemas de escasez en alguno de sus sistemas, se podrían, en tal supuesto, resolver dichos problemas con los recursos potenciales generados en su ámbito territorial.

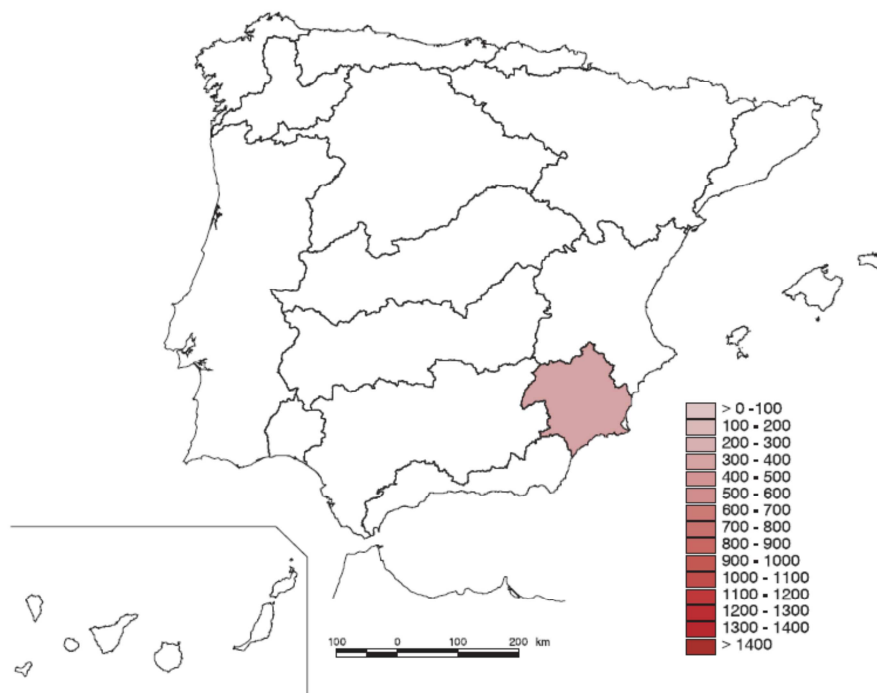


Figura 13. Mapa de déficit ($\text{hm}^3/\text{año}$) en los ámbitos territoriales de los Planes Hidrológicos (MIMAM, 2000a)

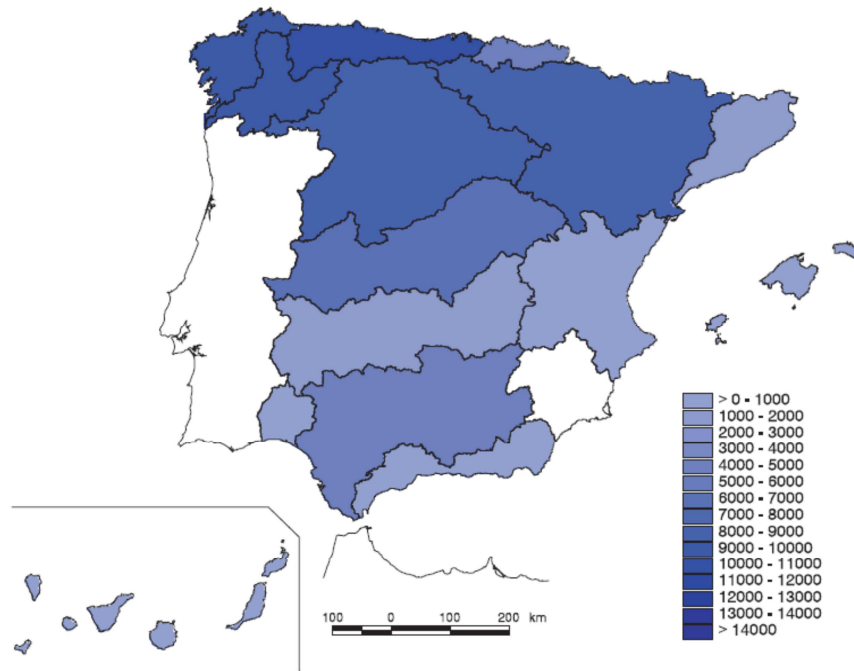


Figura 14. Mapa de superávit (hm³/año) en los ámbitos territoriales de los Planes Hidrológicos (MIMAM, 2000a)

Finalmente, unido a éstos se desarrolla un mapa de riesgo de escasez. Este tipo de mapa permite distinguir entre escasez estructural y coyuntural. En la escasez de tipo estructural el recurso potencial (incluyendo reutilización, desalación y transferencias) es sistemáticamente inferior al nivel de consumo que se pretende alcanzar. La escasez de carácter coyuntural se produce debido a que sus niveles de consumo se hallan relativamente próximos al recurso potencial, y en tales condiciones, secuencias hidrológicas adversas podrían dar lugar a problemas de suministro por insuficiencia de recursos.

En la siguiente figura puede apreciarse la escasez estructural en el ámbito del Plan del Segura y un riesgo de escasez coyuntural en los del Júcar y el Sur, cuyos niveles de consumo agregados se hallan relativamente próximos al valor de los recursos potenciales.

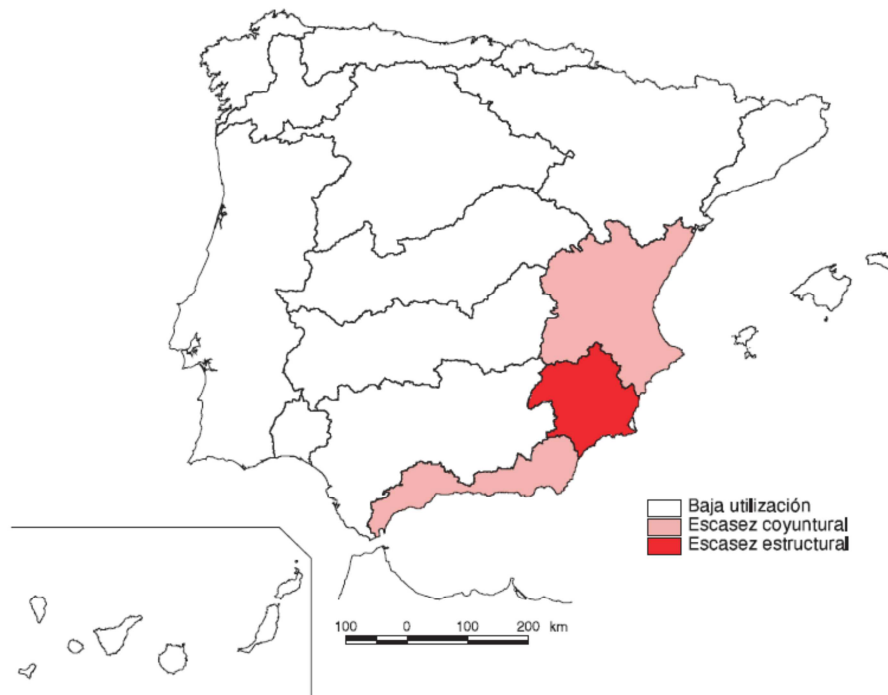


Figura 15. Mapa de riesgo de escasez en los ámbitos territoriales de los Planes Hidrológicos (MIMAM, 2000a)

Esquema de Temas Importantes en la DHJ

El Esquema de Temas Importantes (CHJ, 2013a) (en adelante ETI) tiene como objeto exponer y valorar los principales temas actuales y previsibles en materia de planificación y gestión del agua que se presentan en la Demarcación Hidrográfica del Júcar, así como describir las estrategias de actuación actuales y previstas. El ETI consta de una Memoria y de unos anejos que recogen unas fichas descriptivas de los temas importantes de la CHJ. Se considera Tema Importante, aquel que pone en riesgo la consecución de los objetivos de la planificación (MARMA, 2010). De este modo, con la posterior aprobación del Plan Hidrológico de cuenca se establecerá la asignación y reserva de recursos obtenida a partir del análisis de los balances entre recursos y demandas en cada uno de los sistemas de explotación.

A continuación se analizan los aspectos claves para la formulación de estos balances. Se definen en primer lugar las aportaciones en régimen natural y a continuación, para cada sistema de explotación, los límites superiores de los recursos convencionales aprovechables, así como los recursos no convencionales. Posteriormente se analizarán los usos para cada sistema de explotación.

Las aportaciones totales en régimen natural proceden tanto de la restitución al régimen natural de datos aforados en los lugares donde están disponibles, como de la modelización del ciclo hidrológico en un entorno de sistema de información geográfico, denominado Patrical (Pérez, 2005).

Los resultados (ver Tabla 5) varían en función del periodo de tiempo utilizado. Se aprecia cómo la aportación media total en la DHJ en la serie corta 1980/81-2005/06, es un 6% inferior a la que resulta de la serie larga 1940/41-2005/06, con una reducción del 12% en el sistema Júcar.

Sistema	Promedio 1940/41-2005/06			Promedio 1980/81-2005/06		
	Precipitación	Evapotranspiración	Aportación	Precipitación	Evapotranspiración	Aportación
Cenia-Maestrazgo	1.221	917	304	1.215	903	312
Mijares – Plana de Castellón	2.576	2.067	510	2.562	2.031	531
Palancia – Los Valles	557	449	108	559	442	117
Turia	3.414	2.892	522	3.270	2.774	496
Júcar	11.091	9.247	1.844	10.542	8.916	1.626
Serpis	665	424	241	657	421	236
Marina Alta	606	383	223	603	381	222
Marina Baja	297	216	81	287	213	74
Vinalopó - Alacantí	1.020	920	99	984	887	97
Total DHJ	21.446	17.515	3.931	20.679	16.968	3.711

Tabla 5. Precipitación, evapotranspiración y aportación en régimen natural (hm³/año) (CHJ, 2013a)

Los resultados anteriores no tienen en cuenta aspectos esenciales como la diferencia entre los recursos renovables y los denominados recursos disponibles que se produce al considerar las restricciones ambientales, las capacidades de regulación y de bombeo, la disponibilidad de retornos y la incorporación de recursos no convencionales o transferencias, y que pueden suponer una parte muy significativa del total disponible.

En la Tabla 6 se han considerado los recursos no convencionales y las transferencias en la situación actual y también, los correspondientes al escenario 2015 con la adopción de medidas. Los recursos procedentes de reutilización y desalación se han incluido en las cifras del sistema de explotación en el que se generan.

Sistema	Situación actual 2005			Escenario 2015 con medidas		
	Reutilización	Desalación	Transferencia	Reutilización	Desalación	Transferencia
Cenia-Maestrazgo	0,6	0,0	0,0	14,8	11,0	0,0
Mijares – Plana de Castellón	1,9	0,0	0,0	21,4	11,8	0,0
Palancia – Los Valles	2,6	0,0	0,0	9	8,4	0,0
Turia	53,3	0,0	0,0	82,5	0,0	0,0
Júcar	5,5	0,0	0,0	7,4	0,0	0,0
Serpis	0,6	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0
Marina Alta	0,5	2,7	0,0	6,0	14,0	0,0
Marina Baja	9,0	0,0	0,0	16,7	0,0	0,0
Vinalopó - Alacantí	9,9	0,0	50,3	29,2	28,2	130,3
Total DHJ	83,9	2,7	50,3	191,5	73,4	130,3

Tabla 6. Estimación de recursos no convencionales y transferencias por sistema de explotación (CHJ, 2013a)

Para la realización de una primera aproximación a los balances, junto con los recursos hídricos resulta necesario considerar los usos en cada uno de los sistemas de explotación. Para ello se han considerado los usos agrarios, urbanos, industriales no conectados a la red urbana, y otros usos.

Sistema	Uso 2005	Uso 2015	Incr. Uso 2005-2015
Cenia-Maestrazgo	103,9	113,2	9,3
Mijares – Plana de Castellón	288,1	287,4	-0,7
Palancia – Los Valles	95,1	99,4	4,3
Turia	638,0	649,8	11,8
Júcar	1.560,6	1471,8	-88,8
Serpis	117,4	118,5	1,1
Marina Alta	86,0	90,5	4,5
Marina Baja	61,4	66,4	5,0
Vinalopó - Alacantí	213,0	230,4	17,4
Total DHJ	3.163,1	3.127,1	-36,0

Tabla 7. Uso consuntivo 2005-2015 ($\text{hm}^3/\text{año}$) (CHJ, 2013a)

El ETI (CHJ, 2013a) realiza una primera aproximación al balance entre recursos hídricos y demandas comparando la totalidad de los recursos hídricos en régimen natural de los sistemas y las demandas de los mismos. Este enfoque preliminar asume simplificaciones muy relevantes como la consideración de los recursos que debieran no estar disponibles por requerimientos medioambientales, los retornos que puedan utilizarse, la falta de regulación

para el aprovechamiento de determinados recursos, etc. En la Tabla 8 se puede ver una comparación de las demandas en el horizonte 2015 con las aportaciones medias en régimen natural para el periodo 1980/81 a 2005/06.

Sistema	Uso 2015	Recurso en régimen natural	Uso / Recurso régimen natural
Cenia-Maestrazgo	113	312	0,36
Mijares – Plana de Castellón	287	531	0,54
Palancia – Los Valles	99	117	0,85
Turia	650	496	1,31
Júcar	1.472	1.626	0,91
Serpis	119	236	0,50
Marina Alta	91	222	0,41
Marina Baja	66	74	0,89
Vinalopó - Alacantí	230	97	2,37
Total DHJ	3.127	3.711	0,84

Tabla 8. Balance en el horizonte 2015 (hm³/año) en régimen natural (CHJ, 2013a)

El análisis de la relación entre ambas variables, en el horizonte 2015, indica que el conjunto de la Demarcación se encuentra sometido a un intensivo uso de los recursos.

Estos resultados, son sólo aproximaciones de su situación real, puesto que se comparan valores medios, sin tener en cuenta el efecto de los caudales ambientales y requerimientos ambientales de las masas de agua subterránea consideradas, ni el del reparto de los recursos y demandas en el territorio. Para obtener resultados definitivos, se requerirá la modelación detallada de los sistemas de explotación.

3.1.2 Escenarios de cambio climático

Son varios los estudios que tratan de analizar si el suministro de agua futuro puede verse afectado por el cambio climático, no sólo en cuanto a una posible reducción del volumen total de los recursos sino también el posible efecto en cuanto a la irregularidad de los mismos.

Estudio de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos

En el mes de diciembre de 2012, el Centro de Estudios Hidrográficos, CEDEX en adelante, publicó, por encargo del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, un informe técnico titulado “Estudio de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos y las masas de agua. Efecto del cambio climático en los recursos hídricos disponibles en los sistemas de explotación” (MAGRAMA, 2012a). El objetivo de este trabajo ha sido determinar la evolución del recurso disponible como consecuencia del cambio climático en cada una de las demarcaciones hidrográficas y a nivel nacional.

Para realizar los balances que permiten determinar el recurso disponible en cada una de las demarcaciones hidrográficas se ha empleado un modelo de optimización OPTIGES, desarrollado por la Universitat Politècnica de València.

El enfoque empleado para la estimación del recurso disponible en un sistema de explotación consiste en asimilar este recurso a la máxima demanda de agua que se puede satisfacer en dicho sistema (MAGRAMA, 2012a). Por tanto, se podría considerar que el concepto de recurso disponible depende directamente del tipo de demanda (modulación intraanual uniforme o variable) y del criterio de garantía con el que se considera adecuadamente satisfecha esa demanda.

El criterio de garantía adoptado para la demanda uniforme ha sido el del 100% de la demanda mensual. Para la demanda variable, el criterio utilizado ha sido el establecido en la IPH 2008 (MARMA, 2008a) para la demanda de riego, que admite un déficit del 50% de la demanda anual en un año, un déficit del 75% de la demanda anual acumulado en dos años consecutivos y un déficit del 100% de la demanda anual acumulada en diez años consecutivos.

El cálculo del recurso disponible es un proceso iterativo de incremento de la demanda hídrica, donde se comprueba en cada paso si se cumplen los criterios de garantía adoptados. Cada iteración consiste en una ejecución del modelo OPTIGES. El resultado final se alcanza cuando se obtiene la máxima demanda cumpliendo las garantías exigidas. Se ha optado por una simplificación de la metodología empleada en el LBA (MIMAM, 2000a), de forma que se

ha sustituido las demandas distribuidas en cada demarcación por una única demanda localizada al final de cada cuenca incluida en el sistema de explotación.

En la figura siguiente se muestra el esquema completo de la Demarcación Hidrográfica del Júcar donde aparecen todas las demandas distribuidas. Se han considerado únicamente 7 de los 9 sistemas de explotación que conforman la demarcación: Cenia-Maestrazgo, Mijares-Plana de Castellón, Palancia-Los Valles, Turia, Júcar, Serpis y Marina Baja. Como se ha comentado en el párrafo anterior, para el cálculo del recurso disponible, se ha sustituido el conjunto de demandas por una única demanda al final de cada cauce, como muestra la Figura 17.



Figura 16. Esquema simplificado de optimización de la demarcación del Júcar. Demanda distribuida (MAGRAMA, 2012a)

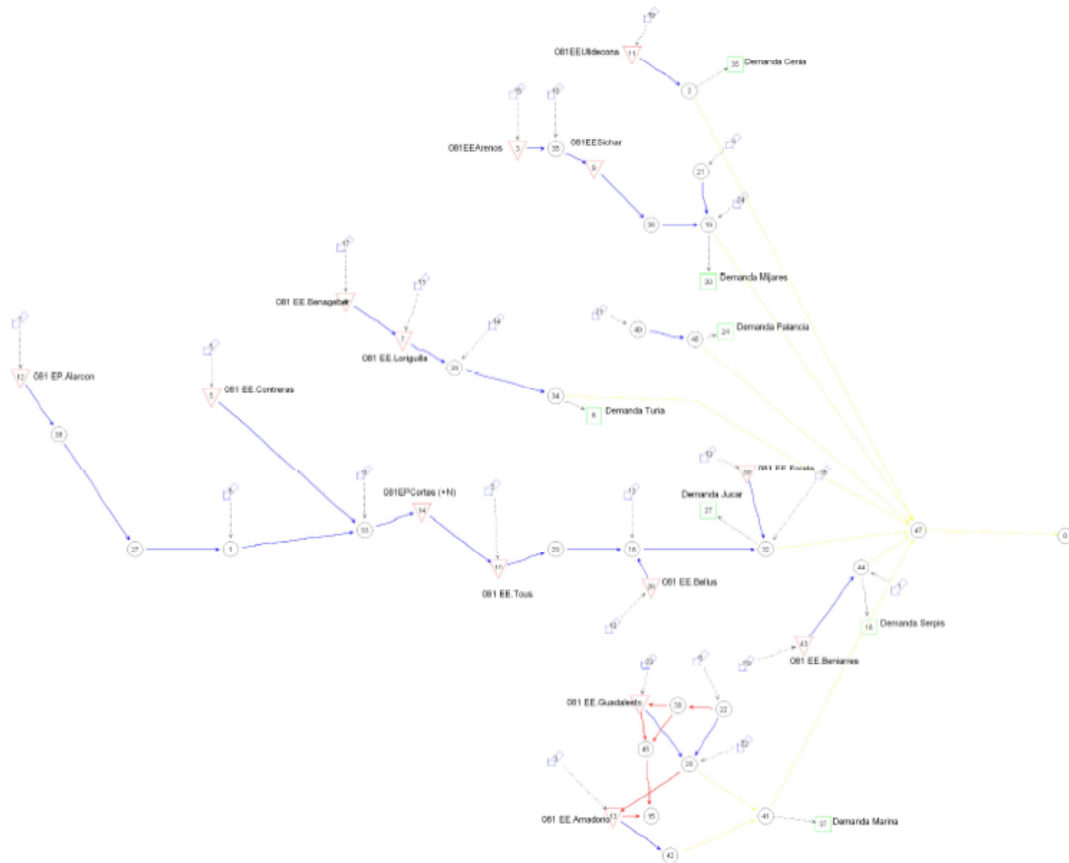


Figura 17. Esquema simplificado de optimización de la demarcación del Júcar. Demanda concentrada (MAGRAMA, 2012a)

Las siguientes tablas muestran para cada tipo de demanda (distinguiendo entre modulación intraanual uniforme o variable) la variación del recurso disponible respecto al periodo de control en los diferentes supuestos de escenarios climáticos (diferenciando además entre escenarios sin medidas A2, y escenarios con medidas B2). Por una parte, se comprueba que la variación del recurso disponible es prácticamente insensible a la modulación de la demanda. Y además este trabajo ha permitido mostrar la gran incertidumbre que existe en la estimación de los recursos disponibles teniendo en cuenta las posibles afecciones del cambio climático.

Escenario	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-3	-16		-5			-8
	2041-2070	-11	-32		-20			-21
	2071-2100	-25	-33	-2	-48	-42	-48	-33
B2	2011-2040	-21	-26		-29			-25
	2041-2070	-12	-24		-15			-17
	2071-2100	-12	-26	-16	-12	-29	-18	-19

Tabla 9. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al periodo de control en la demarcación hidrográfica del Júcar (MAGRAMA, 2012a)

Escenario	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-6	-13		-4			-8
	2041-2070	-10	-30		-20			-20
	2071-2100	-26	-33	-3	-48	-46	-50	-34
B2	2011-2040	-22	-25		-10			-19
	2041-2070	-12	-22		-17			-17
	2071-2100	-12	-25	-19	-12	-34	-21	-21

Tabla 10. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al periodo de control en la demarcación hidrográfica del Júcar (MAGRAMA, 2012a)

Metodología de evaluación de políticas de adaptación al cambio climático

Beatriz de Lama en su tesis doctoral *Metodología de evaluación e identificación de políticas de adaptación al cambio climático en la gestión de recursos hídricos* (De Lama, 2011) propone una metodología para el análisis de sistemas de recursos hídricos en riesgo climático basada en estos indicadores de eficiencia. Utiliza como caso de estudio la cuenca del río Ebro, considerando las aportaciones actuales y futuras, concordantes con los escenarios de emisiones A2 y B2.

Para el análisis de resultados se ha desagregado la cuenca en 4 sistemas. Cada uno de ellos recoge diferentes subsistemas que se han considerado homogéneos desde el punto de vista de las demandas, el grado de desarrollo hidráulico, las posibilidades de interconexión y las características hidrológicas (ver Figura 18).

Se ha utilizado un modelo de optimización OPTIGES de la cuenca del Ebro que coincide con el esquema utilizado en el PHN. Los resultados de este modelo representan el balance entre recursos y demandas para el periodo de análisis. En particular, para cada demanda se

calcula el agua realmente servida y su garantía, se obtiene así una curva Garantía vs. Demanda para cada sistema con cada una de las proyecciones hidrológicas. La Figura 19 representa estas curvas para la situación de control.

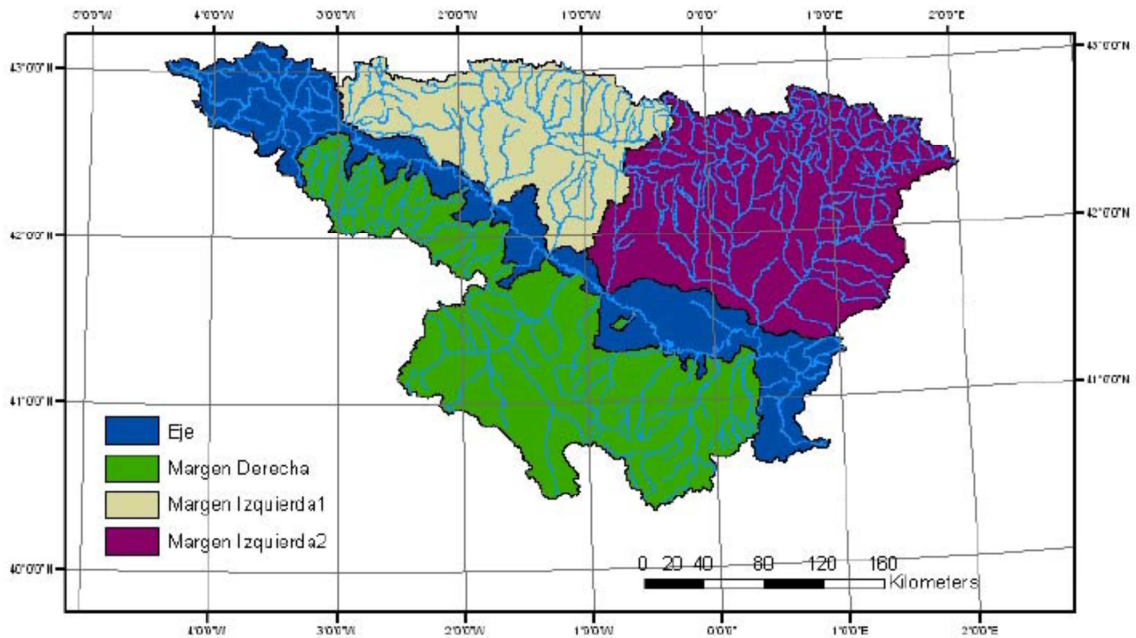


Figura 18. Distribución geográfica de los sistemas en los que se desagrega la cuenca del Ebro para el análisis (De Lama, 2011)

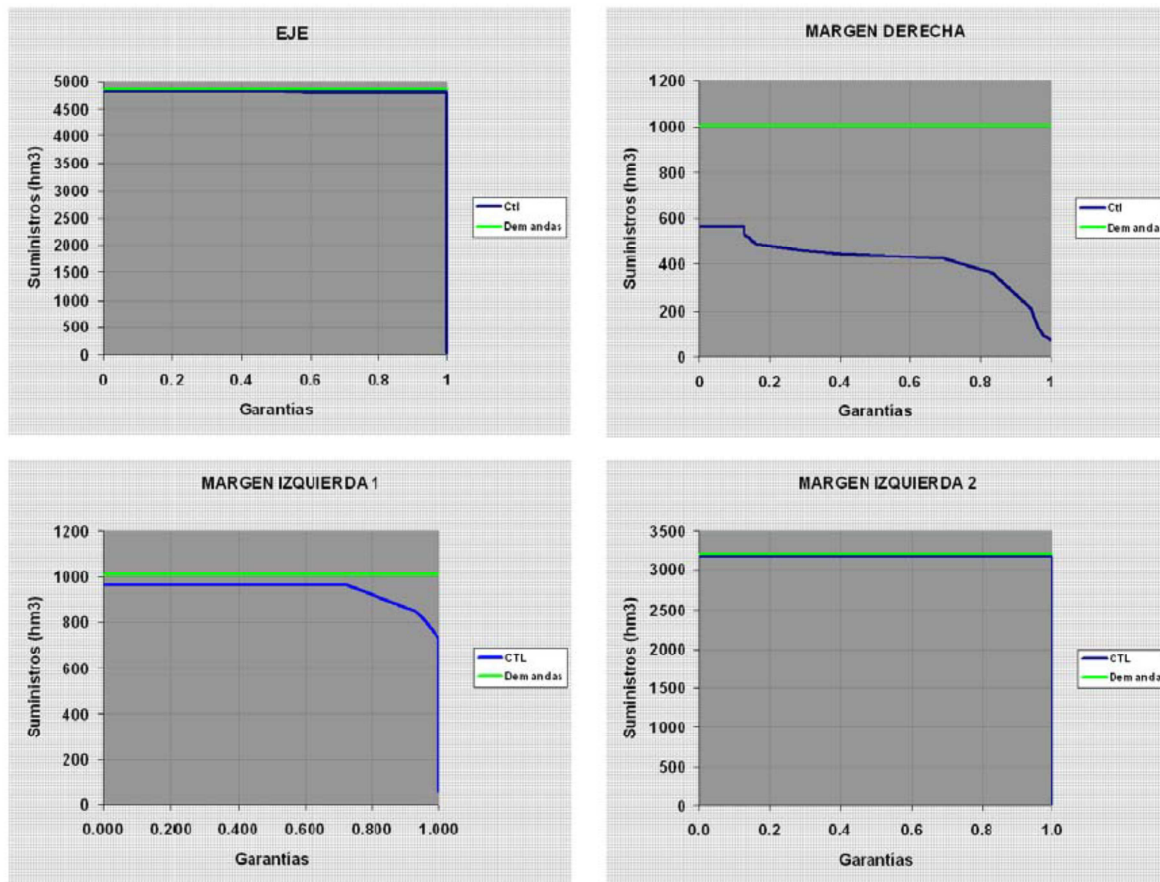


Figura 19. Curvas Garantía vs. Demandas por sistemas para la situación actual (De Lama, 2011)

A continuación se exponen los valores de los indicadores calculados tras la representación gráfica de las curvas Garantía vs. Demandas. Atendiendo únicamente a los indicadores I_1 e I_2 se tiene que, para la situación actual, el sistema Margen Derecha se encuentra con problemas muy serios en el sistema hidráulico, mientras que el resto de sistemas se encuentra sin problemas.

Sistema	INDICADORES				Proyección
	I_1	I_2	I_3	I_4	
EJE	1.00	1.00	-0.73	0.00	Ctl
MARGEN DERECHA	0.58	0.21	0.67	0.15	Ctl
MARGEN IZQUIERDA 1	0.95	0.79	0.80	0.05	Ctl
MARGEN IZQUIERDA 2	0.99	0.99	0.58	0.00	Ctl

Tabla 11. Valores de los indicadores de eficiencia para la situación actual (De Lama, 2011)

3.1.3 Contabilidad del agua y sistemas de información

Las referencias europeas más recientes tratan de abordar el cálculo de balances mediante técnicas de “contabilidad del agua”, de forma que se plantean balances de seguimiento haciendo hincapié en los diferentes usos del agua. En este tipo de estudios adquieren importancia algunas variables que hasta ahora habían pasado desapercibidas como son la precipitación y la evapotranspiración.

Estudio de la estandarización de la contabilidad del agua

Andrea Momblanch en su *Estudio de la estandarización de la contabilidad del agua. Aplicación al Sistema de Recursos Hídricos del río Júcar* (Momblanch, 2011) muestra la investigación realizada sobre la contabilidad del agua, incluyendo una revisión de las metodologías utilizadas en la actualidad para informar sobre los flujos de agua en distintos países y organismos internacionales, y la posibilidad de enlazarlas con un sistema estandarizado de contabilidad del agua. A continuación, se muestra una relación de los distintos sistemas de contabilidad del agua identificados:

- **Anuarios de Explotación.** Las Memorias de Explotación proporcionan información relevante sobre la gestión y estado de los recursos de una cuenca hidrográfica, ya que se centran en las reservas y demandas más significativas de la cuenca. Con ello proporcionan una visión global de lo sucedido en el año hidrológico dentro de la cuenca.
- **Cuentas satélite del agua en España.** Publicadas por el Instituto Nacional de Estadística (INE), estas cuentas consisten en un conjunto de tablas que muestran de manera estructurada y detallada los flujos cuantitativos y cualitativos. Permiten calcular el coste unitario del agua en cada actividad económica a escala nacional y el precio por recurso por usos a escala autonómica y de cuenca. Sin embargo, de cara a reflejar los procesos de gestión del agua, las cuentas satélite presentan importantes carencias: se detallan mucho las demandas industriales mientras se agrupa la demanda agraria en un solo concepto, lo que supone representar en una sola casilla el 80% del consumo de agua; dificulta la obtención de información integrada de calidad a escala de cuenca, ya que las actividades económicas están adscritas a las administraciones autonómicas y no al ámbito de cuenca hidrográfica; los conceptos

utilizados para el agua y sus servicios se utilizan con terminología y tratamiento de productos económicos, dificultando su aplicabilidad desde el punto de vista hidrológico; por último, no incorporan conceptos como las reservas disponibles o los flujos físicos naturales de agua y sus correspondientes balances. La siguiente tabla muestra un ejemplo de cuentas satélite:

Año XXXX	01.41.11 Operaciones del sistema de riego	41.00 Captación, depuración y distribución de agua	75.12 Servicios administrativos	90.01 Servicios de depuración y tratamiento de aguas residuales	TOTAL
1 Total de consumos intermedios	miles de €				
2 Total del valor añadido					
2.1 Remuneración de los asalariados					
2.2 Otros impuestos sobre la producción					
2.3 Otras subvenciones sobre la producción					
3 Producción total a precios básicos					
4 Ayudas a la inversión					
5 Formación bruta de capital fijo					
6 Stocks de activos fijos					

Tabla 12. Cuentas económicas de producción y explotación por operaciones económicas, periodo y tipo de actividad (Mombanch, 2011)

- Sistema Integrado de Contabilidad Ambiental y Económica del Agua (SEEAW).** Proporciona un marco conceptual para organizar la información física y económica relacionada con el agua, de forma coherente con el Sistema de Cuentas Nacionales. En la actualidad, esta metodología se aplica en un gran número de países, como Australia, China, México, Chile, Sur África, Egipto o Líbano. Según este estándar, disponiendo de información integrada sobre la economía, hidrología y aspectos sociales como el empleo, se pueden diseñar políticas coherentes con la realidad. Además, en este sistema se muestran las reservas, las extracciones de los distintos usos y los flujos entre reservas. El principal inconveniente para su aplicación es la

obtención de la información económica necesaria para implementarla, ya que se encuentra recopilada a escala administrativa y referida a años naturales, no hidrológicos. Por otra parte, requiere un volumen de información tan elevado que resulta complejo llegar a tener una visión global del periodo estudiado (ver Tabla 13).

		Industrias (categorías del ISIC)						Hogares	Resto del mundo	Total
		1-3	5-33, 41-43	35	36	37	38,39,45-99			
Desde el medio ambiente	1. Captación total (=1.a+1.b=1.i+1.ii)	Unidades físicas								
	1.a Captación para uso propio 1.b Captación para distribución 1.i De los recursos hídricos: 1.i.1 Agua superficial 1.i.2 Agua subterránea 1.i.3 Agua del suelo no saturado 1.ii De otras fuentes: 1.ii.1 Recogida de aguas pluviales 1.ii.2 Captación del mar									
Dentro de la economía	2. Agua recibida de otras actividades económicas									
3. Total de agua utilizada (=1+2)										

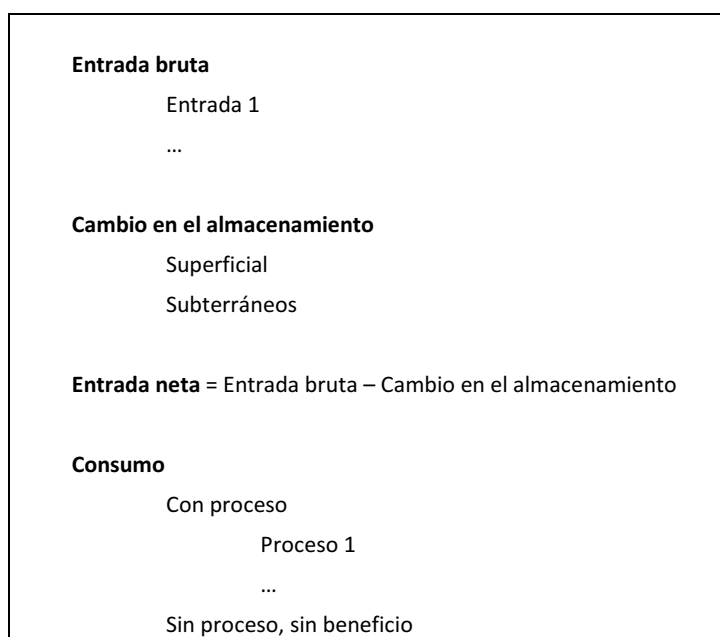
Tabla 13. Tabla física de usos (Momblanch, 2011)

- Matriz de Contabilidad Nacional Incluyendo las Cuentas del Agua (NAMWA).** Se trata de un sistema de información estadística que combina las cuentas nacionales y del agua en una única matriz, lo que permite relacionar el sistema físico con el económico. Los datos pueden ser desagregados a nivel de cuencas hidrográficas, para aplicarla a la escala de trabajo que fija la Directiva Marco del Agua. NAMWA es la metodología adoptada por la división estadística de la Unión Europea, Eurostat, para la contabilidad del agua. Actualmente se aplica en países, como Holanda, España, Reino Unido, Dinamarca, Bélgica o Japón. La matriz NAMWA consiste en la ampliación de la matriz de contabilidad nacional con información relativa al agua. Consta de catorce cuentas de las cuales diez son económicas, dos de balance hídrico y dos de emisiones de contaminantes. Por este motivo, se considera que estas cuentas son eminentemente económicas y contienen poca información física sobre el estado cuantitativo del agua. De hecho, sólo se representan las reservas superficiales

y subterráneas y el consumo de las mismas por parte de distintas actividades económicas, sin considerar los flujos naturales u otras transferencias interesantes para el control de la gestión del agua.

▪ **Contabilidad del Agua del Instituto Internacional de Gestión del Agua (WA IWMI).**

Se trata de un instrumento que tiene vocación de analizar los usos, el consumo y la productividad del agua en una cuenca (Molden, 1997). Esta metodología se concibió para la operación de sistemas de riego, aunque también se puede aplicar desde la perspectiva del abastecimiento urbano, industrial o ambiental. El WA IWMI establece una terminología para describir el estado de los recursos hídricos y el modo en que les afectan los distintos usos del agua. Asimismo, trata de identificar oportunidades de ahorro o de aumento en la productividad del agua, además de ayudar en el proceso de decisión para la asignación de los recursos entre los distintos usos existentes. En la actualidad, a diferencia de los sistemas de contabilidad descritos anteriormente, el WA IWMI no se está aplicando por parte de organismos oficiales nacionales ni internacionales pese a que resulta mucho más intuitivo y claro, debido a que la información se muestra según la estructura de balance hidrológico (entradas, usos/consumos, salidas) (ver Tabla 14). Su mayor fortaleza radica en tener gran versatilidad para ser aplicado a distintas escalas sin necesidad de adaptar su estructura y en que los indicadores propuestos son de fácil determinación y proporcionan información sintetizada sobre el estado y funcionamiento del sistema.



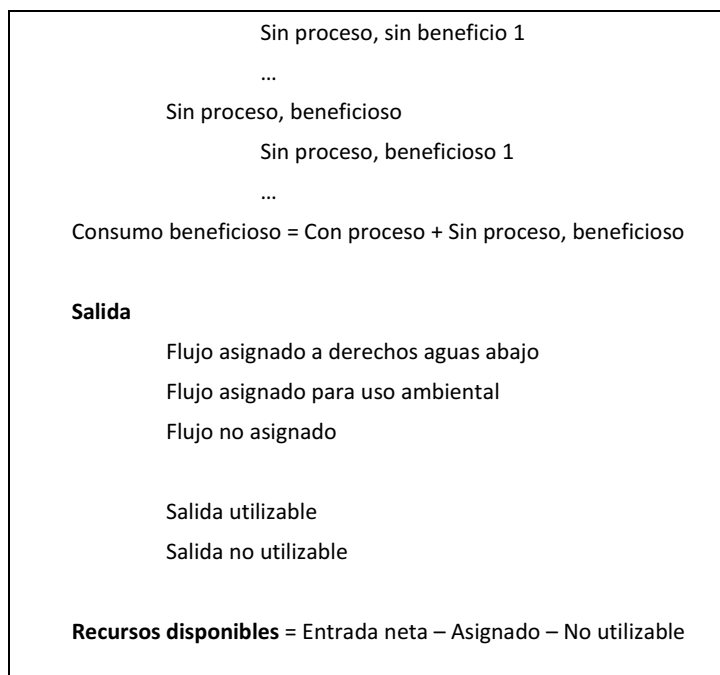


Tabla 14. Modelo de contabilidad WA IWMI (Momb Blanch, 2011)

- **Informes Australianos Generales de Contabilidad del Agua.** Proporcionan información completa y clara sobre los almacenamientos y flujos de una entidad, atendiendo tanto a los elementos naturales del ciclo hidrológico como a los introducidos por la acción humana. Además, la presentación de la contabilidad del periodo de estudio junto a la del periodo anterior permite observar la evolución del estado de los recursos de la entidad. Este sistema de contabilidad permite ser aplicado a distintas escalas. El menor nivel de agregación que plantea el sistema es la escala de uso (comunidades de regantes, ayuntamientos...) y el mayor nivel correspondería a la escala nacional, con la confección de las Cuentas Nacionales del Agua. Además, este sistema contempla el cálculo de un término de balance que cuantifica el error global cometido y proporciona una medida de la fiabilidad de las cuentas.
- **Huella Hídrica.** La huella hídrica de un individuo, comunidad o industria se define como el volumen total de agua necesario para producir los bienes y servicios consumidos por los mismos (Hoekstra, 2003). No se trata de un sistema de contabilidad y, por tanto, no existe ninguna clase de metodología estándar para su presentación. En el cálculo de la huella hídrica, el uso del agua se mide como volumen de agua consumida (o evaporada) y/o contaminada, y se considera el agua necesaria en todas las fases de la cadena productiva hasta el consumidor. Desde el

punto de vista de su aplicabilidad, la huella hídrica pretende servir como instrumento para conseguir un cambio en la asignación de los recursos hídricos, ya que permite comparar el volumen relativo de agua que consume una actividad con la riqueza que genera dicha actividad. En el marco de la gestión integral de los recursos hídricos, la huella hídrica permite detectar soluciones a la escasez hídrica a través de políticas de comercio, agrarias... Es decir, realizando modificaciones en los sectores que consumen el agua (gestión de la demanda). La siguiente tabla muestra un ejemplo de la huella hídrica calculada en un área geográfica:

Población	Sector	Verde	Azul	Total	Per cápita	VAB	Productividad económica del agua
nº habitantes	Agricultura	Hm ³ /año	Hm ³ /año	Hm ³ /año	Hm ³ /año/pers	€	€/m ³
	Ganadería						
	Urbano						
	Industrial						
	Total						

Tabla 15. Propuesta para la presentación de los datos de la huella hídrica calculada en un área geográfica (Momb Blanch, 2011).

Momb Blanch realiza en este trabajo una aplicación del estudio del Sistema Australiano de Contabilidad del Agua al Sistema de Recursos Hídricos del río Júcar para el año hidrológico 2007/08, con el fin de evaluar su posible aplicación en España.

Se han reducido los términos contables de modo que la información presentada en las cuentas sea únicamente la esencial para los destinatarios de los informes. La siguiente figura muestra el esquema del sistema Júcar con los elementos considerados en la contabilidad:

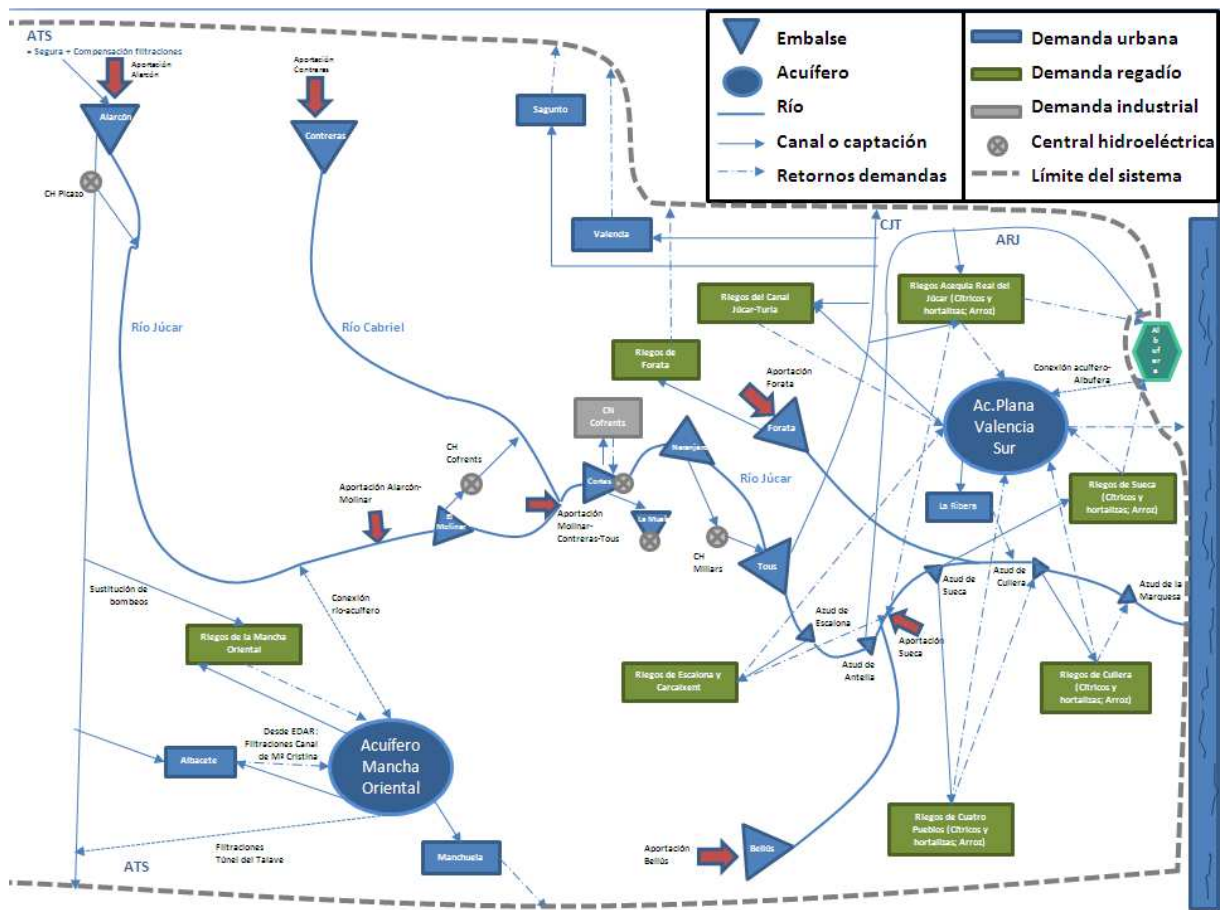


Figura 20. Esquema del dominio y elementos de contabilidad (Momblanch, 2011)

El análisis detallado de los errores en las Tabla 16 y Tabla 17 muestra que el balance superficial es de signo contrario al balance subterráneo. Esto implica que el error total mostrado en la cuenta de Cambios en los recursos hídricos y obligaciones sobre el agua, no refleja adecuadamente los errores de estimación en los términos de las cuentas. Por ello, es determinante para un correcto análisis calcular el término de balance para las aguas superficiales y subterráneas de forma independiente.

Recursos superficiales iniciales (Hm ³)	322,07
Aumento en los recursos superficiales (Hm ³)	2.245,06
Disminución en los recursos superficiales (Hm ³)	2.051,41
Recursos superficiales finales teóricos (Hm ³)	515,72
Recursos superficiales finales (Hm ³)	438,71
BALANCE SUPERFICIAL (Hm³)	-77,01
BALANCE SUPERFICIAL (% sobre los suministros superficiales)	6,29%

Tabla 16. Término de balance correspondiente a los recursos superficiales (Momblanch, 2011)

Recursos subterráneos iniciales (Hm ³)	5.333,36
Aumento en los recursos subterráneos (Hm ³)	495,34
Disminución en los recursos subterráneos (Hm ³)	690,90
Recursos subterráneos finales teóricos (Hm ³)	5.137,80
Recursos subterráneos finales (Hm ³)	5.270,13
BALANCE SUBTERRÁNEO (Hm³)	132,34
BALANCE SUBTERRÁNEO (% sobre los suministros subterráneos)	26,88%

Tabla 17. Término de balance correspondiente a los recursos subterráneos (Momb Blanch, 2011)

El error cometido en las aguas superficiales proviene principalmente de la escorrentía y de los retornos. Las series de aportaciones se han restituido para descontar los efectos de todas las demandas consideradas en la contabilidad, pero las series de partida ya contaban con una restitución de parte de las demandas (las que considera el modelo SIMGES) con los valores de demanda neta en vez de con los suministros netos calculados a partir de los datos de explotación del sistema. Los retornos se han estimado con coeficientes basados en criterio de expertos según el funcionamiento del sistema, por lo que también introducen incertidumbre en los resultados.

Los resultados de reservas obtenidos en la Cuenta de Recursos Hídricos y Obligaciones sobre el agua, para el final del periodo 2007/2008, muestran una ligera mejora en la situación del sistema respecto al periodo anterior. Los embalses han incrementado sus reservas en 116 hm³. Los acuíferos más relevantes del sistema, en cambio, han reducido sus reservas en 63 hm³ en el transcurso del periodo. Este hecho puede ser debido al aumento de las extracciones para reemplazar el recurso superficial.

Plan para salvaguardar los recursos hídricos de Europa, Blueprint

Desde la UE se persigue una política de aguas que permita proteger nuestros recursos hídricos. Este Plan para salvaguardar los recursos hídricos de Europa se conoce como Blueprint (EC, 2012) y pretende abordar aquellos obstáculos que dificulta la protección de los recursos hídricos europeos. El Plan se fundamenta en amplias consultas públicas en las que han participado los ciudadanos, las partes interesadas, los Estados miembros y otras instituciones y organismos de la UE.

Para alcanzar el buen estado de las masas de agua que establece la DMA, es necesario desarrollar un trabajo conjunto entre todas las políticas vinculadas con el uso del agua. Uno de estos aspectos hace referencia al uso de los balances. El uso de la contabilidad del agua para cuantificar la oferta y la demanda es una herramienta clave para la toma de decisiones en la gestión de las aguas:

- La contabilidad del agua, basada en principios estándar de las Naciones Unidas para la contabilidad ambiental y económica, debe tomar en consideración los requerimientos del estado ecológico de la DMA. Es necesario que en primer lugar se establezcan los volúmenes necesarios para respetar los caudales ecológicos, para después distribuir el resto del agua disponible en el sistema entre los distintos usuarios, usando para ello instrumentos económicos.
- Sin embargo, el conocimiento existente acerca de los caudales ecológicos y disponibilidad de agua a la escala de las cuencas, o es insuficiente, o no está adecuadamente integrado en la toma de decisiones. Como consecuencia, es esencial compartir aún más los resultados de investigación, seguimiento, informes y evaluación, a nivel local, nacional y europeo, con el objetivo de informar sobre el desarrollo de la contabilidad del agua en relación a la cantidad y calidad al nivel de las cuencas hidrográficas.

Sistema Europeo de Información sobre el Agua, WISE

El Sistema Europeo de Información sobre el Agua, en adelante WISE, por sus siglas en inglés, es una herramienta dirigida a la gestión de datos e información sobre el agua de los estados miembros de la Unión Europea (EC and EEA, 2011).

WISE proporciona información sobre las políticas europeas en materia de agua, contaminación, recursos hídricos y otros temas relativos al agua, a través de distintos informes. De todos los informes que conforman el WISE, el Informe sobre el Medio Ambiente número 3 (en adelante, SoE #3) se refiere específicamente al estado y cantidad de los recursos hídricos. El SoE #3 debe contener información proporcionada por los países miembros, sobre la disponibilidad, captación y uso del agua, proporcionando una visión general sobre el estado de los recursos hídricos y las presiones asociadas, a nivel europeo.

La información se encuentra dividida en tres bloques: disponibilidad de agua, captaciones de agua y uso de agua. En el primero de ellos los recursos disponibles se obtienen a partir del balance hídrico en el dominio, para lo que se requieren las variables hidrometeorológicas, los almacenamientos y los recursos hídricos adicionales.

En segundo lugar, la información relativa a las captaciones incluye la extracción total de agua dulce, distinguiendo entre la extracción total de agua dulce para sistemas públicos de suministro de agua y el volumen total extraído para uso propio clasificado por sector económico; todo ello diferenciando entre fuentes de recursos superficiales, subterráneas o de captación de lluvia.

Finalmente, el SoE #3 contiene información relativa al uso del agua, clasificada por sector económico. Se presenta el volumen total de agua dulce utilizado, distinguiendo también entre el volumen total de agua dulce utilizado que proviene de sistemas públicos de suministro y el volumen total utilizado proveniente de extracciones para uso propio. Esta información se completa especificando el uso de agua reciclada y el volumen de agua dulce utilizado por grandes demandas como ciudades o grandes industrias y comunidades de riego.

En la Figura 21 se muestra el esquema simplificado que describe los conceptos descritos anteriormente:

DISPONIBILIDAD DE AGUA	CAPTACIONES DE AGUA	USO DE AGUA
<p>Componentes del Balance Hídrico como datos agregados en un dominio determinado</p> <ul style="list-style-type: none"> Precipitación areal (P) Evapotranspiración potencial (ETP) Evapotranspiración real (ET) Flujo interno (D=P-ET) Flujos entrantes (Q_e) Flujos salientes (Q_s) Recarga de acuíferos (R_a) <p>Parámetros hidrometeorológicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Manto de nieve Cambio de volumen en los embalses Cambio de volumen en los acuíferos <p>Almacén.</p> <ul style="list-style-type: none"> Retornos (antes o tras el uso) Agua reutilizada Agua desalada Importaciones de agua Exportaciones de agua Agua embotellada Recarga artificial de acuíferos <p>Recursos hídricos adicionales</p> <ul style="list-style-type: none"> Caudal en estaciones de aforo seleccionadas Entradas/Salidas a los embalses Nivel piezométrico en los puntos seleccionados Información sobre las estaciones pluviométricas 	<ul style="list-style-type: none"> Volumen total de agua dulce extraído (de las aguas superficiales y subterráneas) Volumen total de agua dulce extraído para sistemas públicos de suministro de agua (superficial y subterránea) Volumen total de agua dulce extraído (superficial y subterránea) para uso propio y clasificado por sector (de acuerdo con la CNAE) <ul style="list-style-type: none"> Agua subterránea anual disponible para su extracción Pérdidas por evaporación (durante el transporte y el uso) Recursos de agua no dulce (marina o salobre) clasificados por sector (de acuerdo con la CNAE) 	<ul style="list-style-type: none"> Volumen total de agua dulce utilizada y clasificado por sector (de acuerdo con la CNAE) Volumen total de agua dulce utilizado, proporcionado por sistemas públicos de suministro de agua, clasificado por sector (de acuerdo con la CNAE) Volumen total de agua dulce utilizado, proveniente de extracciones para uso propio, clasificado por sector (de acuerdo con la CNAE) <ul style="list-style-type: none"> Volumen de agua dulce (superficial o subterránea) utilizado por grandes demandas (de tres categorías: ciudades, industrias y unidades agrarias) <ul style="list-style-type: none"> Agua reciclada

Figura 21. Esquema del Informe número 3 sobre el Estado del Medio Ambiente (EEA, 2009).

Sistema Integrado de información del Agua (S.I.A.)

El Sistema Integrado de Información del Agua (en adelante SIA) (MARMA, 2008c) es una aplicación del Ministerio de Medio Ambiente que recoge la información relacionada con el agua en España. Su finalidad es la misma que el WISE pero a escala nacional. Tiene como objetivo centralizar la información relacionada con el agua para su divulgación, seguimiento y análisis (MARMA, 2010). De este modo, cualquier ciudadano puede acceder fácilmente a este portal de datos favoreciendo así la participación pública. Cuenta con 4 herramientas diferentes que se resumen en el siguiente cuadro y se detallan a continuación:



Figura 22. Herramientas del Sistema Integrado de información del Agua (MARMA, 2008c)

- **Visor geográfico del SIA.** El visor geográfico ofrece un acceso directo a los elementos de la base de datos del sistema. Dispone de un área para mostrar los datos en forma de mapa (ver Figura 23), un área que muestra los contenidos alfanuméricos de los datos representados en el mapa y un área de gráfico que permite graficar los valores que se representan. Cada uno de los temas ha sido desarrollado como una combinación de mapas, tablas de datos y gráficos específicos que permiten la mejor comprensión de una temática o problemática en concreto.



Figura 23. Visor geográfico del SIA

- **Libro Digital del Agua.** El Libro Digital del Agua (MARMA, 2008b) ha sido desarrollado emulando el concepto del 'Libro blanco del agua en España' que fue publicado por el Ministerio en formato papel en el año 2000.

El LDA (MARMA, 2008b) presenta la información disponible en el SIA (MARMA, 2008c) en forma de visita guiada por los temas y datos más relevantes. Los datos se acompañan con textos explicativos, figuras, gráficos, etc. Su estructura se ha desarrollado en base a las diferentes temáticas de estudio del agua, al igual que la base de datos. En la Figura 24 se muestran las temáticas consideradas y en la Figura 25 se muestra un ejemplo de la herramienta.



Figura 24. Temáticas del Libro Digital del Agua

La imagen muestra la interfaz de usuario del Libro Digital del Agua. En la parte superior, se encuentran los logos del Gobierno de España y el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, junto al logo 'LDA LIBRO DIGITAL DEL AGUA'. Una barra de navegación contiene los siguientes ítems: Marco Físico, Marco Admin., Marco Socioecon., Recursos Hídricos, Zonas Protegidas, Redes de Medida, Objetivos y Análisis, Informes, Análisis Económico.

El contenido principal muestra la sección 'Marco Físico' con subsecciones: Climatología, Geología, Hidrogeología, Hidrografía. El texto describe el marco físico como las características fisiográficas de un territorio (climatología, orografía, geología y tipos de suelos) que determinan los regímenes de escorrentía, las formaciones acuíferas, la diversidad biológica y la calidad natural de las aguas.

Debajo del texto hay un diagrama de flujo que muestra cómo 'Clima', 'Orografía', 'Litología' y 'Tipo de suelo' influyen en 'Agua'. 'Agua' se subdivide en 'Hidrografía' y 'Hidrogeología'. El diagrama también muestra conexiones laterales entre 'Clima', 'Orografía', 'Litología' y 'Tipo de suelo'.

En la parte inferior, se muestran logos de accesibilidad (W3C XHTML 1.0 y W3C CSS), el logo 'SIA SISTEMA INTEGRADO DE INFORMACIÓN DEL AGUA', el copyright '© 2008 Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino Plaza de San Juan de la Cruz, s/n 28071 - Madrid TF: 91 5976000', y botones para 'Visor', 'Indicadores' y 'Descargas'.

Figura 25. Ejemplo del Libro Digital del Agua

- Sistema de Indicadores del Agua.** El sistema de indicadores es un conjunto de medidas clave que caracterizan el estado del medio y sus presiones en España. Tal y como muestra la Figura 26, resume en unas 40 variables los valores más destacados y que caracterizan mejor el estado y la evolución del medio. Su publicación es clave para promover su conocimiento por parte de la sociedad y para fomentar su uso generalizado como herramienta de diagnóstico y seguimiento de las problemáticas principales del agua en España.



Figura 26. Sistema de Indicadores del Agua

3.2 Criterios de garantía

Tal y como se ha desarrollado en el capítulo anterior, la disponibilidad de los recursos hídricos se encuentra vinculada a la garantía con la que se puede disponer de ellos. A

continuación se hace una revisión de los criterios empleados en la práctica por diferentes organismos responsables de la planificación y gestión de los sistemas de explotación de los recursos hidráulicos.

Esta revisión se ha organizado atendiendo al tipo de índice de garantía utilizado. De este modo se han considerado criterios basados en la frecuencia de los fallos, en la severidad de los fallos y en su repercusión.

3.2.1 Criterios basados en la frecuencia de los fallos

Se relaciona a continuación los índices de garantía en los que, para su cálculo, se mide principalmente la frecuencia con que se producen los fallos tal como se indicó en el capítulo anterior.

Criterio tradicional del Soil Conservation Service (SCS)

El SCS ha dimensionado tradicionalmente los embalses de modo que se alcance la demanda de riego el 80% de los años.

Criterio tradicional del Seattle District Army Corps of Engineers

Este Distrito dimensionaba los proyectos con una garantía anual del 98% en el caso de abastecimientos y del 95% en regadíos.

Criterio de Stedinger

Este autor considera razonable un valor de garantía anual del 90%, estableciendo como objetivo de suministro el valor igualado o sobrepasado en cualquier año con una probabilidad del 90%.

3.2.2 Criterios basados en la severidad de los fallos

Estos criterios son los más utilizados por los organismos encargados de la planificación y gestión de los sistemas de explotación de los recursos hidráulicos (Estrada, 1994).

Criterio del Harvard Water Program

Este criterio, aplicable a regadíos, se inspira en los déficits permitidos por las agencias federales estadounidenses y establece los siguientes límites:

- 1) El déficit total en un año cualquiera no puede exceder el 50% de la demanda anual.
- 2) En un periodo de 50 años, la suma de todos los déficits no puede exceder el 150% de la demanda anual.

Criterio general del U.S. Bureau of Reclamation (USBR)

Por lo que refiere a regadíos, se admite un déficit del 50% de la demanda anual en el año más crítico y un déficit acumulado del 100% de la demanda anual en un periodo de 10 años consecutivos.

En cuanto al abastecimiento de poblaciones e industrias, se considera aconsejable no admitir ningún tipo de déficit.

Criterio de Thompson

En lo referente a regadíos se considera de utilidad disponer de ciertos valores orientativos de los déficits admisibles para su empleo en estudios iniciales. Estos valores corresponden a las siguientes categorías:

- Límites deseables, que reflejan valores aceptables
- Máximos generales, que son valores menos exigentes que se pueden garantizar en circunstancias especiales.

	Límites deseables (%)	Máximo general (%)
Déficit máximo anual	50	73
Déficit máximo en 2 años consecutivos	70	142
Déficit medio anual en un periodo de 50 años	3	6
Años con déficit	27	30

Tabla 18. Valores orientativos de los déficits admisibles según el criterio de Thompson

En cuanto a los abastecimientos municipales e industriales no debe admitirse déficits. Sin embargo, en ciudades no industriales con una población inferior a 30.000 personas puede admitirse déficits, siempre que no sean frecuentes (por ejemplo uno cada 15 o 20 años).

Criterio del Utah Department of Water Resources

En el caso de regadíos, los déficits permisibles se suelen especificar de la siguiente forma:

- 1) El déficit en un año no puede exceder el 50% de la demanda anual.
- 2) El déficit de dos años consecutivos no puede exceder el 75% de la demanda anual.
- 3) El déficit de 10 años consecutivos no puede exceder el 100% de la demanda anual.

Índice de escasez de U.S. Army Corps of Engineers

Esta institución utiliza el concepto de índice de escasez, definido como la suma de los cuadrados de las relaciones anuales entre el déficit y la demanda, multiplicada por 100 y dividida por el número de años de operación:

$$e = \frac{100}{N} \sum_1^N \left[\frac{\text{Déficit anual}}{\text{Demanda anual}} \right]^2$$

Un valor de 0,25 para este índice, que se considera razonable a efectos de diseño, supone un solo año con un déficit del 50% de la demanda anual en 100 años o 100 déficits del 5%.

Indicadores de eficiencia

Los indicadores empleados por Martín-Carrasco et al (2007) utilizan los cálculos de las garantías de los suministros a las demandas para un determinado sistema. Esta garantía se obtiene habitualmente considerando los déficits mensuales.

Los indicadores desarrollados son:

- Grado de satisfacción de la demanda I_1 . Con él se valora la capacidad del sistema para atender sus demandas.
- Calidad del servicio de la demanda I_2 . La calidad del servicio de la demanda valora la bondad con que el sistema satisface sus demandas.
- Sostenibilidad del aprovechamiento de recursos I_3 . Con él se valora la utilización que se realiza de los recursos naturales del sistema.
- Potencial de recuperación del sistema I_4 . Este indicador valora la posible mejora en el servicio de la demanda que se puede lograr con medidas de gestión.

Según los valores alcanzados por los indicadores I_1 e I_2 puede conocerse la intensidad de los problemas que pueden aparecer en el sistema:

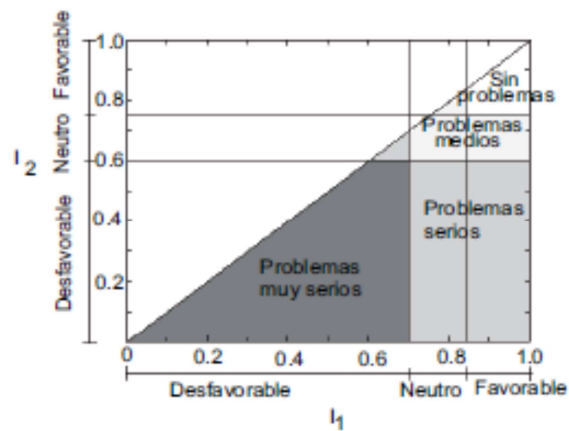


Figura 27. Intensidad de los problemas de escasez de agua bajo los valores de I_1 e I_2 (Chávez, 2012).

3.2.3 Criterios basados en la repercusión de los fallos

Estos criterios requieren el conocimiento de los daños o pérdidas que se producen con cada déficit, lo que tradicionalmente se conoce con el nombre de función de pérdidas (Estrada, 1994).

Criterio de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)

Consiste en analizar los fallos de acuerdo con la disminución que ocasionan en el rendimiento de las cosechas, en aquellos años en que se producen.

Criterio actual del Soil Conservation Service (SCS)

El SCS utiliza actualmente un análisis de tipo económico en la planificación de los proyectos de riego. Los estudios se realizan para tres valores de garantía anual (50, 80 y 100%) con objeto de mostrar las implicaciones económicas de cada nivel, aunque en general la decisión final corresponde a la garantía anual del 80%, coincidiendo con el criterio tradicional.

Criterio actual del Seattle District Army Corps of Engineers

En este distrito las dimensiones de los proyectos y los déficits admisibles han empezado a basarse recientemente en consideraciones de tipo económico. Se suelen presentar a los usuarios una gama de soluciones con las garantías y costes asociados.

National Water Security Index (NWSI)

Desde AWDO (Asian Water Development Outlook) (AWDO, 2013) se trata de evaluar la garantía del suministro del agua en cinco aspectos clave, puesto que se considera que centrarse en un único aspecto es insuficiente para la toma de decisiones en el sector del agua. La visión AWDO de la garantía del agua está diseñada para representar las múltiples dimensiones del agua en la vida y el sustento de la población, con la reducción de la pobreza y la gobernabilidad como perspectivas transversales en cada una de las cinco dimensiones.

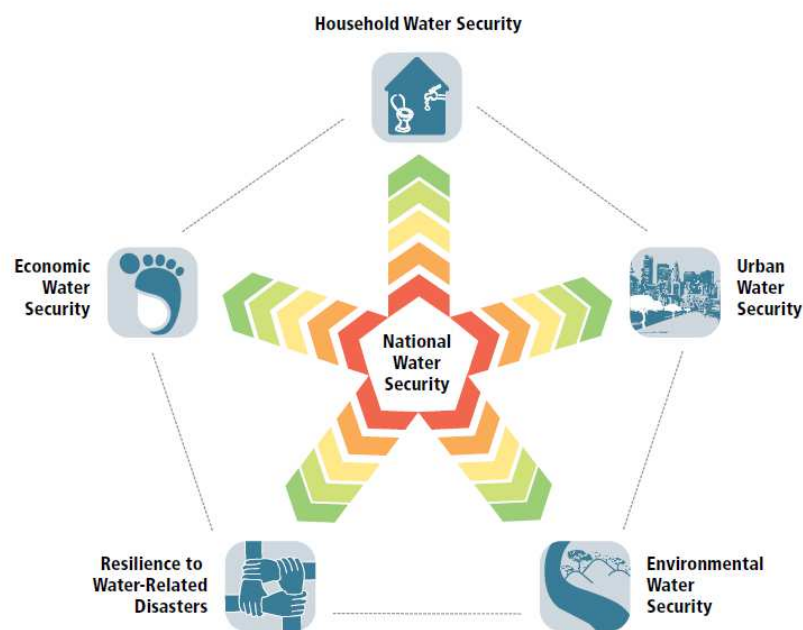


Figura 28. Aspecto clave en el marco de confianza del agua (AWDO, 2013)

Estas cinco dimensiones son las mostradas en la figura anterior y hacen referencia a:

- Garantía en el suministro a los hogares. Facilitar el acceso al agua potable y a la red de saneamiento a toda la población debe ser la principal prioridad de los líderes asiáticos, ya que es la base para erradicar la pobreza y apoyar el desarrollo económico.

- Garantía económica. El uso del agua es fundamental para sostener el crecimiento de los sectores económicos (agricultura, industria y sector energético).
- Garantía urbana. Con el abandono de las zonas rurales, las ciudades de Asia y del Pacífico se han convertido en importantes motores de la economía. Debe mejorarse la gestión del agua y de los servicios para hacer estas ciudades habitables.
- Garantía Medioambiental. Los líderes asiáticos están empezando a dar un enfoque más sostenible a su crecimiento económico. El indicador de la garantía medioambiental evalúa la salud de los ríos y ecosistemas ya que la sostenibilidad del desarrollo y la mejora de vida depende de estos recursos naturales.
- Resistencia ante los desastres relacionados con el agua. La creciente prosperidad de la región ha implicado cambios sin precedentes en la actividad económica, la urbanización, la alimentación, el comercio, la cultura y la comunicación. También ha llevado a aumentar los niveles de incertidumbre y riesgo de la variabilidad y el cambio climático. Esta circunstancia se evalúa con el indicador de resistencia a los desastres relacionados con el agua.

La seguridad hídrica nacional general de cada país, se evalúa como el resultado combinado de las cinco dimensiones clave, medida en una escala de 1-5. Cada una de las dimensiones de la estrella de cinco puntas de la seguridad del agua (Figura 28) están interrelaciones, y no deben ser tratadas de manera aislada una de la otra.

El significado de las cinco etapas de la evaluación de la seguridad del agua se resume a continuación. Con un Índice de Seguridad Nacional del Agua, NWSI = 1, la situación nacional del agua es peligrosa y hay una gran brecha entre el estado actual y los niveles aceptables de seguridad del agua. Con un NWSI = 5, el país puede ser considerado como un modelo para la gestión de los servicios de agua y los recursos hídricos.

- NWSI = 1. Peligroso. Se detectan niveles inadecuados de inversión, así como falta de regulación y aplicación.
- NWSI = 2. Comprometido. Se reconoce la necesidad de invertir en la seguridad del agua. Se implementan programas de desarrollo, el fortalecimiento institucional y la mejora en las políticas medioambientales.

- NWSI = 3. Capaz. Incremento de la inversión en la seguridad del agua, mayor regulación y vigilancia.
- NWSI = 4. Eficaz. En la agencia nacional, la seguridad del agua se considera de alta prioridad, produciéndose cambios en el comportamiento y concienciación pública.
- NWSI = 5. Modelo. Seguridad del agua sostenible, establecimiento de la protección y gestión del medio ambiente.

Actualmente no hay países de Asia y el Pacífico que hayan llegado a la etapa 5 en 2012 como muestra la Figura 29.

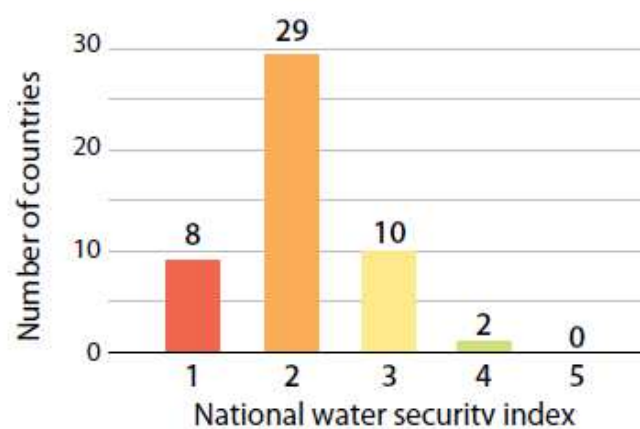


Figura 29. Seguridad Nacional del Agua en Asia y el Pacífico (AWDO, 2013)

Para cada país, la evaluación de la seguridad del agua en cada una de las dimensiones clave indica los sectores en los que la asignación de recursos que requieren mayores inversiones podría acelerar el movimiento hacia un futuro de agua segura, que facilitará el desarrollo social y económico.

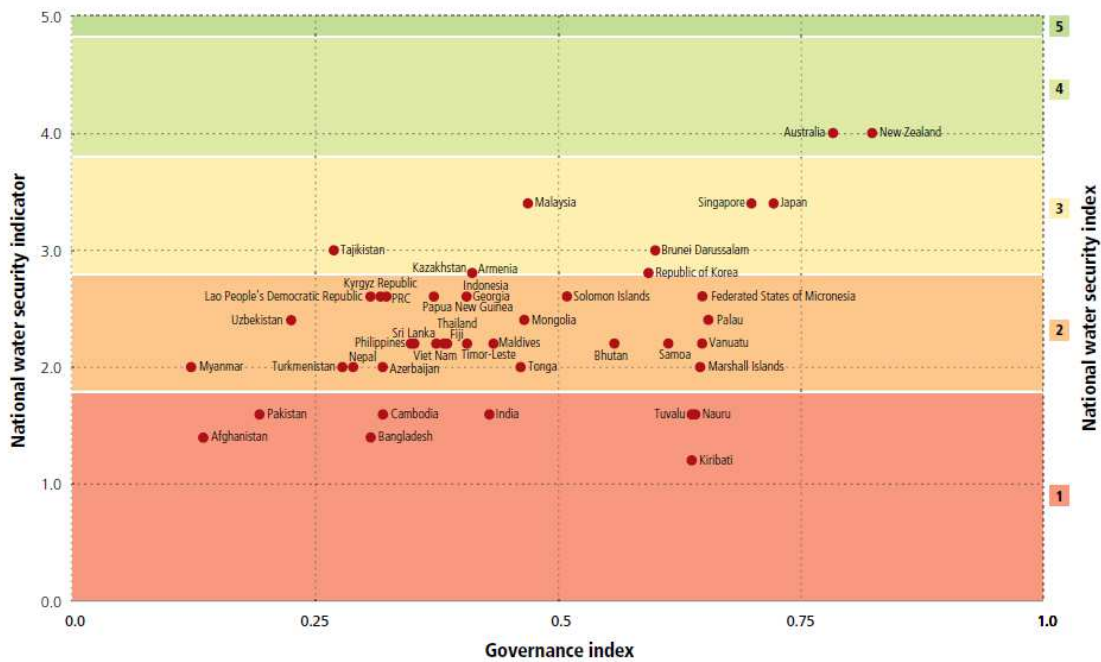


Figura 30. National Water Security Index y Governance Index (AWDO, 2013)

3.2.4 Criterio utilizado en España

En este apartado se indican los criterios de garantía utilizados en España en los Planes Hidrológicos de Cuenca y en el PHN.

Instrucción de Planificación Hidrológica de 2008

La IPH 2008 (MARMA, 2008a) indica que a efectos de la asignación y reserva de recursos se considerará satisfecha la demanda urbana cuando:

- 1) El déficit en un mes no sea superior al 10% de la correspondiente demanda mensual.
- 2) En 10 años consecutivos, la suma de déficit no sea superior al 8% de la demanda anual.

De la misma manera, a efectos de la asignación y reserva de recursos se considerará satisfecha la demanda agraria cuando:

- 1) El déficit en un año no sea superior al 50% de la correspondiente demanda.
- 2) En dos años consecutivos, la suma de déficit no sea superior al 75% de la demanda anual.

- 3) En diez años consecutivos, la suma de déficit no sea superior al 100% de la demanda anual.

Índice Ponderado de Comportamiento (IPOC)

Este índice fue desarrollado por Francisco Cabezas (Cabezas, 2012) y utilizado en los estudios relativos al Plan Hidrológico Nacional (MMA, 2001) para analizar los aportes del Ebro y del Acueducto Tajo-Segura (ATS) hacia la zona sur del levante, así como para analizar los efectos del posible cambio climático (ver Figura 31 y Figura 32). Este índice trata de describir el comportamiento conjunto de un sistema de recursos hídricos, de forma que se considera un fallo del sistema cuando falla una demanda o bien, cuando fallan varias demandas hasta un nivel global inaceptable.

Se define, para cada nivel de años acumulados (1, 2, 10 años), un valor global de déficit ponderado para todas las demandas del sistema y, promediando éstos, se obtiene un índice global de todo el sistema.

Este índice global es un indicador ponderado del comportamiento del sistema (IPOC), que valdrá 1 si no existe ningún fallo en el sistema, y será >1 si existe algún fallo de una o varias demandas consideradas (aquellas donde el coeficiente de ponderación $c > 0$).

A modo de ejemplo de aplicación, a continuación se muestran dos figuras extraídas del PHN. En la primera de ellas se muestra el IPOC del sistema, el número de demandas con fallos ordinarios, el número de demandas con fallos absolutos y la tasa de circulación (relación porcentual entre el aumento de las salidas del sistema y el aumento de sus entradas) frente al volumen de aportación externa procedente del ATS.

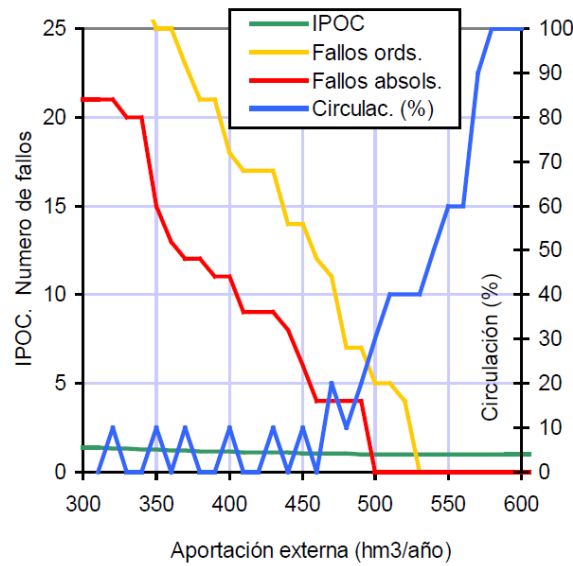


Figura 31. Indicadores de comportamiento según el volumen de aportación externa a través del ATS (MMA, 2001)

En la segunda figura se analiza la sensibilidad del sistema frente a una reducción de las aportaciones como consecuencia de los efectos del posible cambio climático. Si las aportaciones disminuyesen entre un 6 y un 13% como consecuencia del cambio climático el sistema comenzaría a presentar fallos y a requerir volúmenes adicionales de socorro.

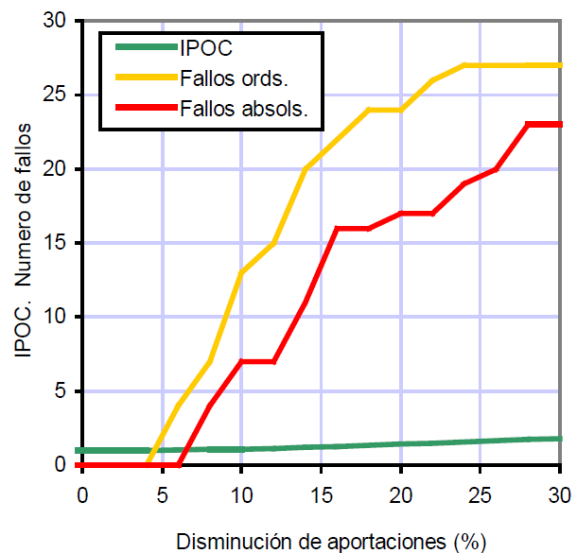


Figura 32. Sensibilidad del sistema frente a efectos de cambio climático (MMA, 2001)

Instrucción de Planificación de 1992

Para los planes hidrológicos anteriores la instrucción correspondiente (MOPT, 1992) establecía el mismo criterio que la actual pero establecía un margen para la definición de los

umbrales de fallo, dentro del cual cada plan hidrológico podía fijar su déficit máximo admisible. A continuación se listan otros índices utilizados por los diferentes Organismos de cuenca en España basados en la ocurrencia de fallos (Bailarón, 2000):

- a) Plan Hidrológico del Ebro (MMA, 1999):
 - a. Usos domésticos. Se adopta una garantía mensual mínima del 95%, entendiéndose como fallido aquel mes en el que se sirve menos del 90% de la demanda mensual.
 - b. Usos agrícolas. Se adopta una garantía anual mínima del 90%, entendiéndose como fallido aquel año en el que un mes cualquiera se produce un déficit superior al 25% de la demanda mensual o bien aquel año en el que el déficit de tres o más meses seguidos es superior al 20% de la demanda de cada uno de ellos.
- b) Plan Hidrológico del Sur (MMA, 1999). Adopta un criterio similar al del Ebro, si bien permite que la garantía mensual en los usos domésticos varíe entre 96-98% con un nivel de fallo del 80% de la demanda mensual, y que la garantía anual en los usos agrícolas oscile entre el 85 y el 90% con el mismo nivel de fallo que en el Plan del Ebro.

3.2.5 Criterio utilizado en Europa

En este apartado se pretende hacer una breve descripción de los índices manejados en la Unión Europea relativos a la gestión de los recursos hídricos. Son muchas las diferencias existentes en las características hidrológicas y socioeconómicas entre los distintos países que conforman la UE, de ahí que no exista todavía un índice definitivo que permita comparar directamente la situación entre los países del norte y del sur de Europa.

Índice de explotación del agua (WEI)

El índice de explotación del agua (WEI por sus siglas en inglés) representa la presión sobre los ecosistemas de agua dulce producida por una intensa explotación de los recursos. Cuando se tienen unos niveles de abstracción altos en relación con los recursos disponibles, la escasez de agua puede representar una amenaza para los ecosistemas de agua dulce asociados.

El WEI se define como la relación entre las extracciones totales de agua dulce efectuadas en un año y los recursos de agua dulce disponibles a largo plazo. Este índice proporciona una visión amplia pero sólo tiene en cuenta el estrés producido de la extracción de agua sin considerar los impactos de otras presiones tales como la puede ser la contaminación.

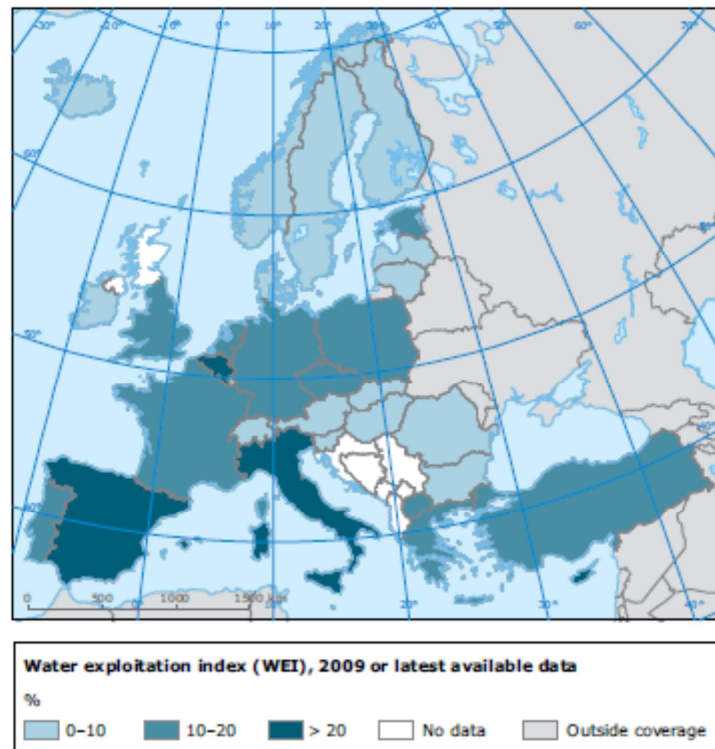


Figura 33. WEI obtenido a partir de los datos disponibles en 2009 (EEA, 2010)

Un índice WEI superior al 20% indica que un recurso puede estar sometido a presiones como consecuencia de las extracciones (Figura 33). Con la información disponible en la base de datos de Eurostat para el período 1985-2009, se ha obtenido que cinco países europeos se encuentran en situación de estrés hídrico (Chipre, Bélgica, Italia, Malta y España). Sin embargo, las estimaciones nacionales de WEI no reflejan la extensión y severidad de la sobreexplotación de los recursos hídricos. Los cálculos de WEI por cuencas fluviales, y no por país, permitirían superar algunas de las limitaciones espaciales del indicador, pero aún no están disponibles (EEA, 2010).

3.3 Indicadores de sequía

Los indicadores de sequía se utilizan como ayuda en la toma de decisiones y representan de forma numérica las condiciones de sequía en una zona o región del territorio. En muchos

casos su uso está justificado para complementar los resultados obtenidos de los balances, ya que los periodos de sequía pueden derivar en problemas de bajas garantías en los usos no prioritarios y de elevado riesgo de déficit en los usos prioritarios y ambientales (Momb Blanch, 2011).

Su formulación requiere gran cantidad de información como pueden ser datos de precipitación, caudales de los ríos, suministros, etc. En general, no se utiliza un único indicador, sino que suele ser más adecuado complementar unos indicadores con otros para obtener una mejor caracterización de la sequía en la zona. En algunos casos unos indicadores pueden ser más adecuados que otros dada la magnitud de la sequía, la orografía de la zona o el uso para el cual se definen estos indicadores.

En el monográfico de Hispagua “La sequía en España” (MAGRAMA, 2012c) y en el Observatorio Nacional de la Sequía (ONS) (MAGRAMA, 2012b) se relacionan algunos de los indicadores de sequía más utilizados. A continuación se muestra una relación de índices de sequía atendiendo a la información necesaria para su definición:

3.3.1 Indicadores basados en las precipitaciones

La variable más comúnmente empleada para caracterizar las sequías es la precipitación. A continuación se detallan diversos indicadores en los que se emplea la precipitación como variable de referencia:

Porcentaje de Precipitación Normal (PPN)

El porcentaje de precipitación normal se refiere a la relación que existe entre la precipitación acumulada en un año y la precipitación media anual, para una región y en un periodo dado, expresado de manera porcentual. La precipitación media anual se le conoce como precipitación normal y se obtiene a partir del valor promedio de las precipitaciones anuales ocurridas en un periodo no menor de 30 años. Una ventaja de este indicador es que reconoce las sequías en fase de preparación, antes que otros indicadores.

Deciles de la precipitación

Desarrollado por Gibbs y Maher en 1967. Consiste en un análisis de frecuencia de las precipitaciones, tanto mensuales como anuales, para calcular los deciles y emplearlos como

indicadores de sequías. El primer decil representa la cantidad de lluvia que no es superada por el 10 % del total de los datos disponibles. De este modo, el quinto decil se corresponde con la mediana de la distribución.

Este método permite solucionar algunos de los problemas detectados en el índice Porcentaje de lo Normal para ser empleado en una región no homogénea, ya que un mismo valor tendría la misma probabilidad de ocurrencia en cualquier punto de la región y significa por lo tanto que es igualmente común o extraordinario para todos los afectados y puede tener impactos similares. Uno de los inconvenientes de este método es que para determinar de manera razonable las condiciones de sequías extraordinarias, o deciles extremos, se requiere disponer de una cantidad importante de información (Fernández, 1998).

Índice de precipitación estandarizada (SPI)

Fue desarrollado por McKee y otros investigadores en 1993. Este índice normalizado permite estudiar diferentes escalas de tiempo y se recomienda para registros de largo plazo.

El cálculo del SPI se basa en los registros de precipitaciones a largo plazo durante el periodo deseado. Este registro de datos a largo plazo se ajusta a una distribución de probabilidad que entonces se transforma en una distribución normal, de manera que el SPI medio, para el lugar y período deseado, sea cero. Los valores positivos o negativos del SPI indican que las precipitaciones son, respectivamente, mayores o menores que la media. Dado que el SPI está normalizado, los climas más húmedos y más secos se pueden representar de la misma forma y, con el uso de este indicador, también se puede hacer el seguimiento de los periodos húmedos.

Una práctica común es calcular el SPI a diferentes escalas temporales y relacionar cada una de ellas con un tipo de sequía (Villalobos, 2007). De este modo, si se considera un déficit de precipitación de 3 meses (sequía estacional), los resultados obtenidos pueden indicar un fuerte impacto sobre la agricultura, mientras que el abastecimiento urbano apenas se vea afectado. Otro aspecto a tener en cuenta es la agregación espacial del índice, ya que la precipitación registrada en cabecera no suele ser directamente comparable con la observada en las cuencas bajas. Para resolver este aspecto suele utilizarse una división regional que permita caracterizar la variabilidad espacial de la precipitación en la cuenca.

La metodología desarrollada para calcular el índice de precipitación estandarizado es igualmente aplicable a los datos de humedad del suelo, aportaciones y niveles de embalse.

3.3.2 Indicadores basados en las precipitaciones y otros parámetros hidrológicos

A continuación se detallan una serie de indicadores de sequía en los que interviene otras variables como son la humedad o la evapotranspiración además de los datos de precipitaciones considerados hasta el momento.

Índice de la severidad de la sequía de Palmer (PDSI)

Este índice fue desarrollado en 1965 por Palmer y se basa en el concepto de suministro de agua. Se trata de un indicador meteorológico, y responde a condiciones climáticas que han sido anormalmente secas o anormalmente húmedas.

Es un algoritmo que permite medir la pérdida de humedad del suelo basándose en la ecuación del balance hídrico. Es adecuado para su aplicación a zonas con topografía uniforme.

El objetivo del Índice de Severidad de Sequía de Palmer es proporcionar medidas normalizadas de condiciones de humedad, de tal forma que permita hacer comparaciones entre condiciones locales y entre duraciones. Palmer desarrolló criterios para determinar cuándo una sequía o un período húmedo se inicia y termina.

Indicador de la Humedad del Cultivo (CMI)

El indicador CMI utiliza un enfoque meteorológico para hacer un seguimiento semanal de las condiciones de los cultivos. Fue desarrollado por Palmer, en 1968, a partir del método de cálculo del PDSI. Mientras el PDSI hace un seguimiento meteorológico de los periodos húmedos y secos a largo plazo, el CMI fue diseñado para evaluar las condiciones de humedad a corto plazo en las principales regiones dedicadas a la producción agrícola.

Por estar diseñado para hacer un seguimiento a corto plazo de las condiciones de humedad que afectan a un cultivo en desarrollo, el CMI no es un buen instrumento para hacer un seguimiento de la sequía a largo plazo. Otro rasgo característico del CMI, que limita su uso, es que, normalmente, comienza y finaliza cada temporada vegetativa con valores

próximos a cero, por lo que no se puede utilizar para valorar las condiciones de humedad fuera de la época vegetativa general, y, en especial, en períodos de sequía que se prolongan durante varios años. El CMI tampoco es de aplicación durante la fase de germinación de las semillas, al comienzo del período de crecimiento de un cultivo concreto.

Índice de aridez

Este índice ha sido utilizado por las Naciones Unidas para una clasificación climática de las regiones del mundo, utilizando para ello la razón entre la precipitación anual promedio y la evapotranspiración potencial respectiva, P/ETP (Fernández, 1998). La ETP puede obtenerse mediante el procedimiento de Penman o con el método de Thornthwite.

Índice de Riesgo de Sequía (IRS)

El IRS está formado por cuatro componentes: precipitación media anual corregida en función de la temperatura media anual, estacionalidad pluviométrica, variabilidad y persistencia de la sequía.

Este índice se definió para poder determinar la severidad, y duración de la sequía y para predecir el inicio y el final de este período.

Potencial Agro-Hidrológico (AHP)

Este indicador marca la demanda de agua como la capacidad de una zona determinada de satisfacer las necesidades de un cultivo concreto, que exista en ella, mediante el cociente entre el agua consumida y la requerida. Es decir, el Potencial Agro-Hidrológico es la relación entre la evapotranspiración real de un cultivo, y la evapotranspiración óptima del mismo.

3.3.3 Indicadores basados en los volúmenes embalsados

Los indicadores que se muestran a continuación además de utilizar datos de precipitación y otras variables climáticas utilizan también los volúmenes embalsados, considerando de este modo la gestión de la cuenca.

Índice de suministro de agua superficial (ISAS/SWSI)

Este índice complementa al índice de Palmer que no está diseñado para grandes variaciones topográficas. El ISAS fue creado para conocer las condiciones de humedad superficial ligada al proceso de fusión de nieve y se utiliza en regiones en que la masa de nieve de las montañas es uno de los componentes principales del ciclo hidrológico.

El SWSI utiliza cuatro variables principales: la masa de nieve, el caudal de los ríos, la precipitación y el agua almacenada en los embalses.

Una de sus ventajas es que es sencillo de calcular y que ofrece una medida representativa de los recursos de aguas superficiales. Sin embargo, dado que el SWSI se calcula específicamente para cada cuenca o región, es difícil comparar los valores del mismo entre unas y otras.

Indicador USBR de la Sequía (RDI)

Este indicador ha sido desarrollado por el Bureau of Reclamation norteamericano (USBR), como un instrumento para definir la intensidad y duración de las sequías, y para predecir su comienzo y su final.

Al igual que el SWSI, el RDI se calcula en el ámbito de una cuenca fluvial, e incorpora los grados de suministro de los componentes de las precipitaciones, la masa de nieve, el caudal de los ríos y el agua almacenada en los embalses. El RDI se diferencia del SWSI en que incorpora un componente de demanda, basado en la temperatura y en una duración. Este indicador se puede adaptar a cualquier región concreta, y su mayor ventaja es su capacidad para tener en cuenta, tanto el factor clima, como el factor agua.

La ventaja del RDI es que, incluyendo un componente de temperatura, también tiene en cuenta la evaporación. Sin embargo, debido a que este indicador es único para cada cuenca, las comparaciones dentro de una misma cuenca no son posibles.

3.3.4 Índices basados en la planificación hidrológica española

En este apartado se detallan los índices empleados actualmente en la planificación hidrológica en España.

Índice de Estado desarrollado en el PES

Vista la necesidad de tomar medidas que se anticipen a las sequías y que, de este modo, reduzcan sus efectos socioeconómicos y medioambientales, se considera imprescindible desarrollar un sistema de indicadores que advierta en qué momento es necesario aplicar medidas y qué tipo de medidas son las más adecuadas dado el nivel de riesgo en el que nos encontramos.

Este sistema de indicadores está formado por puntos de control espacialmente distribuidos por el ámbito de los Organismos de cuenca y recogen información sobre pluviometría, aportaciones de los ríos, volumen almacenado en embalses y niveles piezométricos en acuíferos (MMA, 2007).

Cada Organismo de cuenca adopta un método de cálculo para la definición de un valor representativo de cada sistema de explotación. De acuerdo con estos criterios, estos índices toman valores comprendidos entre 0 y 1, correspondiendo los valores bajos a situaciones de sequía y el valor de 0,5 a la situación media. Mediante la ponderación del valor del índice en cada zona o sistema se obtiene el valor global del índice. Estos indicadores clasifican los estados hidrológicos de los sistemas de explotación en cuatro categorías: normalidad, prealerta, alerta y emergencia (ver Tabla 19).

Valor del Índice de Estado	Estado hidrológico
0,50 - 1	Normalidad
0,30 - 0,50	Prealerta
0,15 - 0,30	Alerta
0 - 0,15	Emergencia

Tabla 19. Clasificación de los estados hidrológicos (MMA, 2007)

En el caso particular de la Cuenca Hidrográfica del Júcar este índice de estado se define como:

- Si $V_i \geq V_{med} \rightarrow I_e = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{V_i - V_{med}}{V_{max} - V_{med}} \right]$
- Si $V_i < V_{med} \rightarrow I_e = \frac{V_i - V_{min}}{2 (V_{med} - V_{min})}$

En la Figura 34 se muestra la clasificación de los sistemas de explotación en las cuencas intercomunitarias a finales de septiembre de 2012.

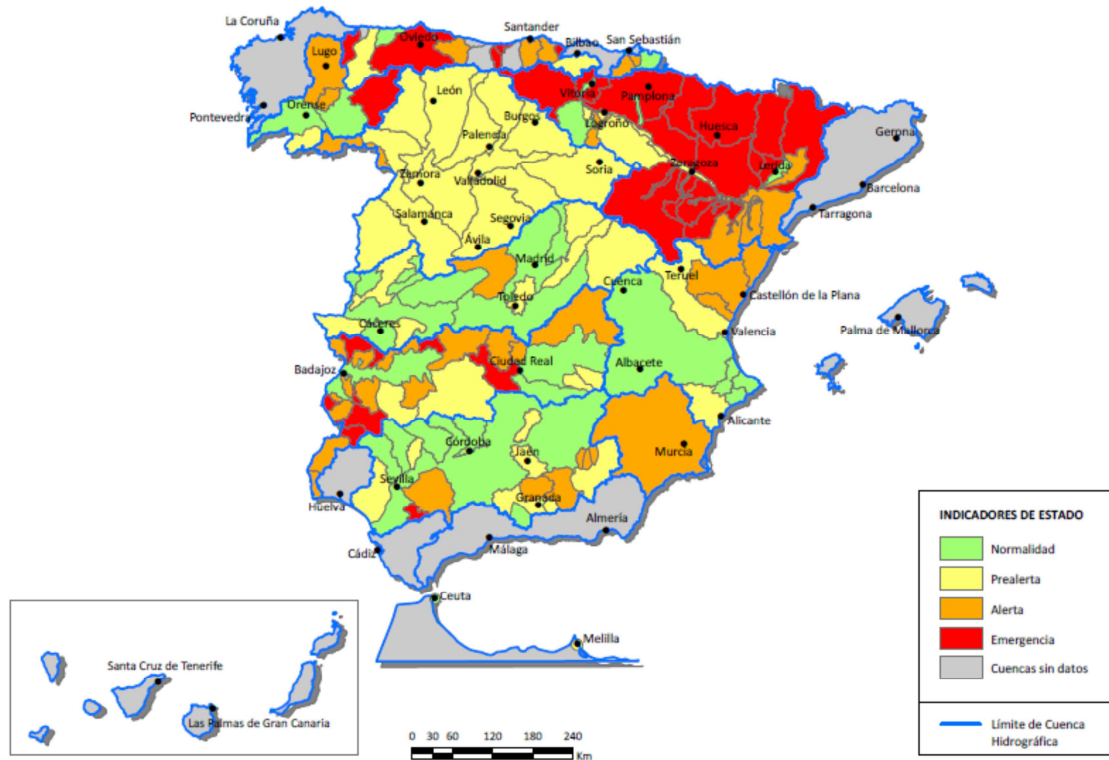


Figura 34. Estado de los sistemas de explotación en septiembre de 2012 (MAGRAMA, 2012b)

Como se ha comentado, una de las principales funciones de los PES (MMA, 2007) es la aplicación de medidas para reducir el impacto de las sequías en función del estado de los indicadores. Se consideran tres tipos de medidas:

- Medidas estratégicas. Se trata de una respuesta a medio y largo plazo. Suelen requerir inversiones considerables: construcción de nuevos embalses, desaladoras, sistemas de reutilización, etc.
- Medidas tácticas. Dan respuesta a corto plazo. Se trataría de medidas que promuevan el ahorro voluntario tanto para abastecimiento como para regadío, o bien, agilizar el desarrollo de infraestructuras planificadas.
- Medidas de emergencia. Dan respuesta a circunstancias inesperadas. Se trata de medidas como construcción de nuevos pozos de emergencia, establecimiento de restricciones al suministro, prohibición de usos, etc.

La siguiente tabla muestra la relación existente entre el estado hidrológico en que se encuentra el sistema y el tipo de medida a aplicar:

Valor del Índice de Estado	Estado hidrológico	Objetivo	Tipo de Medida
0,50 - 1	Normalidad	Planificación	Estratégicas
0,30 - 0,50	Prealerta	Control-Información	
0,15 - 0,30	Alerta	Conservación	Tácticas
0 - 0,15	Emergencia	Restricciones	Emergencia

Tabla 20. Tipología de las medidas de mitigación

3.4 Consideraciones finales

El presente capítulo muestra el estado del arte de los temas centrales de este trabajo como son: balances, estimación de recursos hídricos disponibles, criterios de garantía para el suministro de las demandas e indicadores de sequía.

Los diferentes trabajos revisados en el contexto del análisis de SRH muestran la diversidad que se puede encontrar en los mismos, y la variación que ha tenido a lo largo de su corta historia. Se puede concluir pues que ésta es una ciencia en evolución, que todavía no ha alcanzado un acuerdo general en cuanto al modo de enfocarlo. Esto se debe también a la diversidad de objetivos y de problemas que pueden ser tratados además de la gran importancia social de muchos de ellos.

En la actualidad, en el contexto de la EU y en el contexto científico se observa que se busca un método de análisis y clasificación igual para todo el mundo. Sin embargo esto es muy difícil, si no imposible.

Viéndolo desde un extremo, en los trabajos llevados a cabo en AWDO (AWDO, 2013) se observa que desde países en vías de desarrollo importa la mejora de la calidad de vida y se diseñan índices para medir el nivel de desarrollo en la gestión del SRH, dando un valor máximo a dicho índice cuando se alcanza un nivel como el de los países de Europa.

En los países europeos los problemas anteriores están superados y otros objetivos como la calidad medioambiental y las posibilidades de crecimiento pasan a ser objetivos prioritarios. En estas circunstancias es cuando los conceptos de "balances" y "sequías" son analizados con mayor precisión.

Sin embargo, también nos encontramos con diferencias en el análisis de estos conceptos porque según las condiciones climáticas y de usos del agua, en cada territorio prestamos atención a diferentes variables implicadas en el balance. Así, en cuencas húmedas las

variables que se analizan para el cálculo de balances y sequías son las relacionadas con la humedad del suelo en el ciclo hidrológico natural. Mientras que en cuencas más secas como la del Júcar, aquellos problemas están solventados mediante la regulación del agua y el balance y la sequía se miden sobre variables de disponibilidad de agua en el sistema de gestión.

En el caso de sistemas en clima seco se aprecia que la principal incógnita buscada con el uso de los balances es la que delimita las posibilidades de crecimiento del sistema. Esta posibilidad de crecimiento se determina mediante el cálculo de la máxima demanda que podría garantizar el sistema. En el caso del Júcar, cabe destacar 3 trabajos en este sentido: *Tres casos de Planificación Hidrológica* (MIMAM, 2000b) que se basa en el IPOC como indicador de garantía del sistema, o los trabajos llevados a cabo en el LBA (MIMAM, 2000a), y posteriormente simplificada por el CEDEX para el estudio de los escenarios de cambio climático (MAGRAMA, 2012a), en la que ambos utilizan criterios de déficits a 1, 2 y 10 años consecutivos. Comparando estos trabajos se aprecian diferencias entre los mismos que dan lugar a diferentes conclusiones. Por esto, en el siguiente capítulo se tratará de analizar en conjunto estos trabajos; para ordenar los criterios comunes entre sí y sus diferencias con el propósito de establecer un "mapa" de trabajo que permita identificar las diferencias en los postulados de cada uno y por tanto explicar también las diferencias en sus resultados. Adicionalmente se tratará de realizar un cálculo similar basado en este mapa con el objetivo de mejorar los trabajos anteriores con una visión más global del problema.

Por otro lado, las referencias más recientes en Europa (EC, 2012) y España (MARMA, 2008b) muestran una cierta convergencia con el cálculo de balances que aquí se plantea. Sin embargo se hace con el objetivo de la "contabilidad del agua", que trata de realizar balances continuos de los diferentes usos del agua. Estos balances tienen utilidad para conocer cuál ha sido la realidad histórica de la cuenca y para la gestión de sequías (MMA, 2007), pero se alejan del objetivo de planificación buscado con los balances que aquí se analizan.

Es preocupante, que en esta contabilidad también se están destacando variables como la precipitación y la evapotranspiración, que son de gran interés desde el punto de vista de climas húmedos, pero que, al ser de un orden de magnitud superior, pueden originar y

enmascarar errores importantes en las variables de referencia para las cuencas secas como son los caudales de entrada a los embalses o entregados desde los mismos.

Capítulo 4

4 Aplicación a la cuenca del Júcar

En este capítulo se pretende analizar la aplicabilidad de las metodologías recopiladas en el capítulo anterior, correspondiente al estado del arte, en el ámbito territorial de la cuenca hidrográfica del Júcar.

En los siguientes apartados se abordarán los siguientes aspectos: se realizará una descripción de la zona de estudio y se analizarán las aportaciones que realizan los distintos autores al cálculo de balances. A partir de estas consideraciones se realizarán distintas estimaciones del recurso disponible para la situación actual en la cuenca del río Júcar. Esta información obtenida se complementará con el cálculo de distintos indicadores basados en datos de precipitación siguiendo el actual enfoque europeo. Y por último se propondrá un esquema general para el estudio de los recursos disponibles.

4.1 Descripción de la cuenca hidrográfica del Júcar

El ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ), se localiza en el este de la Península Ibérica e incluye todas las cuencas hidrográficas que vierten sus aguas al Mar Mediterráneo, entre la desembocadura de los ríos Segura y Cenia, incluyendo también este último. Su superficie es de 42.851 km².

La CHJ se extiende por cuatro comunidades autónomas: La Comunidad Valenciana, con una participación territorial en superficie del 49,6% respecto a la superficie total, la

Comunidad de Castilla-La Mancha, con 36,6%, Aragón con 13,2%, y Cataluña, que tiene una representación territorial mucho menor que las anteriores, igual al 0,6%.

La Confederación está compuesta por varios ríos principales que conforman 9 sistemas de explotación (ver Figura 35). Estos sistemas son Cenia-Maestrazgo, Mijares-Plana de Castellón, Palancia-Los Valles, Turia, Júcar, Serpis, Marina Alta, Marina Baja y Vinalopó-Alacantí.



Figura 35. Sistemas de explotación en la CHJ (Villalobos, 2007)

Tal y como muestra la figura anterior, el Sistema de Explotación Júcar comprende la cuenca propia del río Júcar en su totalidad incluyendo, además, el 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 Tabernes de Valldigna (Villalobos, 2007).

4.1.1 Marco físico

El clima predominante en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar es un clima típico mediterráneo con veranos cálidos y con inviernos suaves. Los máximos térmicos se registran en los meses de julio y agosto, coincidiendo con la estación seca. Las temperaturas medias anuales oscilan entre los 14 y los 16,5°C. La pluviosidad media anual es de unos 500 mm, no obstante existe una gran variabilidad espacial con valores a 300 mm en las regiones más meridionales, mientras que en otras zonas alcanza valores superiores a 750 mm tal como se muestra en la Figura 36. Asimismo, durante los meses de octubre y noviembre pueden producirse episodios de precipitación de gran intensidad y corta duración, conocidos comúnmente como “gota fría”.

La mayor parte de la superficie del ámbito territorial de la Confederación está cubierta por materiales muy permeables que favorecen la infiltración de las aguas superficiales de precipitación hacia estratos subterráneos.

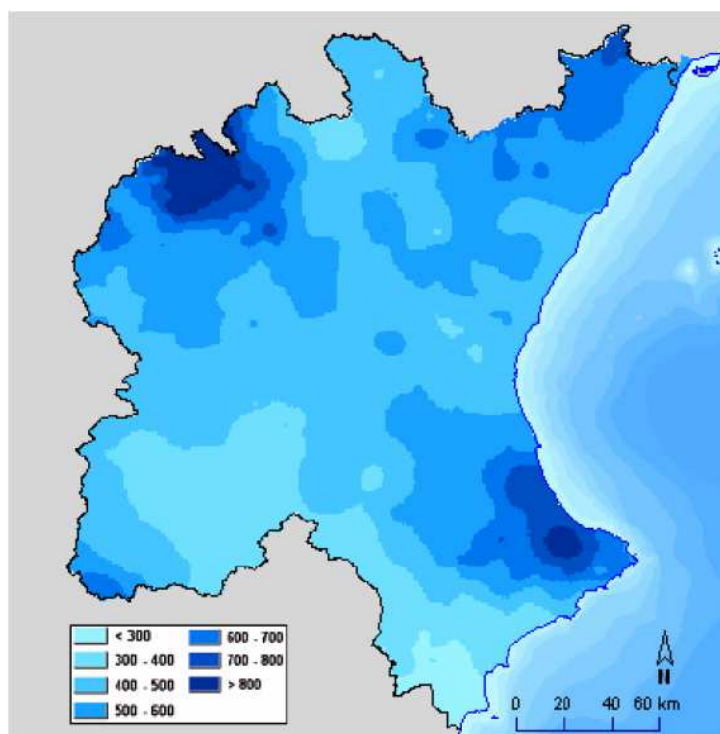


Figura 36. Precipitación media anual (mm/año) (Villalobos, 2007)

4.1.2 Características socioeconómicas

La población permanente en el ámbito de la CHJ es de 5.177.061 habitantes (año 2010) según los padrones municipales consultados en el Instituto Nacional de Estadística (INE), siendo la densidad de población aproximadamente de la cuenca de 120 hab/km², superior a la media nacional (89 hab/km²). Si se estima, además, la población estacional, que en el ámbito de la CHJ es significativa, la suma total de la población se cifra en torno a los 5.583.339 habitantes (MARM, 2010).

El Sistema de Explotación Júcar es el segundo sistema más poblado en el ámbito de la CHJ, sólo superado por el sistema Turia debido a la localización del área metropolitana de Valencia. La población permanente estimada para el sistema Júcar se cifra en aproximadamente 1.208.000 habitantes (MARM, 2010), donde destaca la ciudad de Albacete, Cuenca y las comarcas de las Riberas.

La agricultura (incluyendo secano y regadío) es la actividad económica que ocupa casi la mitad del ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar, con una superficie regada total que ronda las 350.000 ha (MARM, 2010). En el sistema Júcar esta superficie se concentra en la Plana de Valencia, la Mancha Oriental, la Ribera y la cuenca baja del Júcar.

La siguiente figura muestra los principales cultivos en regadío de la CHJ. Destaca la importancia que tiene el cultivo de cítricos con la mitad de la superficie regada. El segundo grupo en importancia son los cereales para grano (trigos y cebadas) con un 11% de la superficie regada seguida, con menor importancia, del cultivo de maíces y sorgos con un 6% de la superficie regada (MARM, 2010).

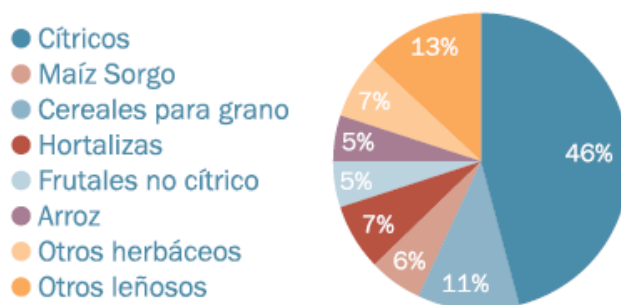


Figura 37. Distribución de la superficie regada en el ámbito territorial de la CHJ (MARM, 2010)

Los sectores más significativos de la actividad industrial son el sector cerámico, textil, confección, cuero y calzado, la alimentación, bebidas y tabaco. La mayor actividad industrial se localiza en los Sistemas de Explotación del Turia, Júcar y Vinalopó-Alacantí (MARM, 2010).

El parque hidroeléctrico, tiene una potencia instalada del 8% del total de la producción nacional, y cuenta con 113 unidades de producción hidroeléctricas, ubicadas en los cursos de los ríos Mijares, Turia y Júcar, principalmente (MARM, 2010). En el sistema Júcar cabe destacar las centrales hidroeléctricas de Cofrentes, Cortes II y La Muela de Cortes cuya potencia total instalada es del orden de 1.039 MW.

La demanda total de agua en la CHJ, es del orden de 3.230 hm³ anuales. El sistema de explotación con mayor demanda hídrica es el Júcar, donde se emplea cerca de la mitad de la demanda total de la CHJ, tal y como se puede observar en la tabla siguiente:

Sistema de Explotación	Demanda Urbana (hm ³)	Demanda Agraria (hm ³)	Demanda Industrial (hm ³)	Demanda Recreativa (hm ³)	Demanda Total (hm ³)
Cenia-Maestrazgo	18	84	1	< 1	103
Mijares-Plana de Castellón	55	232	13	1	301
Palancia-Los Valles	14	74	7	< 1	95
Turia	145	459	31	2	637
Júcar	140	1.414	56	1	1.611
Serpis	31	82	5	< 1	118
Marina Alta	30	54	< 1	1	85
Marina Baja	26	34	< 1	2	62
Vinalopó-Alacantí	93	106	18	2	219
TOTAL CHJ	552	2.539	131	9	3.231

Tabla 21. Resumen de demandas (MARM, 2010)

4.1.3 Hidrología

Los principales ríos del ámbito territorial de la CHJ son: Cenia, Mijares, Palancia, Turia, Júcar, Serpis y Vinalopó, aunque los ríos Júcar y Turia, con una longitud de 512 y 280 km. respectivamente son los más importantes. Los cauces que constituyen la red fluvial principal tienen un régimen de aportaciones marcadamente mediterráneo, caracterizado por períodos más secos en verano y crecimiento de caudales circulantes durante el otoño.

En la tabla siguiente se muestra la estimación de las aportaciones medias en régimen natural para el periodo 1980/81-2008/09 obtenidas mediante la modelización del ciclo

hidrológico en un entorno de sistema de información geográfico, denominado Patrical (Pérez, 2005).

Sistema de Explotación	Aportaciones medias Régimen Natural ($\text{hm}^3/\text{año}$) 1980/81 – 2005/06
Cenia-Maestrazgo	162,3
Mijares-Plana de Castellón	344
Palancia-Los Valles	59,3
Turia	463,8
Júcar	1.548,1
Serpis	200,5
Marina Alta	154,4
Marina Baja	63,2
Vinalopó-Alacantí	60,4
TOTAL CHJ	3.056

Tabla 22. Estimación de aportaciones medias en régimen natural de la red fluvial (MARM, 2010)

En el ámbito de la CHJ se han definido 90 masas de agua subterránea y 26 masas de agua impermeables o acuíferos de interés local, tal y como se puede observar en la figura siguiente.

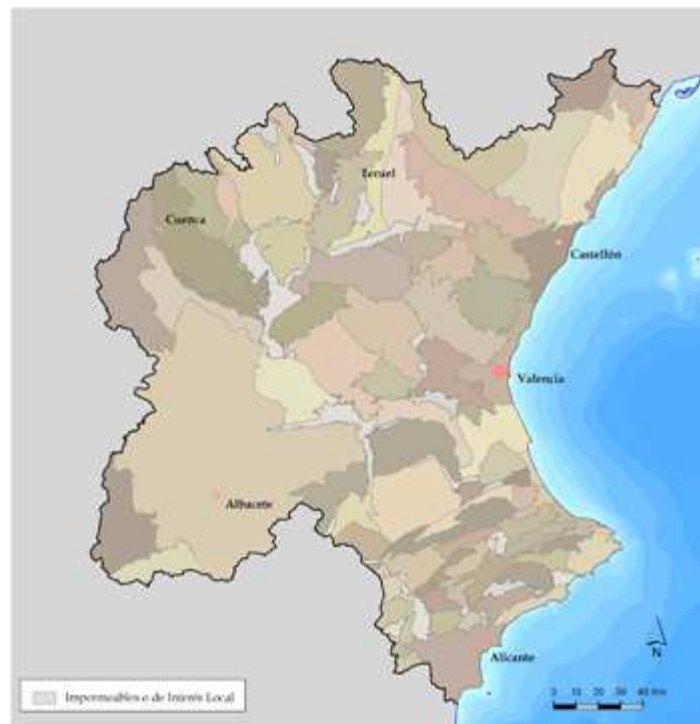


Figura 38. Mapa detalle de masas de agua subterránea (MARM, 2010)

La capacidad de embalse superficial por grandes presas en el ámbito territorial de la CHJ asciende a 3.300 hm^3 siendo Alarcón, Contreras y Tous en el río Júcar los embalses de mayor entidad.

4.1.4 Consideraciones adicionales sobre la descripción de la cuenca

La descripción anterior de la cuenca trata de proporcionar información introductoria sobre el sistema que permita acercarse al conocimiento de la misma sin entrar en aspectos de detalle y se ha redactado según el esquema comúnmente utilizado en trabajos sobre cuencas o sistemas de explotación.

Sin embargo en este caso esta información es relevante para los objetivos del trabajo, porque presenta datos que son un comienzo de la formación de un balance de la cuenca, ya que se incluyen datos de demanda y de recursos naturales (véase Tabla 21 y Tabla 22). Si se comparan estas tablas puede deducirse un primer indicador del balance del sistema (ver Tabla 23) en el que se muestra la relación entre las demandas de cada sistema y las aportaciones en régimen natural. En esta comparación se observa valores llamativos, especialmente en el sistema Vinalopó-Alacantí, donde las demandas triplican las aportaciones medias en régimen natural. Este primer indicador puede parecer incompleto puesto que no tiene en cuenta los recursos de origen subterráneo, ni la reutilización de las EDARs, ni las posibles transferencias que se puedan dar en cada sistema.

Sistema de Explotación	Aportaciones medias Régimen Natural (hm ³ /año) 1980/81 – 2008/09	Demanda Total (hm ³)	Demanda/Aportaciones (%)
Cenia-Maestrazgo	162,3	103	0,63
Mijares-Plana de Castellón	344	301	0,88
Palancia-Los Valles	59,3	95	1,60
Turia	463,8	637	1,37
Júcar	1.548,1	1.611	1,04
Serpis	200,5	118	0,59
Marina Alta	154,4	85	0,55
Marina Baja	63,2	62	0,98
Vinalopó-Alacantí	60,4	219	3,63
TOTAL CHJ	3.056	3.231	1,06

Tabla 23. Relación demanda/aportaciones naturales para los diferentes sistemas de explotación de la DHJ

Este indicador es insuficiente, pues oculta los problemas derivados de las sequías (como ya se ha dicho anteriormente) y en algunos casos puede dar lugar a interpretaciones sobre el balance muy alejadas de la realidad. Como puede ser el caso del sistema Cenia-Maestrazgo donde a priori se cuenta con recursos de origen superficial suficientes para abastecer la

totalidad de sus demandas pero la realidad nos muestra una situación ligeramente distinta, puesto que la falta de infraestructuras de regulación no permite, en muchos casos garantizar el suministro a estas demandas.

4.2 Balances en el Júcar

Tal y como se ha visto en el capítulo anterior, cabría distinguir entre dos tipologías de balances: el balance de agua medio o balance promedio, y el balance de seguimiento. En este punto se detallarán los aspectos fundamentales del primero de ellos.

El balance promedio suele construirse tanto para la situación actual como para horizontes futuros y, para su definición suelen emplearse los valores promedio de las variables consideradas. Con el propósito de dar la mayor información posible del sistema, suele variarse el periodo de agregación temporal. Es habitual presentar los balances para los periodos 1940-2009, 1940-1979 ó 1980-2009, con el fin de estudiar la evolución de las demandas agrícolas, la existencia de periodos húmedos y secos, etc. Esta agregación temporal tiene un significado muy importante en el sistema Júcar, tal y como muestra la siguiente figura:

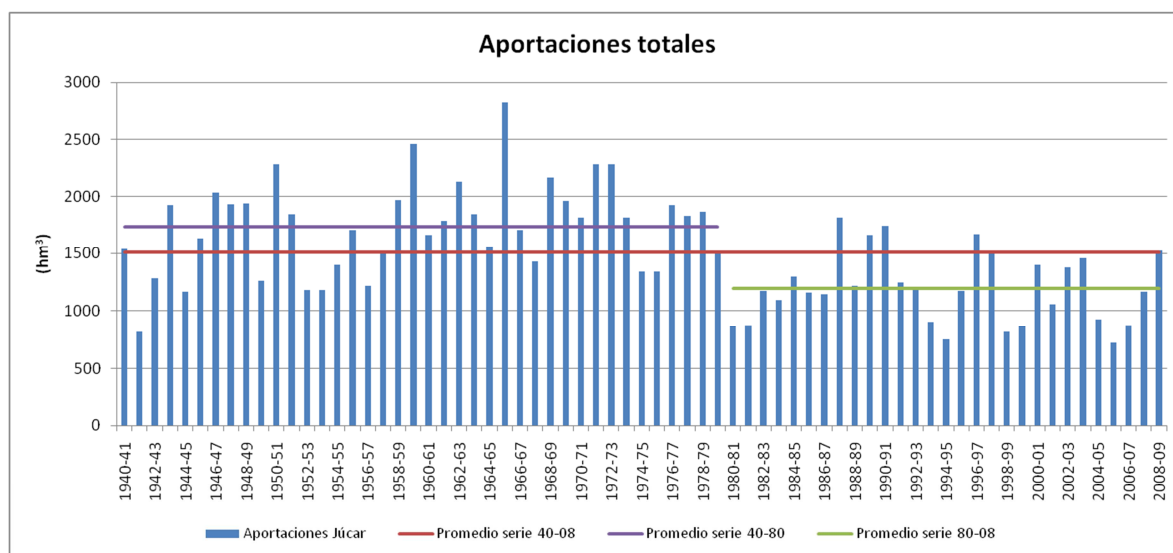


Figura 39. Serie de aportaciones superficiales naturales del modelo de simulación del Sistema de Explotación Júcar.

La Figura 39 representa las series de aportaciones naturales del Sistema de Explotación Júcar. Estas series se han obtenido por restitución al régimen natural y son las utilizadas en

el modelo de simulación SIMGES de la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Júcar.

Tal y como muestra la figura, se ha producido una importante reducción en las aportaciones superficiales durante los últimos 30 años, mostrando claramente la existencia de dos periodos en los que la diferencia de las aportaciones medias entre ambos se encuentra cercana a los 500 hm³ anuales. Esta circunstancia corrobora la necesidad de obtener los balances diferenciando estos periodos.

Este balance promedio puede considerarse de dos formas: por una parte, podría evaluarse un balance para la totalidad de la cuenca y, la segunda opción, es considerar un balance para el sistema de explotación.

Un balance a escala de cuenca debe considerar todo el territorio y todos los usos y recursos que intervienen en el mismo. En cambio, el balance para el sistema de explotación puede obviar aquellos procesos independientes de las actividades relacionadas con la gestión hidrológica y vinculadas con la administración (tales como la operación de embalses, azudes o las extracciones de acuíferos en algunos casos) tratando de este modo únicamente los problemas importantes de forma que no permanezcan enmascarados en datos que quedan fuera del control del sistema.

Para describir la gestión de los sistemas de explotación suele emplearse un balance simplificado entre recursos y demandas obtenido en muchos casos, a partir de los resultados de los modelo de simulación. Estos balances contemplan los valores promedios de las siguientes variables:

- Recursos, distinguiendo entre:
 - Recurso natural total debido a aportaciones naturales e intermedias incluidas en el modelo.
 - Recurso natural obtenido de masas de agua subterránea no incluidas en el modelo, o no conectadas al sistema superficial.
 - Recursos no naturales: importados de otras cuencas o procedentes de reutilización y desalinización.
- Demanda bruta total, desglosada en:

- Suministro total a las demandas.
- Déficit total de las demandas.
- Salidas del sistema, desglosadas en:
 - Consumos y pérdidas. En este apartado se tiene la parte del suministro a las demandas que no retorna al sistema de explotación, o bien porque es consumida (evaporación o evapotranspiración), o bien porque sus retornos se producen fuera del sistema.
 - Evaporación en embalses.
 - Salidas del sistema de explotación (como las salidas al mar o los requerimientos ambientales).
 - Salidas hacia otros sistemas de explotación, en caso de existir.
- Variación de volumen, distinguiendo entre:
 - Variación de volumen en los embalses del modelo.
 - Variación de volumen en los acuíferos del modelo.

A modo de ejemplo, la siguiente tabla muestra el balance simplificado del Sistema de Explotación Júcar para el escenario de referencia considerando la inclusión de los caudales ecológicos:

BALANCE DEL MODELO DEL S.E. JUCAR Serie 1980/81-2008/09		Escenario de referencia	
RECURSOS	Aportaciones a embalse e intermedias	1192,68	
	Bombeos Subterráneos MAS no modeladas	86,52	
	RECURSOS TOTALES		1279,20
DEMANDAS	Agrícolas	989,93	
	Urbanas	107,45	
	Industrial	20,00	
	DEMANDA BRUTA		1117,39
SUMINISTROS	Superficiales	704,20	
	Subterráneos	399,40	
	SUMINISTROS BRUTOS TOTALES		1103,59
	FALTA DE SUMINISTROS TOTALES		13,79
SALIDAS	Evaporación en embalses	81,76	
	Consumos y pérdidas	867,39	
	Salidas al mar sobrantes	110,93	
	Salidas al mar Caudal mínimo	47,31	
	Salidas a la Albufera	108,52	
	Sobrantes al Vinalopó	70,86	
	SALIDAS TOTALES		1286,77

BALANCE DEL MODELO DEL S.E. JUCAR Serie 1980/81-2008/09		Escenario de referencia	
VARIACIÓN DE ALMACENAMIENTO	Variación volumen embalses	-41,39	
	Variación volumen acuíferos	33,83	
	VARIACIÓN TOTAL DE VOLUMEN		-7,56
	Error	0,00	

Tabla 24. Balance simplificado del Sistema de Explotación Júcar para el escenario de referencia

Este tipo de resultados representa un balance de masas obtenido a partir de los resultados del modelo de simulación y en el que se distingue entre entradas, salidas y variación de almacenamiento, e indica, únicamente, el buen funcionamiento del modelo. Las entradas quedan representadas mediante los bombeos y las aportaciones; las salidas incluyen tanto las salidas fuera del sistema (al mar, evaporación...) como los suministros a las demandas; y la variación de almacenamiento queda referida a los volúmenes en embalses y acuíferos. Nótese que no es del todo adecuado referirse a la falta de suministro de las demandas mediante el término “déficit”, puesto que éste viene determinado por el criterio de garantía considerado.

Cuando el objetivo de la simulación es analizar la gestión de un sistema complejo, los balances deben considerarse más allá de una simple tabla con tres números, uno para recursos, otro para demandas y otro para el balance. Este balance no es fácilmente entendible por el público no especializado, ya que no da una idea precisa sobre la satisfacción de las demandas y el cumplimiento, o no, de los criterios de garantía, por lo cual es de poca ayuda para la elección de las medidas necesarias en los sistemas y para el objetivo final de definición de asignaciones y reservas, salvo en sistemas de explotación muy sencillos.

4.2.1 Análisis de trabajos previos destacables sobre balances en el sistema Júcar

Sea cual sea el tipo de balance utilizado, bien a escala de cuenca o a escala de sistema de explotación, en ambos casos la principal dificultad se encuentra en la estimación del recurso disponible. Como ejemplo tenemos las diferentes metodologías utilizadas hasta el momento para su obtención y recopiladas en el documento *Tres casos de planificación hidrológica* (MIMAM, 2000b), el *Libro blanco del agua en España* (MIMAM, 2000a) o el *Estudio del impacto del cambio climático en los recursos hídricos* (MAGRAMA, 2012a).

Esta estimación depende directamente del escenario de partida considerado y del índice empleado para definir el estado del sistema (ver Figura 40). Los elementos que van a definir el escenario son la topología del esquema, la cuantificación del recurso y el criterio para determinar el recurso disponible. Por lo que respecta al índice empleado para definir el estado del sistema, éste puede estar fundamentado en el criterio de garantía utilizado para considerar satisfechas las demandas o bien un índice operativo o de gestión que indique el estado en que se encuentra el sistema.

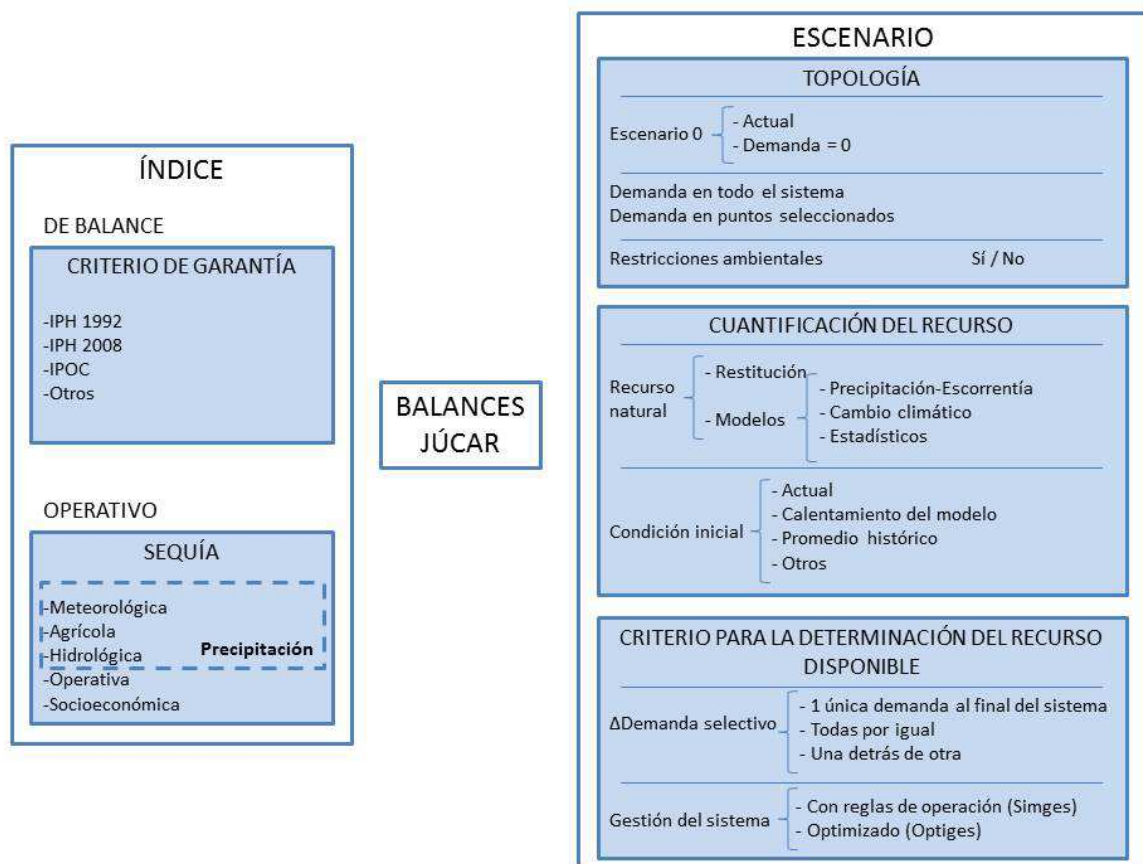


Figura 40. Resumen de balances en el S.E. Júcar

Por lo que respecta a la topología del esquema, el escenario 0 empleado para el análisis puede representar la complejidad real del sistema con diferentes grados de detalle, mostrarse como una versión simplificada del mismo con elementos demanda en cada uno de los nudos del esquema, o bien con elementos demanda distribuidos en zonas concretas. Dentro de la topología cabría también considerar si se tienen en cuenta o no las restricciones ambientales. Respecto a la cuantificación del recurso es habitual recurrir a series de aportaciones obtenidas bien mediante restitución a régimen natural, o bien mediante el

empleo de modelos. Estos modelos pueden ser de precipitación-escorrentía, enfocados a la estimación de las consecuencias del cambio climático o bien de tipo estadístico. Otro factor muy importante a tener en cuenta es la definición de la condición inicial en embalses y acuíferos que puede seguir diferentes criterios; éste es un elemento muy importante en sistemas como la cuenca del Júcar, en el que de la elección de un criterio u otro dependerán en gran medida las estimaciones del recurso realizadas. Por último, en cuanto al criterio para la determinación del recurso disponible el enfoque empleado consiste en asimilar este recurso a la máxima demanda que puede satisfacer el sistema. Caben también distintas posibilidades en cuanto a la metodología de cálculo pudiendo optarse por considerar una única demanda al final del sistema, incrementar todas las demandas del sistema por igual o bien mediante incrementos sucesivos. Los resultados obtenidos también variarán en función de la gestión del sistema, es decir, si se tienen en cuenta las normas de explotación y los aspectos concesionales (uso de un modelo de simulación), o bien si se utiliza un sistema optimizado (mediante el empleo de modelos de optimización de los recursos).

La siguiente figura muestra un resumen de las variables y procedimientos empleados en los tres documentos anteriores, donde cada uno de ellos se caracteriza por:

- Tres casos de planificación hidrológica (MIMAM, 2000b). Emplea series obtenidas por restitución a régimen natural y utiliza como criterio de garantía el IPOC. Emplea un modelo de optimización de la cuenca en el que se van incrementando las demandas en puntos concretos del esquema.
- El libro blanco del agua en España (MIMAM, 2000a). Emplea tanto series obtenidas por restitución a régimen natural como series obtenidas del modelo SIMPA, y utiliza como criterio de garantía el establecido en la instrucción de planificación de 1992 (MOPT, 1992). Emplea un modelo de optimización de la cuenca simplificado en el que se incluye una demanda en cada nudo del esquema que se van incrementando desde aguas arriba hacia aguas abajo.
- Estudio del impacto del cambio climático en los recursos hídricos (MAGRAMA, 2012a). Emplea series obtenidas mediante modelos de precipitación-escorrentía y de estimación de las aportaciones debido al cambio climático. Utiliza como criterio de garantía el establecido en la IPH 2008 (MARMA, 2008a). Emplea un modelo

simplificado de optimización de la cuenca en el que se van incrementando una única demanda localizada al final del sistema.

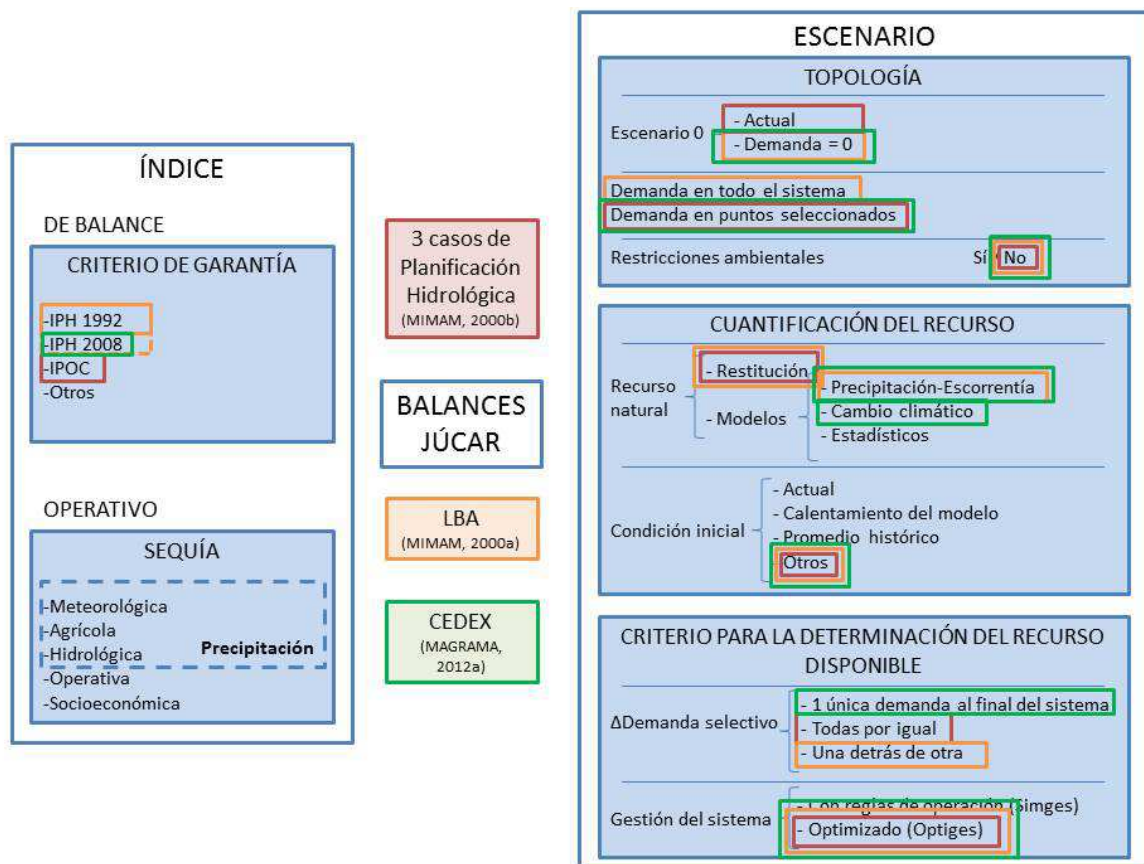


Figura 41. Resumen del estado del arte para el cálculo de balances en el S.E. Júcar

4.2.2 Descripción de la metodología empleada

Los análisis anteriores se han considerado como punto de partida para la estimación del recurso disponible adicional en este estudio. Se parte del modelo de simulación del Sistema de Explotación de la cuenca del Júcar para el escenario actual (los detalles de este modelo pueden consultarse en el Anexo I). Este modelo recoge la compleja interacción entre todos los elementos que conforman el sistema Júcar y en él se han incluido los caudales ecológicos con el objetivo de obtener los recursos disponibles adicionales del sistema teniendo en consideración los objetivos medioambientales de la cuenca.

El enfoque empleado para la estimación del recurso disponible ha consistido en asimilar este recurso a la máxima demanda que puede satisfacer el sistema tal y como se ha planteado en los trabajos anteriores. En estos trabajos se ha partido de un modelo de

optimización desarrollado en OPTIGES. Este estudio, por el contrario, utiliza un modelo de simulación SIMGES con el fin de mantener la gestión actual de los recursos teniendo en cuenta las limitaciones concesionales y de explotación. Ambos módulos se encuentran integrados en la herramienta AquaTool, desarrollada por la Universitat Politècnica de València.

Esta estimación del recurso vendrá influenciada por 3 aspectos:

- El origen de las series de aportaciones consideradas: distinguiendo entre las series históricas obtenidas por restitución al régimen natural, de unas series sintéticas generadas a partir de las anteriores (para mayor detalle consúltese el Anexo II).
- El criterio de garantía utilizado para considerar satisfechas las demandas. Una modificación de este criterio puede conducir a variaciones del recurso disponible. Se ha considerado dos criterios: el establecido en la IPH 2008 (MARMA, 2008a) y los criterios de eficiencia (Martín-Carrasco et al, 2007).
- La longitud del periodo de simulación. El sistema Júcar se caracteriza por un marcado “efecto 80” con la consiguiente reducción de aportaciones registrada en el periodo de simulación 1980-2009. Se han considerado dos tipos de resultados según si el periodo de simulación abarca la serie corta (1980-2009) o la serie larga (1940-2009).

La siguiente figura muestra el esquema utilizado para estimar los recursos disponibles, en la que se comprueba el detalle y la complejidad del sistema.

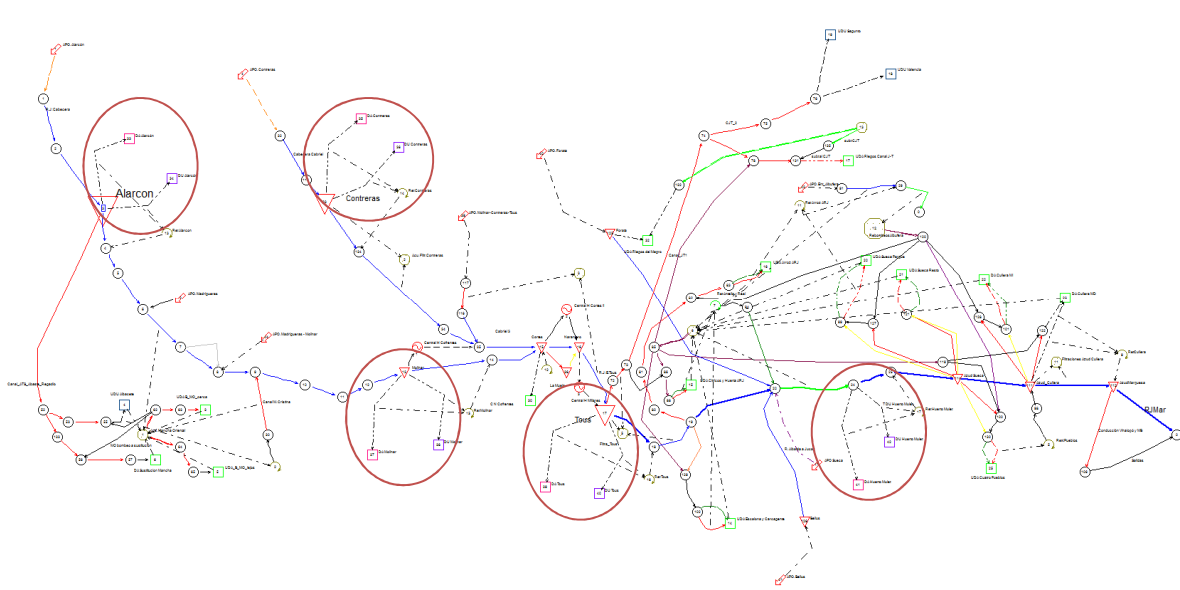


Figura 42. Esquema del Sistema de Explotación Júcar empleado para la estimación del recurso disponible adicional

Al modelo original se le han añadido cinco grupos de demandas repartidos a lo largo del esquema. La ubicación de cada grupo se ha definido en base a la localización de los puntos estratégicos para la gestión del sistema. Estos puntos se corresponden con:

- El embalse de Alarcón localizado en la cabecera del río Júcar.
- El embalse de Contreras ubicado en la cabecera del río Cabriel.
- El embalse de Molinar. Pese a no ser un embalse de regulación, con la localización de un grupo de demandas en esta zona se pretende conocer los recursos disponibles en el tramo medio del río Júcar antes de la incorporación del río Cabriel.
- El embalse de Tous, localizado en el tramo medio del río Júcar.
- La estación ROEA 8089 de Huerto Mulet. Este punto se ha seleccionado con el objetivo de conocer los recursos disponibles en el tramo bajo del río.

Este planteamiento se aproxima a la metodología utilizada en el LBA (MIMAM, 2000a) donde se asocia una demanda a cada nudo del sistema; y mejora la simplificación realizada por el CEDEX (MAGRAMA, 2012a), en la que se ha considerado una única demanda localizada al final de la cuenca.

Cada grupo de demandas está formado por dos elementos demanda, que representan un hipotético suministro agrícola (DA) y urbano (DU), con un único elemento retorno del 20% para la demanda agrícola. Las demandas agrícolas tienen una prioridad inferior a las

prioridades actuales de los riegos mixtos y la prioridad de las urbanas coincide con las prioridades de las urbanas iniciales. La distribución empleada es la utilizada en la evaluación del recurso disponible realizada en el LBA (MIMAM, 2000a) y que se muestra en la siguiente tabla:

Tipo de demanda	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
DA	3,0	0	0	0	0	1,0	4,0	11,0	18,0	27,0	25,0	11,0
DU	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3

Tabla 25. Modulación anual de las demandas consideradas en el análisis (%)

La Figura 43 pretende ilustrar la metodología de cálculo empleada. De este modo, el cálculo de las demandas atendibles consiste en un proceso iterativo de incremento de la demanda hídrica, donde se comprueba en cada paso si se cumplen los criterios de garantía adoptados. En cada fase se analiza la posibilidad de incrementar una única demanda considerando nulas las demandas situadas aguas abajo, para no interferir con la asignación de recursos. Para las demandas situadas aguas arriba se mantiene la estimación realizada en las fases previas. Para cada una de estas iteraciones se efectúa una ejecución del modelo SIMGES. El resultado final se alcanza cuando se obtiene la máxima demanda cumpliendo las garantías exigidas. Teniendo en cuenta los 3 aspectos clave en la estimación del recurso disponible adicional (origen de las series, longitud del periodo de simulación, criterio de garantía) ha sido necesario realizar aproximadamente 115.000 lanzamientos de SIMGES para los que se ha necesitado un total de 960 horas.

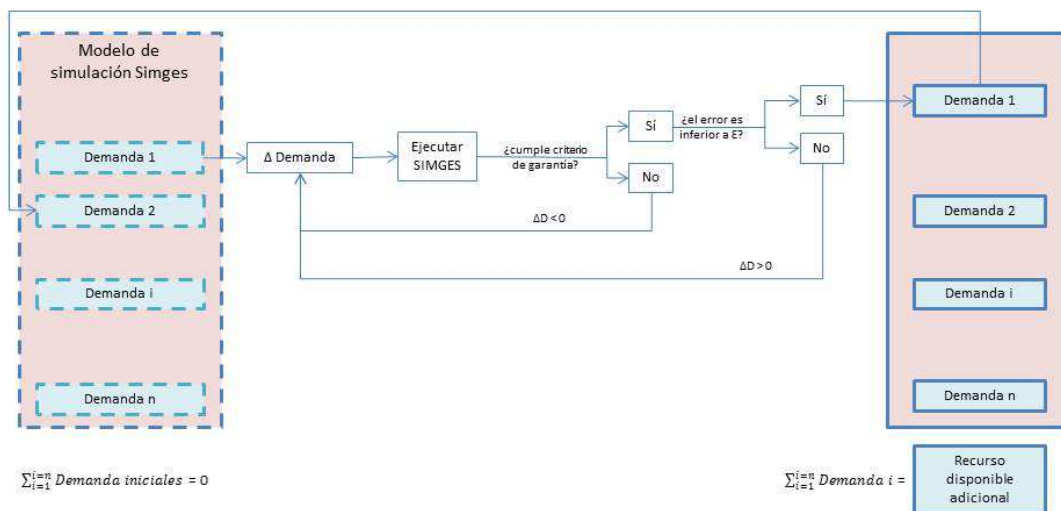


Figura 43. Metodología empleada para la estimación del recurso disponible adicional

Por lo que respecta al criterio de garantía utilizado, a modo de recordatorio, la IPH 2008 (MARMA, 2008a) indica que a efectos de la asignación y reserva de recursos se considerará satisfecha la demanda urbana cuando:

- 1) El déficit en un mes no sea superior al 10% de la correspondiente demanda mensual.
- 2) En 10 años consecutivos, la suma de déficit no sea superior al 8% de la demanda anual.

De la misma manera, a efectos de la asignación y reserva de recursos se considerará satisfecha la demanda agraria cuando:

- 1) El déficit en un año no sea superior al 50% de la correspondiente demanda.
- 2) En dos años consecutivos, la suma de déficit no sea superior al 75% de la demanda anual.
- 3) En diez años consecutivos, la suma de déficit no sea superior al 100% de la demanda anual.

Por lo que respecta a los indicadores de eficiencia (Martín-Carrasco et al, 2007), en primer lugar, el indicador I_1 permite valorar la capacidad del sistema para atender sus demandas. Para determinarlo es necesario obtener el indicador de satisfacción para cada uso de agua, I_{1k} :

$$I_{1k} = \frac{S_k}{D_k}$$

El indicador I_1 se obtiene como la media ponderada de los indicadores para cada uso de agua, k . Para ello se definen dos pesos: el peso relativo, α_k , para cada uso de agua k ; y el peso de relevancia, β_k , que se asigna subjetivamente según los objetivos de la política de la cuenca:

$$I_1 = \sum_{k=1}^K \alpha_k \beta_k I_{1k}$$
$$\alpha_k = \frac{D_k}{\sum_{k=1}^K D_k}$$

$$\sum_{k=1}^K \alpha_k \beta_k = 1$$

En el caso de los valores de los pesos relativos de relevancia, β_k , los pesos relativos a los usos urbano e industrial se han considerado un orden de magnitud por encima del peso relativo del uso agrícola.

El indicador I_2 valora la bondad con que el sistema satisface sus demandas. Al igual que sucedía con I_1 , para determinarlo es necesario obtener el indicador de satisfacción para cada uso de agua, I_{2k} :

$$I_{2k} = \frac{S_{Rak}}{D_k}$$

$$I_2 = \sum_{k=1}^K \alpha_k \beta_k I_{2k}$$

Donde S_{Rak} representa el suministro “aceptable”.

Ambos indicadores considerados de forma conjunta, permiten identificar problemas de escasez de agua con diferentes intensidades. El sistema de clasificación de dichos problemas se basa en tres rangos:

- Favorable: I_1 entre 0.85 – 1.0 e I_2 entre 0.75 – 1.0.
- Neutro: I_1 entre 0.70 – 0.85 e I_2 entre 0.60 – 0.75.
- Desfavorable: Con valores de I_1 e I_2 menores a 0.70 y 0.60.

4.2.3 Análisis del escenario de referencia

Antes de avanzar con los resultados obtenidos de las múltiples simulaciones es necesario analizar la situación de partida. En la Figura 44 se presenta el esquema utilizado para la modelación del sistema, en dicha figura se puede observar la compleja interacción entre todos los elementos del sistema de recursos hídricos (para mayor detalle consúltese el Anexo I).

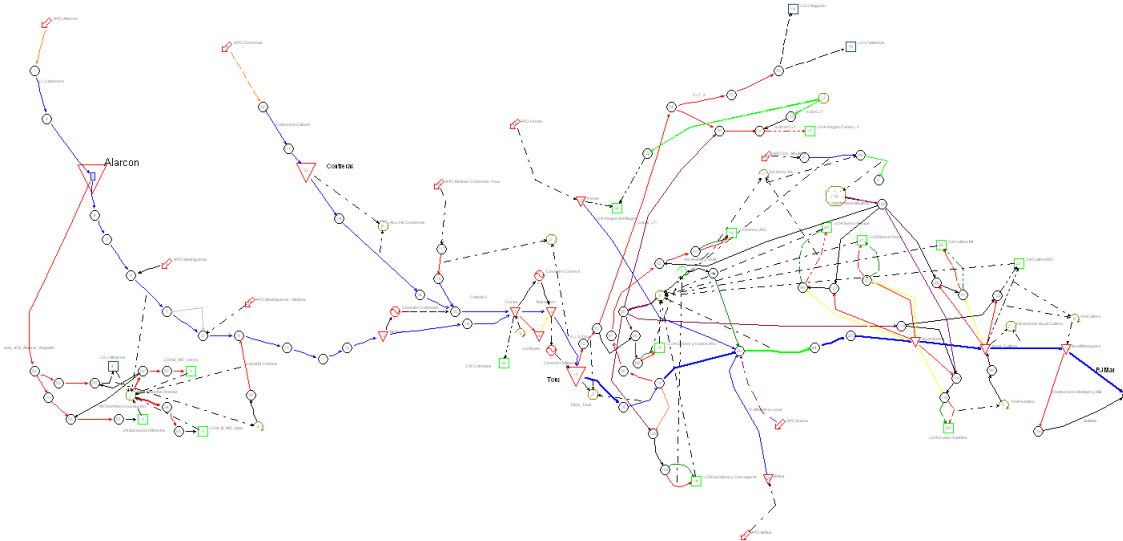
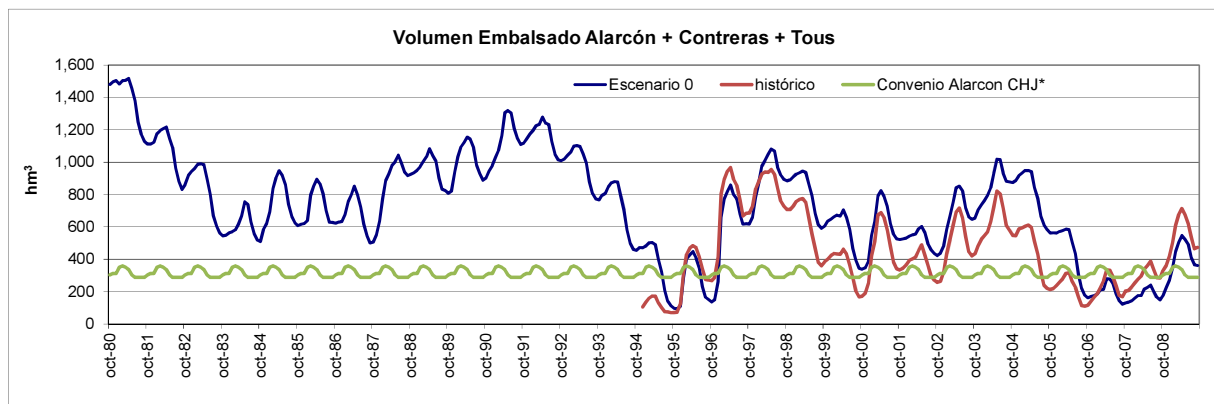


Figura 44. Esquema del modelo del Sistema de Explotación Júcar.

Se han comparado los datos históricos con los resultados de evolución del volumen de reservas simulado para los embalses de Alarcón, Contreras y Tous para el periodo 1980/81-2008/09, tal como muestra la siguiente figura. Puede apreciarse que la gestión planteada es similar a la que se ha realizado en la última sequía.



*Convenio Alarcón CHJ: Volumen convenio Alarcón incluyendo volumen mínimo de Contreras y Tous.

Figura 45. Volumen embalsado en Alarcón, Contreras y Tous para el escenario considerado

La Figura 46 muestra la evolución del volumen almacenado en Alarcón junto con su evolución histórica y la curva del Convenio de Alarcón (MMA y USUJ, 2001) acordada con la Unión Sindical de Usuarios del Júcar (USUJ). Al igual que en la figura anterior se comprueba que la gestión planteada en el embalse de Alarcón es similar a la que se ha realizado en los últimos años.

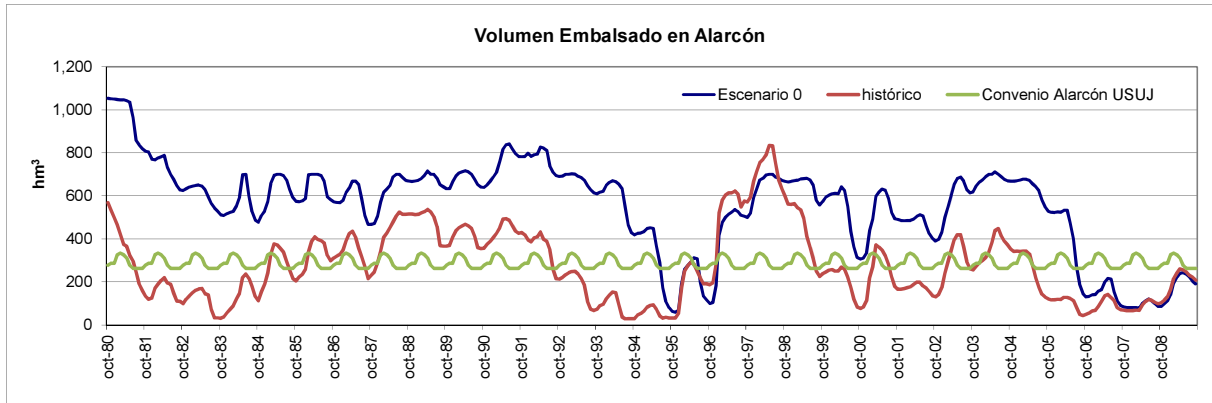


Figura 46. Volumen embalsado en Alarcón para el escenario considerado

En la Figura 47 y Figura 48 se muestran los suministros medios a los riegos tradicionales y a los riegos mixtos. Se observa que es necesario el uso de recursos extraordinarios para completar el suministro de los riegos tradicionales. De la misma manera, puede verse como se complementa el suministro superficial a los mixtos con recurso subterráneo, más allá del que tienen asignado en épocas de normalidad.

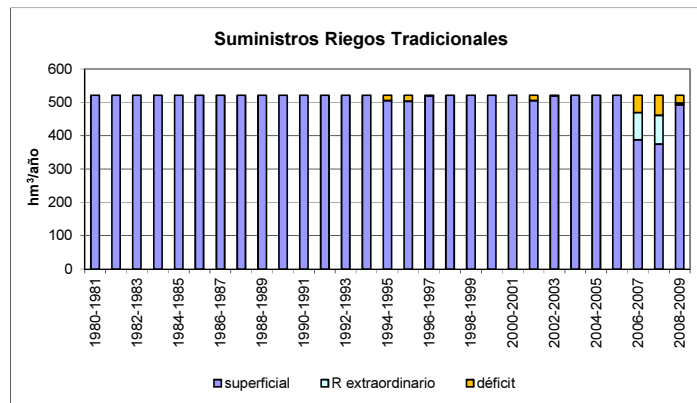


Figura 47. Series anuales de suministros a los riegos tradicionales según procedencia

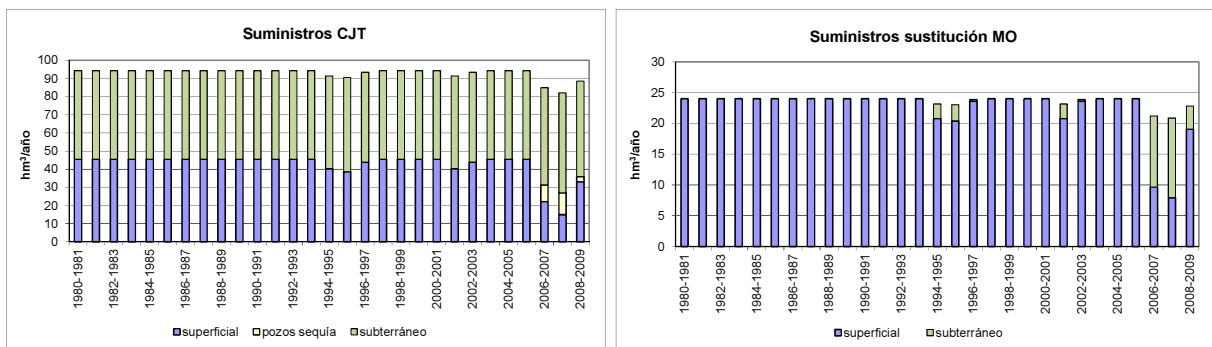


Figura 48. Series anuales de suministros a los riegos mixtos según procedencia

En la siguiente tabla se muestra, para cada una de las demandas, los déficits mensuales y los déficits anuales acumulados a uno, dos y diez años consecutivos tal y como establece la IPH 2008 (MARMA, 2008a). Se comprueba que en todos los casos (demandas urbanas, agrícolas e industriales) se cumple el criterio de garantía establecido.

Nombre	Demanda anual (hm ³)	Máximo déficit (%)			
		Mensual	Anual	2 años consecutivos	10 años consecutivos
DA Mancha Oriental	332,5	12,4	12,4	23,6	29,9
DA Escalona y Carcagente	34,1	38,0	15,0	27,7	37,8
DA ARJ	212,0	56,2	14,7	28,4	38,4
DA Riegos Canal J-T	94,3	28,9	14,6	24,5	34,6
DA Sueca	170,7	40,6	12,7	22,4	28,4
DA Cullera	78,8	13,0	9,0	18,1	23,6
DA Cuatro Pueblos	25,8	13,0	8,1	16,1	21,1
UDA Riegos del Magro	41,7	11,5	11,4	20,1	62,9
DU Albacete	16,9	0,0	0,0	0,0	0,0
DU Valencia	82,6	0,0	0,0	0,0	0,0
DU Sagunto	7,9	0,0	0,0	0,0	0,0
DI CN Cofrentes	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 26. Criterio de garantía de la IPH 2008 (MARMA, 2008a) del sistema Júcar para el escenario de referencia

Las demandas que actualmente sirve el modelo de simulación del sistema Júcar alcanzan los 1.117 hm³ anuales.

Para cuantificar los indicadores de eficiencia (Martín-Carrasco et al, 2007) es necesario, en primer lugar, obtener la curva Garantía-Suministro para cada uno de los usos de agua que se dan en el sistema. Esta curva representa los volúmenes acumulados de las demandas que son servidos con una garantía igual o superior a unos valores determinados.

Las siguientes imágenes muestran las curvas de suministro-garantía (Martín-Carrasco et al, 2007) para los usos agrícola, urbano e industrial. Los datos necesarios para representarlas se han obtenido de los resultados de suministros obtenidos en el modelo de simulación en el escenario de referencia.

En los tres casos la línea roja horizontal representa la demanda total del sistema para dicho uso. El punto de corte de la línea azul con el eje de ordenadas representa la totalidad del suministro independientemente de su garantía. Esta curva se obtiene acumulando el

suministro con garantía mayor o igual a un determinado valor, de forma que cuanto menor es la garantía, mayor es el suministro acumulado y sólo parte del suministro se corresponde con una garantía del 100%. En el caso del uso agrícola ambas curvas se encuentran muy próximas, hecho que indica que se suministra la práctica totalidad de la demanda solicitada.

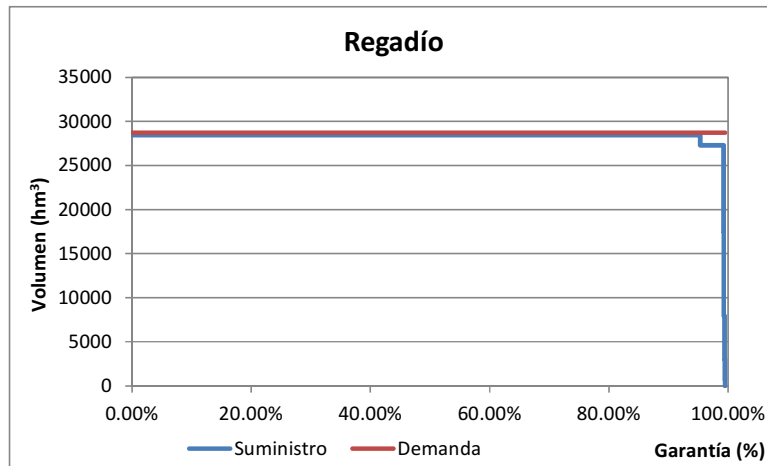


Figura 49. Curva garantía-suministro para el uso agrícola en el sistema Júcar

Las curvas garantía-suministro para los usos urbano e industrial se muestran como una línea horizontal, indicando que todo el suministro se corresponde con la garantía máxima.

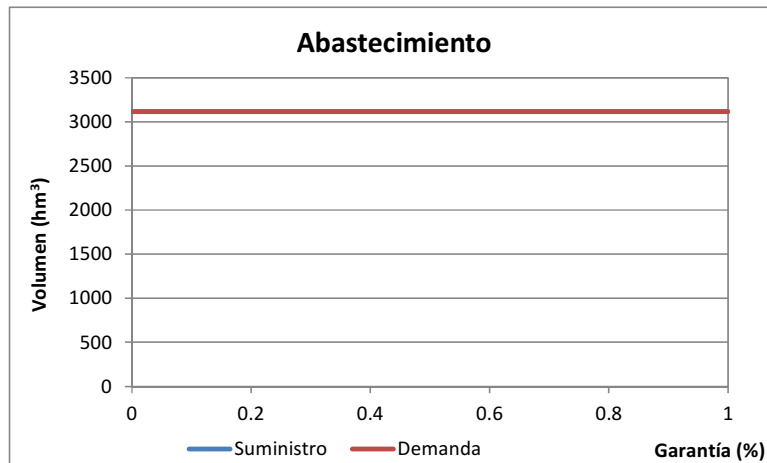


Figura 50. Curva garantía-suministro para el uso urbano en el sistema Júcar

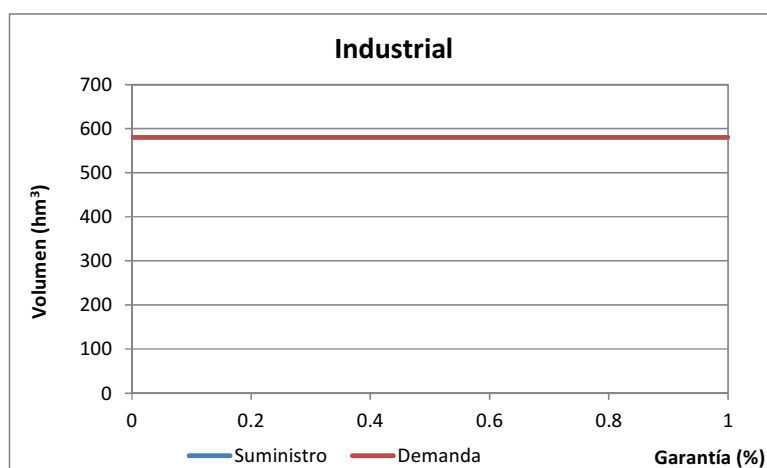


Figura 51. Curva garantía-suministro para el uso industrial en el sistema Júcar

De esta forma el indicador I_1 toma el valor 1 para el sistema Júcar. Este valor indica que el déficit del sistema es reducido y por tanto, el sistema, considerado en su totalidad, es poco vulnerable a la escasez según la lectura que hace este criterio.

En el caso del sistema Júcar se ha considerado como garantía aceptable el 95% para las demandas de riego y el 100% para la demanda de abastecimiento e industrial. Con estas consideraciones el indicador I_2 toma el valor 1. Un valor como el obtenido muestra, según este criterio, la robustez del sistema, ya que es capaz de atender a sus demandas incluso en situación de escasez.

Tomando como situación de partida la descrita en párrafos anteriores, para la determinación del recurso disponible se utilizarán los criterios de garantía exigidos en la IPH 2008 (MARMA, 2008a) y los criterios de eficiencia I_1 e I_2 (Martín-Carrasco et al, 2007). En el caso de este último, con el objetivo de mantener las exigencias actuales de suministro a las demandas y que el sistema Júcar permanezca en situación favorable, se considerará como garantía aceptable el 95% para las demandas de riego y el 100% para la demanda de abastecimiento e industrial; y además los indicadores I_1 e I_2 podrán tomar valores entre 0.85 – 1.0 y entre 0.75 – 1.0, respectivamente.

4.2.4 Análisis de resultados. Método 1

Se han analizados dos métodos distintos. En primer lugar se ha optado por incrementar las demandas en la cabecera del Júcar, y una vez fijadas éstas, continuar incrementando las

demandas aguas abajo, comenzando por la DA Alarcón y continuando con DU Alarcón, y así sucesivamente hasta finalizar con DU Huerto Mulet como indica la Figura 52:

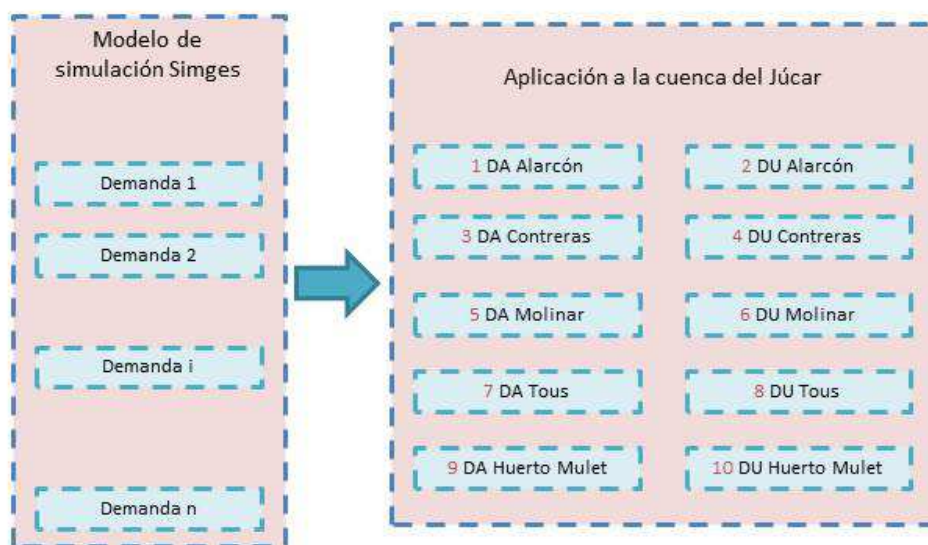


Figura 52. Proceso secuencial de incrementos de demandas considerado en el método 1

Tras estas breves consideraciones, a continuación se presentan los resultados obtenidos.

		Serie histórica		Serie sintética	
		1940/41-2008/09	1980/81-2008/09	1940/41-2008/09	1980/81-2008/09
Criterio	IPH 2008	34,69	10,72	156,88	18,63
	Eficiencia	183,28	59,58	374,06	397,77

Tabla 27. Recurso disponible adicional en el sistema Júcar según origen de las series de aportaciones, longitud de la serie y criterio de garantía considerado. Método 1

En el caso de las series sintéticas, el valor incluido en la tabla anterior es el resultado promedio obtenido con la simulación de los 100 archivos de aportaciones generados tanto para la serie larga (con una longitud de 69 años), como los 100 generados para la serie corta (con una longitud de 29 años). Tal y como se ha comentado en apartados anteriores el uso de los valores promedio puede distorsionar la realidad del sistema. La siguiente figura trata de explicar los resultados obtenidos con el empleo de las series sintéticas. Este tipo de gráfico permite representar los tres cuartiles (líneas horizontales de cada una de las cajas), el valor máximo y mínimo observado (representado por la longitud de los bigotes) y el valor promedio (representado como un punto).

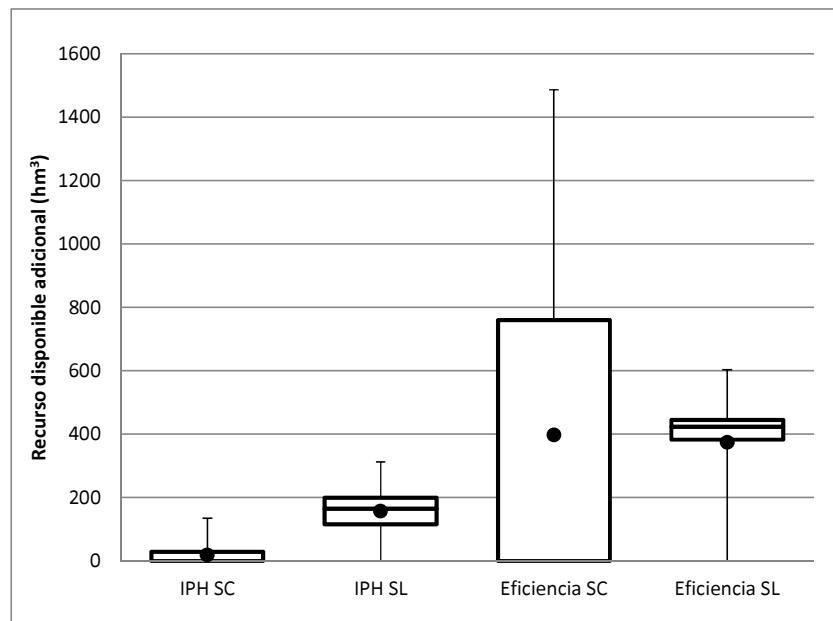


Figura 53. Diagrama de Caja-Bigotes para la estimación del recurso disponible adicional positivo mediante el empleo de series sintéticas. Método 1

A la vista de los resultados obtenidos es necesario realizar algunas consideraciones:

- Habida cuenta de la importante reducción de aportaciones en los últimos 30 años (ver Figura 39) cabría esperar que los máximos déficits se localizasen en el periodo 1980/81-2008/09 y que, por esta razón, la disponibilidad de recursos fuese la misma en ambos casos. La tabla anterior, en cambio, muestra una mayor disponibilidad de recursos para la serie larga (1940/41-2008/09), debido a que la serie larga tiene una media de recursos mayor. La explicación se encuentra en la condición inicial del acuífero de la Mancha Oriental (ver Figura 54 y Figura 55).

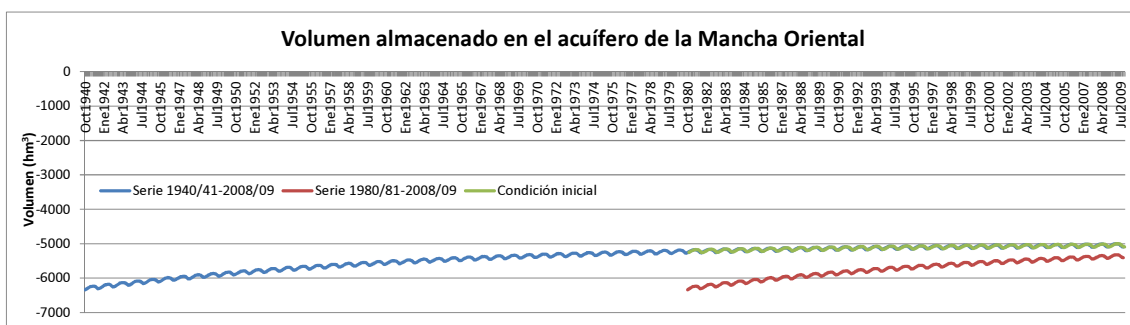


Figura 54. Volumen almacenado en el acuífero de la Mancha Oriental. Escenario de referencia

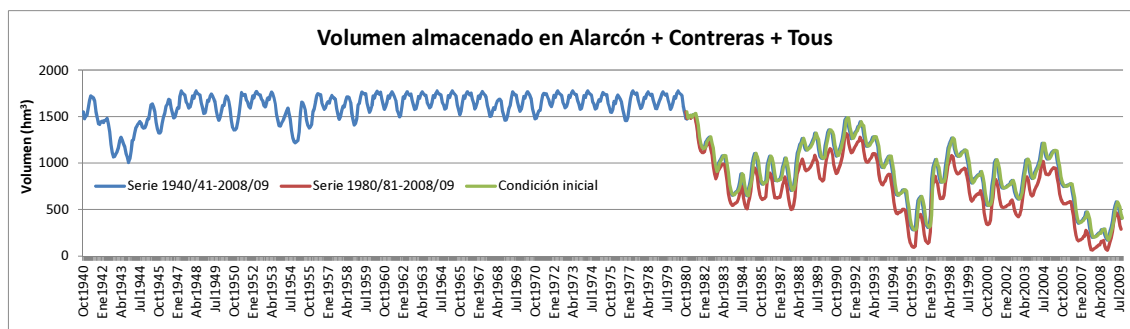


Figura 55. Volumen almacenado en Alarcón, Contreras y Tous. Escenario de referencia

- Por otra parte, el criterio empleado por la IPH 2008 (MARMA, 2008a) resulta más exigente que los criterios de eficiencia, ya que en todos los casos los recursos obtenidos son mayores.
- Los resultados obtenidos con la serie sintética presentan grandes diferencias con los obtenidos a partir de la serie histórica calculada mediante restitución a régimen natural. Para analizar los resultados es necesario recurrir al diagrama de Caja-Bigotes representado en la Figura 53. Atendiendo a la longitud y características de las series, se comprueba que los resultados obtenidos para la serie 1940/41-2008/09 presentan el mismo comportamiento que los obtenidos con la serie original, proporcionando un mayor volumen de recursos disponibles adicionales y siendo el criterio de la IPH 2008 (MARMA, 2008a) más exigente que el criterio de eficiencia. En cambio, la mediana de los resultados obtenidos con la serie 1980/81-2008/09 indica que el recurso disponible adicional es cero (reflejando que de las 100 series de aportaciones generadas, más de la mitad no cumplirían los criterios de garantía para el escenario de referencia); pese a ello, existen algunos años muy húmedos donde es posible obtener un valor del recurso disponible muy elevado y que, hacen que el valor promedio no sea representativo del comportamiento del sistema.
- Los resultados obtenidos, en general, dependen profundamente del orden seguido para evaluar cada uno de los elementos demanda.

4.2.5 Análisis de resultados. Método 2

El planteamiento anterior presenta, por otra parte, la dificultad de localizar en qué zonas del sistema es posible incrementar la disponibilidad de recursos. Por este motivo además de este análisis secuencial se ha estudiado esta disponibilidad por zonas. A modo de ejemplo,

se ha añadido un único elemento demanda con una distribución mensual estacional a la altura del embalse de Tous en la que se ha ido incrementando su dotación anual hasta que se cumple el criterio de garantía considerado, manteniendo el resto de “nuevas” demandas del sistema a cero.

		Serie histórica		Serie sintética	
		1940/41-2008/09	1980/81-2008/09	1940/41-2008/09	1980/81-2008/09
Criterio	IPH 2008	57,42	19,34	216,52	25,38
	Eficiencia	451,20	93,73	623,01	184,64

Tabla 28. Recurso disponible adicional en el sistema Júcar según origen de las series de aportaciones, longitud de la serie y criterio de garantía considerado. Método 2

La tabla anterior muestra el máximo volumen que el sistema es capaz de servir cumpliendo los criterios de garantía establecidos. En el caso de las series sintéticas, el valor incluido en la tabla anterior es el resultado promedio obtenido con la simulación de los 100 archivos de aportaciones generados tanto para la serie larga, como los 100 generados para la serie corta. Ante estos resultados cabe hacer algunas apreciaciones:

- Cuando el criterio considerado es el marcado por la IPH 2008 (MARMA, 2008a), la máxima disponibilidad de recursos se produce para una hipotética demanda localizada en el tramo bajo del Júcar (Huerto Mulet). En cambio, cuando se considera el criterio de eficiencia, este valor máximo se da en la cabecera del río Cabriel y para una demanda estacional (DA Contreras) (ver Figura 56).
- Los resultados obtenidos teniendo en consideración el uso de series sintéticas presentan el mismo comportamiento que para las series originales. Si bien es cierto que para un mejor conocimiento del sistema es necesario el uso de diagramas Caja-Bigotes como en el punto anterior.

A continuación se muestran 8 gráficos radiales que representan cada uno de los 8 escenarios considerados. Cada uno de estos gráficos dispone de 10 ejes que representan los elementos demanda incluidos en el modelo de simulación y en los que se ha representado el recurso adicional obtenido.

Los resultados obtenidos con la simulación de la serie histórica y el criterio marcado por la IPH 2008 (MARMA, 2008a), reflejan que el sistema es capaz de suministrar un mismo

volumen de recurso en la zona media y alta de la cuenca, y que, este recurso aumenta en el tramo bajo.

Utilizando el criterio de eficiencia (Martín-Carrasco et al, 2007) se comprueba que, el máximo recurso se da para una demanda estacional localizada en la cabecera del río Cabriel (DA Contreras).

Por lo que respecta a las series sintéticas se ha representado además del valor promedio, una franja que representa el intervalo de confianza de la desviación típica. En muchos casos el valor alcanzado por ésta es incluso superior al valor promedio, en cuyo caso no se ha representado el término promedio – desviación típica.



Figura 56. Localización de los recursos disponibles adicionales según origen de la serie de aportaciones, longitud de la serie y criterio de garantía utilizado. Método 2.

A continuación se presentan los diagramas de Caja-Bigotes obtenidos en las simulaciones con series sintéticas. En el caso de la serie corta la mediana del recurso disponible adicional es cero, tanto para el criterio de la IPH 2008 (MARMA, 2008a) como con el criterio de eficiencia. Es más, en el caso del criterio de eficiencia para muchas de las localizaciones el tercer cuartil también es nulo, mostrando así una fuerte asimetría (ver Figura 57 y Figura

59). Este hecho refleja, al igual que se ha comentado para el método 1, que de las 100 series de aportaciones generadas, más de la mitad no cumplirían los criterios de garantía establecidos para la situación de referencia.

Los resultados observados para la serie larga son bastante diferentes. A la vista de la Figura 58 y Figura 60 se comprueba que el máximo recurso disponible adicional se da bien en el tramo bajo, si se utiliza el criterio de la IPH 2008 (MARMA, 2008a), o en cabecera si se usa el criterio de eficiencia (Martín-Carrasco et al, 2007).

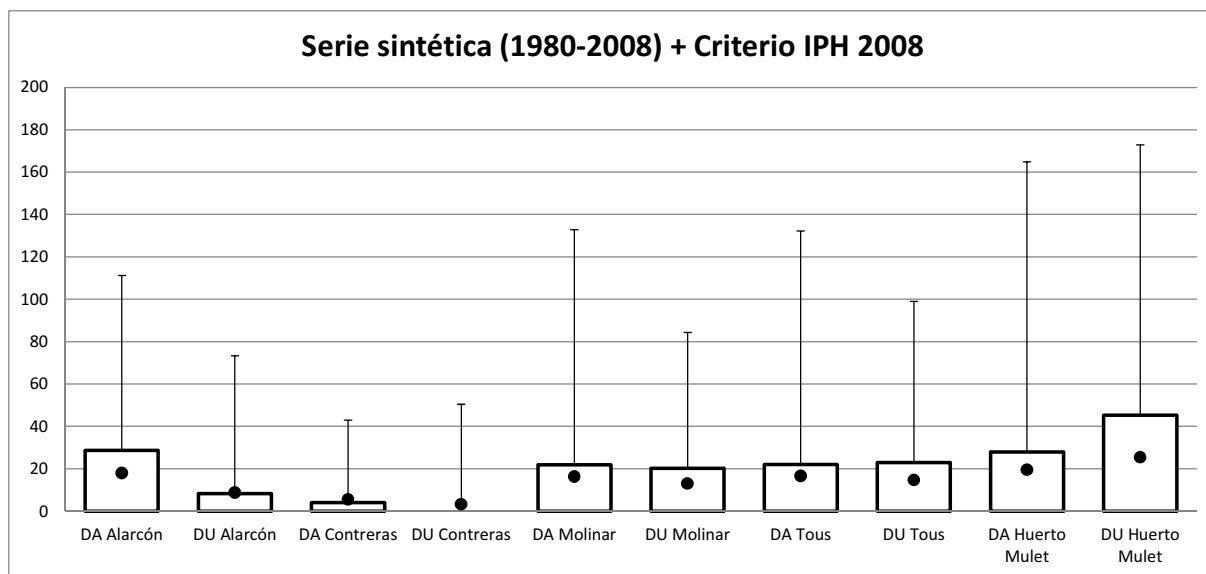


Figura 57. Diagrama de Caja-Bigotes para la estimación del recurso disponible adicional positivo mediante el empleo de series sintéticas. Método 2. Serie 1980/81-2008/09 y criterio IPH 2008 (MARMA, 2008a)

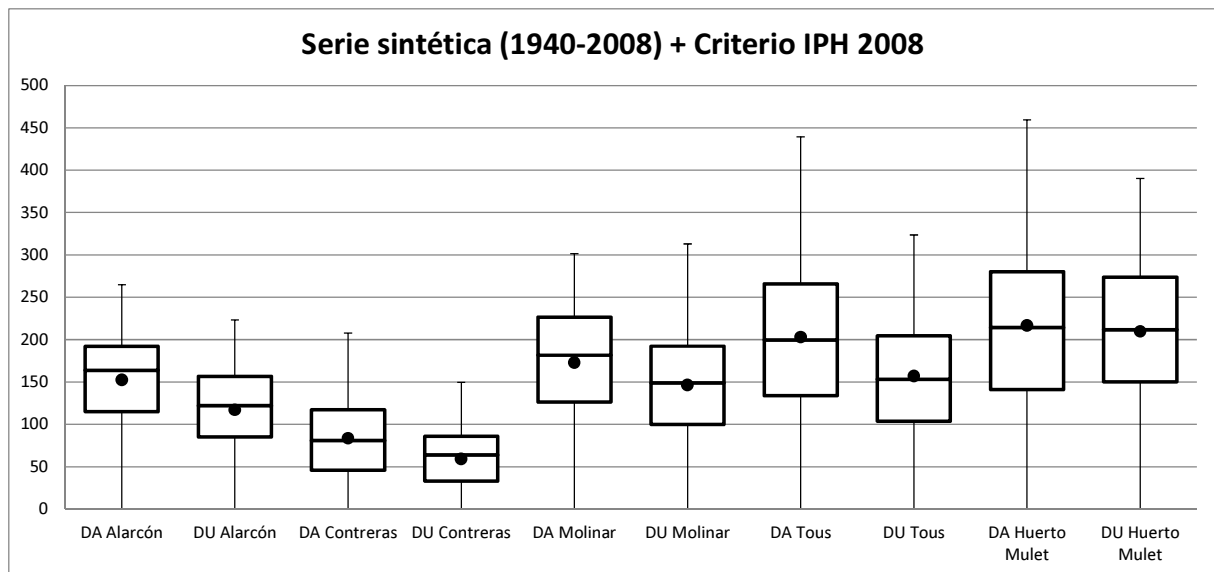


Figura 58. Diagrama de Caja-Bigotes para la estimación del recurso disponible adicional positivo mediante el empleo de series sintéticas. Método 2. Serie 1940/41-2008/09 y criterio IPH 2008 (MARMA, 2008a)

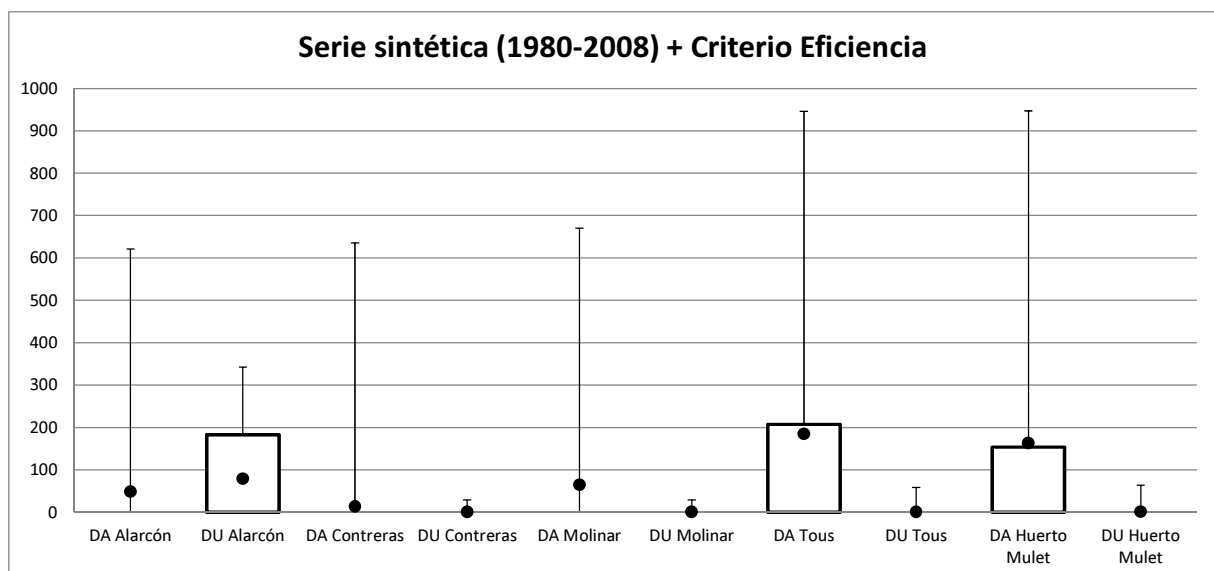


Figura 59. Diagrama de Caja-Bigotes para la estimación del recurso disponible adicional positivo mediante el empleo de series sintéticas. Método 2. Serie 1980/81-2008/09 y criterio de eficiencia

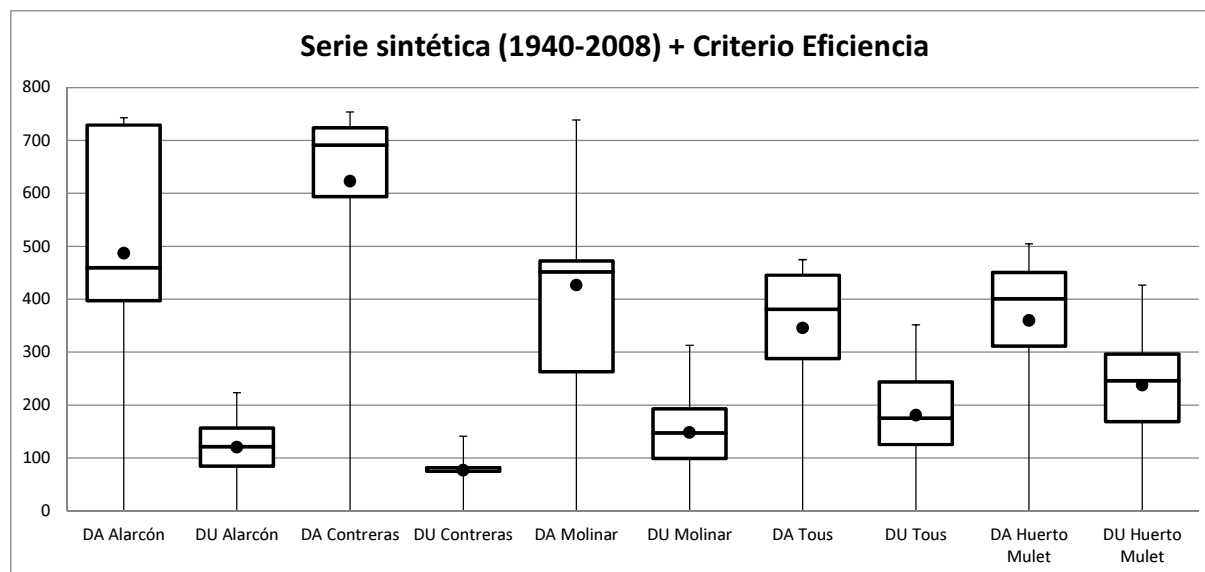


Figura 60. Diagrama de Caja-Bigotes para la estimación del recurso disponible adicional positivo mediante el empleo de series sintéticas. Método 2. Serie 1940/41-2008/09 y criterio de eficiencia

A la vista de los gráficos y tablas mostrados se comprueba que los resultados obtenidos son muy dispares. En muchos casos esta disponibilidad del recurso vendrá determinada tanto por la hidrología, como por las infraestructuras como por la localización de las demandas existentes hasta el momento. Sería arriesgado proporcionar un único valor que represente los recursos disponibles en el sistema Júcar, ya que, como se ha demostrado, depende fundamentalmente de su metodología de cálculo. Además, cualquier cambio en la regulación de los embalses, la incorporación de nuevas medidas de reutilización o intercambio de recursos con otros sistemas, supondría una nueva evaluación del recurso y la obtención de diferentes valores del recurso disponible.

En muchos casos, para obtener un mayor conocimiento del sistema es necesario recurrir al uso de indicadores que permitan complementar los balances entre recursos y demandas.

4.3 Cálculo de indicadores y caracterización de las sequías

Este apartado recoge el cálculo de diversos indicadores e índices con el fin de completar los resultados obtenidos de los balances entre recursos y demandas.

La aplicabilidad de algunos de los índices estudiados en el capítulo anterior puede no ser adecuada en el ámbito de estudio, como puede ser el índice de suministro de agua superficial o el indicador USBR de la sequía (puesto que se utilizan en regiones en que la

masa de nieve de las montañas es uno de los componentes principales del ciclo hidrológico). En otros casos, el cálculo de dichos indicadores requiere de la disponibilidad de una gran cantidad de información, quedando fuera del alcance de este estudio.

4.3.1 Indicadores basados en las precipitaciones

La variable más comúnmente empleada para caracterizar las sequías es la precipitación. La siguiente figura muestra la serie de precipitaciones registrada en el sistema Júcar para el periodo 1940-2009. Como indica la figura se produce una ligera reducción de las precipitaciones en el periodo 1980-2009, esta reducción es conocida como “efecto 80” y, en el caso del Sistema de Explotación Júcar estas diferencias son destacables, tal y como se ha comprobado en apartados anteriores.

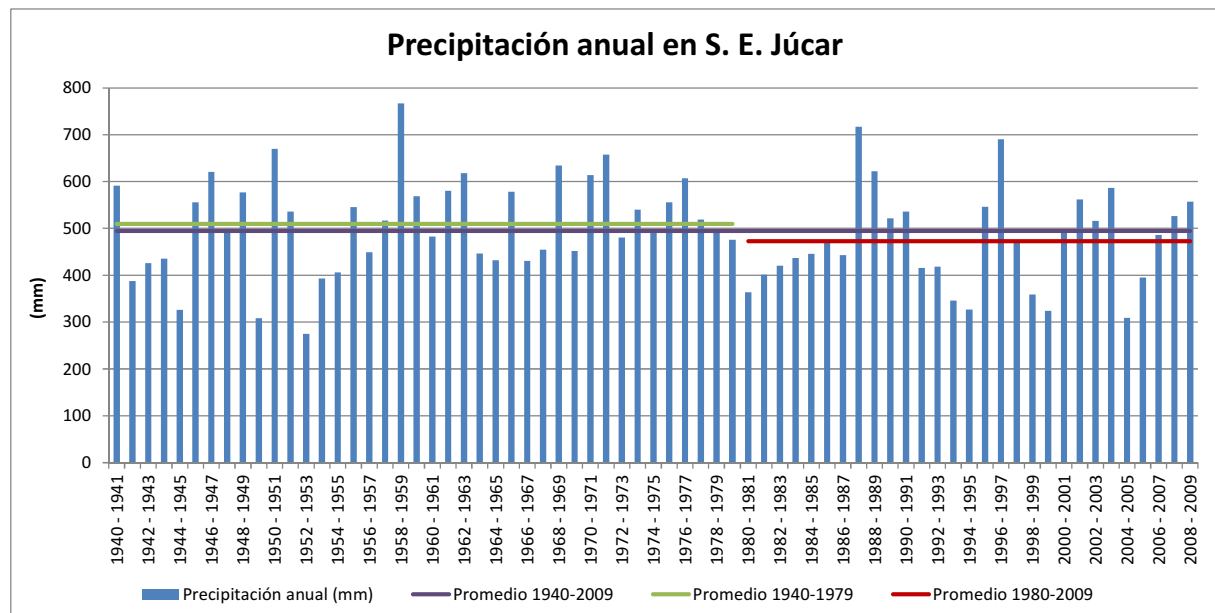


Figura 61. Precipitación anual registrada en el Sistema de Explotación Júcar para el periodo 1940-2009

A continuación se muestra el porcentaje de precipitación normal (PPN) en el sistema Júcar para el periodo 1940-2009 considerando como precipitación normal a la precipitación media anual (500 mm/año aproximadamente).

La principal ventaja de este índice es que es fácilmente comprendido por el público general, de forma que si se indica que la precipitación en el año 1987/88 fue un 145% de la normal, el público entiende que ese año fue especialmente húmedo, mientras que si se indica que en el año 2004/05 la precipitación registrada fue un 63% de la normal, se

entiende que ese año fue esencialmente seco. Otra ventaja de este indicador es que reconoce las sequías en fase de preparación, antes que otros indicadores, por ejemplo, en el periodo 1987/88-1994/95 se observa un descenso del porcentaje de precipitación que se tradujo en la sequía sufrida en el periodo 1991-1995. Este hecho es fácilmente observable en sistemas como el Júcar, que tiene una regulación importante, donde puede servir como prealerta. Pero quizá en sistemas menos regulados, no serviría como preaviso.

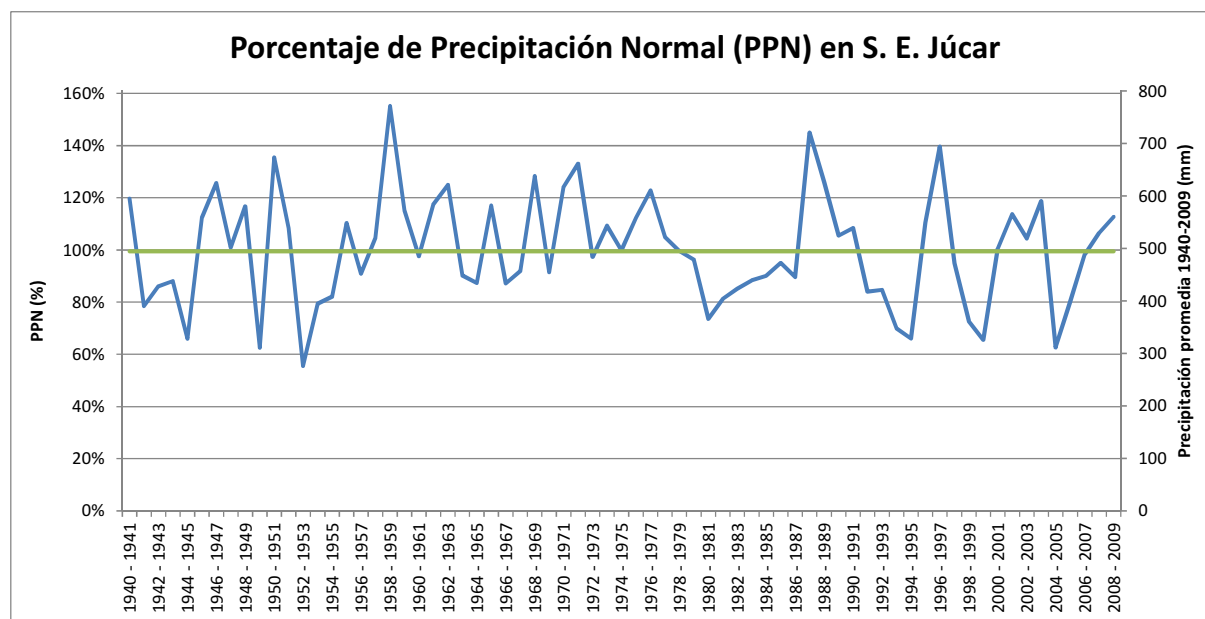


Figura 62. Porcentaje de Precipitación Normal (PPN) en el Sistema de Explotación Júcar para el periodo 1940-2009

Entre sus desventajas cabe además destacar que este índice considera una distribución gaussiana de las precipitaciones, de forma que el promedio y la mediana de las precipitaciones deberían ser coincidentes. Otra de sus limitaciones se presenta al analizar regiones extensas en las que cohabitan tanto zonas áridas como húmedas.

El cálculo de los deciles de la precipitación permite solucionar algunos de los problemas detectados en el PPN para ser empleado en una región no homogénea, ya que un mismo valor tendría la misma probabilidad de ocurrencia en cualquier punto de la región y significa por lo tanto que es igualmente común o extraordinario para todos los afectados y puede tener impactos similares.

La Figura 63 muestra la probabilidad acumulada de que la precipitación registrada en la cuenca del río Júcar en el mes i sea inferior a un volumen x_1 .

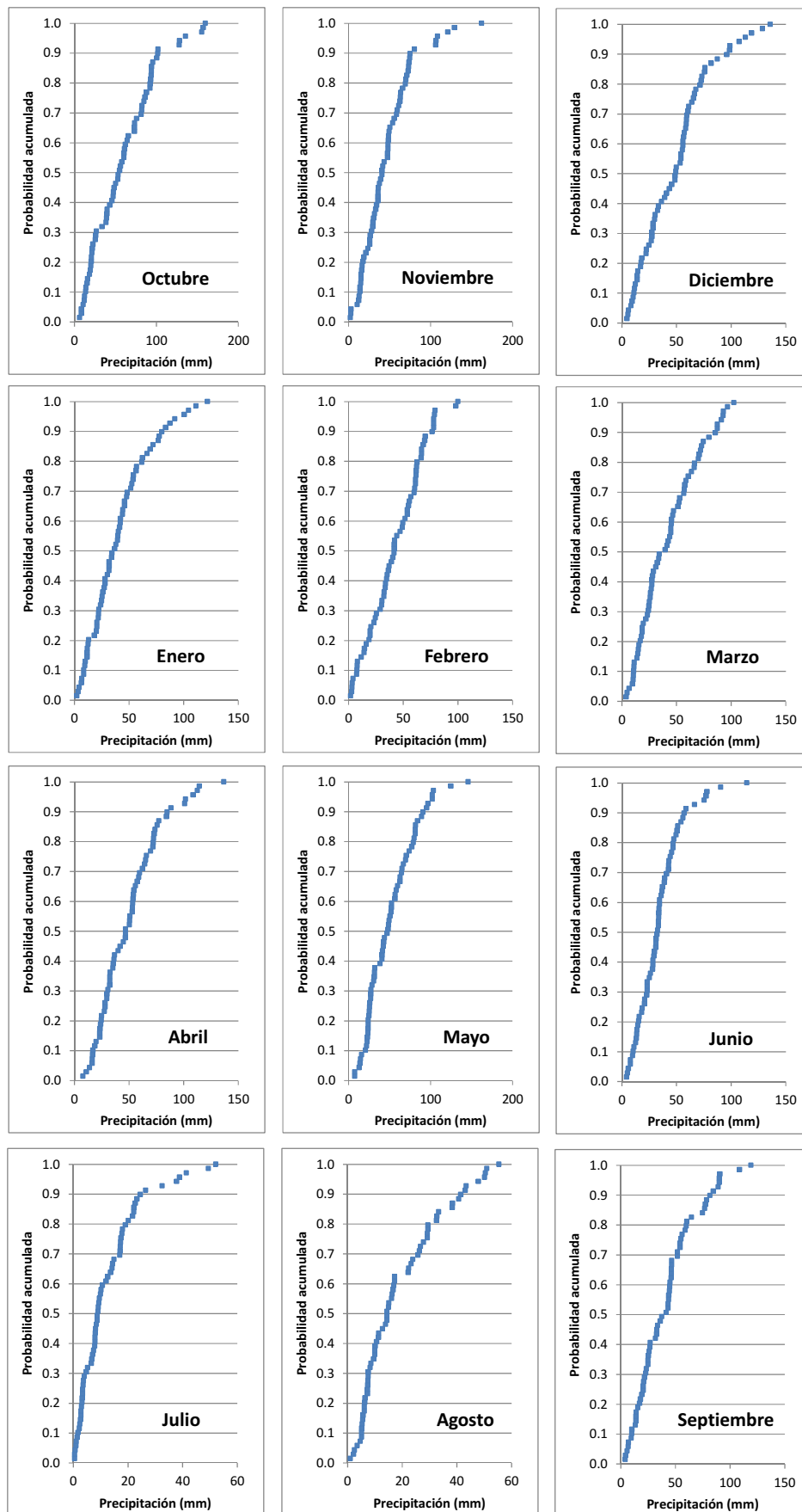


Figura 63. Función de distribución de probabilidad de precipitación en el Sistema de Explotación Júcar

Los deciles también pueden considerarse como indicadores de sequías hidrológicas tal y como muestra la Tabla 29:

Probabilidad de excedencia	Clasificación
0 a 0,15	Muy húmedo
0,15 a 0,35	Húmedo
0,35 a 0,65	Normal
0,65 a 0,85	Seco
0,85 a 1	Muy seco

Tabla 29. Clasificación de la sequía hidrológica según la probabilidad de excedencia. (Beran y Rodier, 1985, citado por Fernández, 1998)

A partir de la serie histórica de precipitaciones en el sistema Júcar se ha calculado además el índice de precipitación estandarizada (SPI). Este índice se obtiene tomando la diferencia entre la precipitación registrada y el promedio de las precipitaciones registradas en el periodo 1940-2009, dividido por la desviación típica.

Se considera que el sistema se encuentra en situación de sequía cuando el valor del SPI es menor o igual a -1. Y la sequía se da por finalizada cuando SPI vuelve a ser positivo. En la siguiente tabla se muestra una clasificación de las sequías en función de este índice:

Valores del SPI	Categoría de sequía
$0 > \text{SPI} > -0,99$	Sequía suave
$-1 > \text{SPI} > -1,49$	Sequía moderada
$-1,5 > \text{SPI} > -1,99$	Sequía severa
$\text{SPI} \leq -2$	Sequía extrema

Tabla 30. Clasificación de la sequía según los valores del SPI (Fernández, 1998)

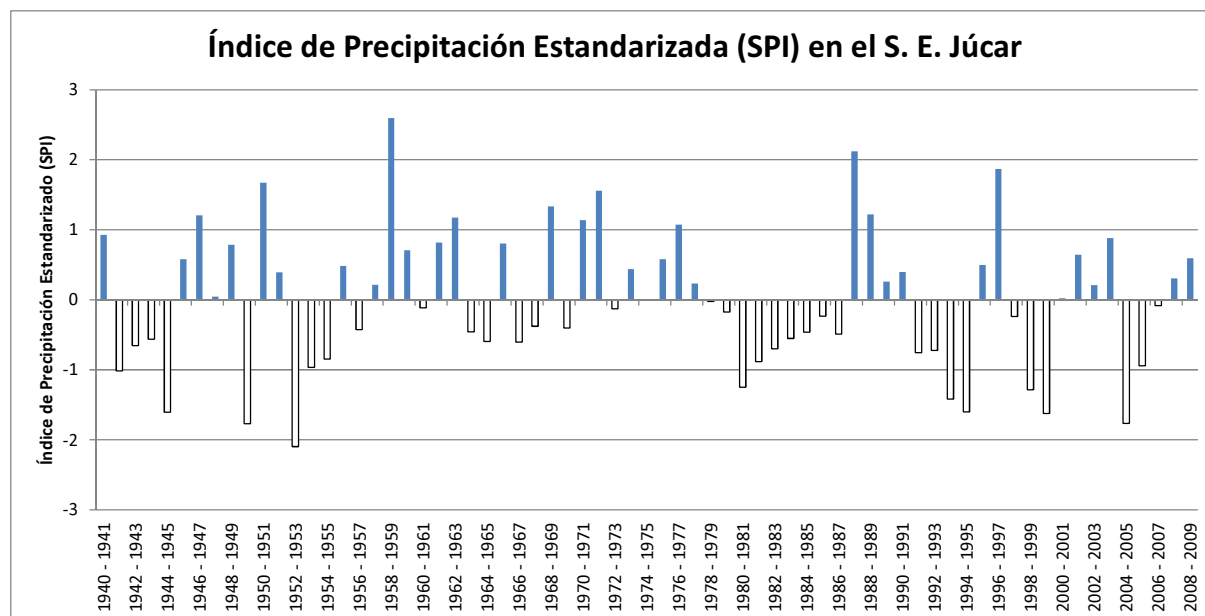


Figura 64. Evolución del SPI en el Sistema de Explotación Júcar

La figura anterior muestra la evolución del SPI para el periodo 1940/41 – 2008/09. En ella se comprueba que el periodo más largo donde el SPI es continuamente negativo es el 1980/81 – 1986/87 donde, la suma de los valores SPI para ese mismo periodo señalan la existencia de una sequía extrema, mientras que, los valores del SPI analizados de forma individual indican que se trataría de una sequía clasificada como suave-moderada.

Por otra parte, el periodo 2004/05 – 2007/08 ha sido, hasta el momento, el periodo de sequía más importante que se ha producido en el Sistema de Explotación Júcar. Esta circunstancia no es directamente visible en la Figura 64, aunque en ella sí que se observa una sucesión de SPI negativos en la última década.

Un aspecto a tener en cuenta es la agregación espacial del índice, ya que suelen producirse diferencias importantes entre la precipitación observada en cabecera y la registrada en cuencas bajas. Un análisis más detallado consideraría una división por zonas que ayude a caracterizar la variabilidad espacial de la precipitación en la cuenca.

En la Tabla 31 se muestra un breve resumen de los periodos de sequía señalados por dicho indicador.

Periodo	Longitud (años)	SPI (acumulado)	Categoría de sequía
1942/43 - 1944/45	4	-3,84	Extrema
1949/50	1	-1,77	Severa

Periodo	Longitud (años)	SPI (acumulado)	Categoría de sequía
1952/53 - 1954/55	3	-3,91	Extrema
1980/81 - 1986/87	7	-4,57	Extrema
1993/94 - 1994/95	2	-3,02	Extrema
1998/99 - 1999/00	2	-2,91	Extrema
2004/05 - 2006/07	3	-2,79	Extrema

Tabla 31. Intensidad de las sequías meteorológicas según SPI en el Sistema de Explotación Júcar

4.3.2 Indicadores basados en las precipitaciones y otros parámetros hidrológicos

La metodología aplicada en el cálculo del índice de precipitación estandarizada SPI es igualmente válida para el cálculo del índice de aportaciones estandarizado. Para ello se han utilizado las aportaciones restituidas a régimen natural que se emplean en el modelo de simulación descrito en el Anexo I.

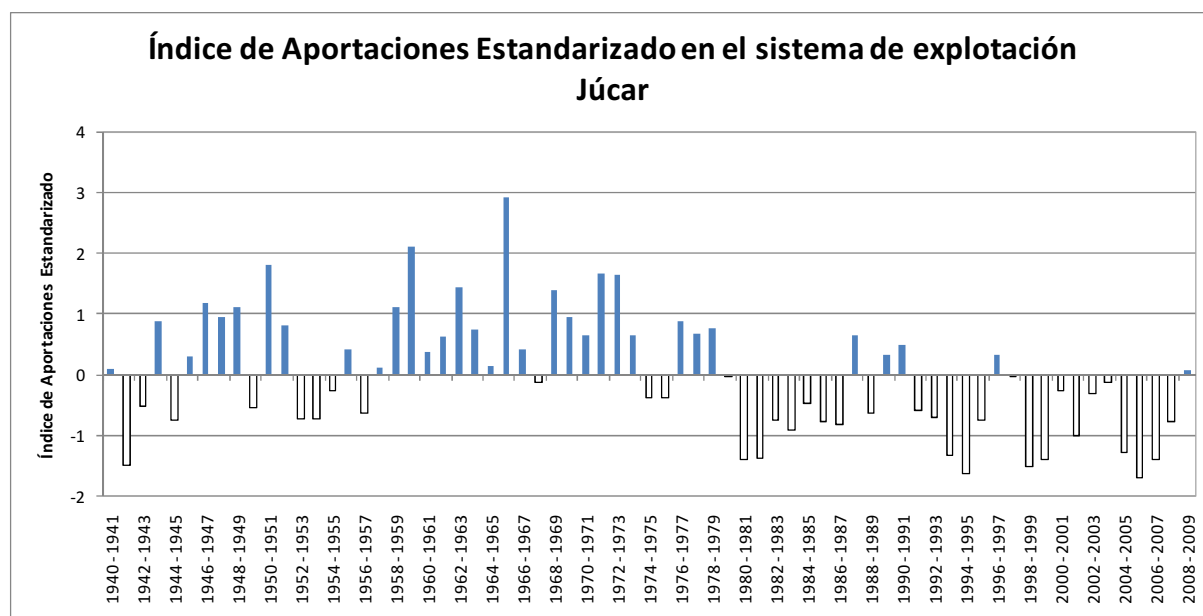


Figura 65. Índice de aportaciones estandarizado en el Sistema de Explotación Júcar

En líneas generales el índice de aportaciones estandarizado muestra la existencia de periodos de sequía desde el inicio de la década de los 80 para la cuenca del río Júcar. En la figura anterior se confirma la grave sequía padecida en el sistema durante el periodo 2004/05-2007/08, mientras que, como se ha visto en el punto anterior, esta sequía no se veía reflejada mediante el uso del índice de precipitación estandarizado.

Dentro de este grupo de indicadores se encuentra además el índice de aridez, ampliamente utilizado por su sencillez, ya que se define como la razón entre la precipitación

anual promedio y la evapotranspiración potencial respectiva, P/ETP. Este índice ha sido utilizado por las Naciones Unidas para una clasificación climática de las regiones del mundo.

Los datos necesarios para su cálculo son: las coordenadas de la zona de estudio, la precipitación mensual promedio en la zona y la temperatura mensual promedio. Los datos de precipitación y temperatura se han obtenido de la base de datos Spain02 (Herrera et al, 2012), que está formada por una rejilla aproximada de 20 km², que abarca la superficie de España y en la que se pueden consultar datos de temperaturas máximas, mínimas y precipitaciones tanto a escala diaria como con la agregación mensual, para el periodo 1950-2008. A partir de esta información se obtiene la ETP mediante el método de Hargreaves. La siguiente tabla clasifica las zonas climáticas según el índice de aridez obtenido:

Zona climática	P/ETP
Hiperárido	< 0,05
Árido	0,05 – 0,2
Semiárido	0,2 – 0,5
Subhúmedo	0,5 – 0,65
Húmedo	>0,65

Tabla 32. Índice de aridez según zonas climáticas (Subramanyam, 1967, citado por Fernández, 1998).

La siguiente tabla muestra los valores obtenidos del índice de aridez en cada sistema de explotación de la DHJ:

Sistema de Explotación	P/ETP (Hargreaves)
Cenia-Maestrazgo	0,48
Mijares-Plana de Castellón	0,43
Palancia-Los Valles	0,45
Turia	0,40
Júcar	0,40
Serpis	0,65
Marina Alta	0,76
Marina Baja	0,44
Vinalopó-Alacantí	0,28

Tabla 33. Índice de aridez en los distintos sistemas de explotación de la DHJ

A la vista de los resultados obtenidos para el índice de aridez en el ámbito de la DHJ se distinguen rasgos claramente diferenciados según sistema de explotación. De forma general la DHJ pertenece a una zona climática semiárida, aunque cabría hacer alguna matización. El

sistema Vinalopó-Alacantí se aproxima a lo que las Naciones Unidas considera zona árida y en el lado totalmente opuesto, se encuentran los sistemas Serpis y Marina Alta muy próximos a la consideración de zonas húmedas.

4.3.3 Indicadores basados en los volúmenes embalsados

Los indicadores anteriores no consideran la cuantía de las demandas reales establecidas en el sistema. Una cuenca en estado natural podría no tener problemas a pesar de que los indicadores anteriores resulten desfavorables, ya que serían descriptores de la realidad de la cuenca. Un sistema en que aquellos índices presenten sequías leves o poco frecuentes podría en cambio sufrir graves problemas si las demandas establecidas en la cuenca no pueden ser satisfechas por no disponer de medios para paliar estas sequías aunque sean poco probables.

Un indicador de sequía operativa sí tiene en cuenta las necesidades del sistema, ya que se basa en datos que sí están influidos por el uso que se hace del agua. Una reducción de las aportaciones tiene como consecuencia un descenso en los volúmenes almacenados, alcanzando con más frecuencia la situación de sequía severa o extrema.

Un primer indicador de sequía operativa es el índice de reservas estandarizado empleado por Villalobos (2007). Este índice proporciona una lectura del estado de reservas del sistema y permite explicar por qué en los sistemas muy regulados, como es el sistema Júcar, en los que se producen situaciones de sequía extrema, éstas se manifiestan con una menor frecuencia pero con una mayor duración.

En la siguiente figura se muestra el índice de reservas estandarizado para el sistema Júcar para el periodo 1994/95-2008/09 una vez el embalse de Tous entró en funcionamiento. En ella es posible comprobar el nivel de gravedad alcanzado según la clasificación del SPI, como ejemplo, la sequía padecida en el sistema durante el periodo 2004/05-2007/08 estuvo próxima a alcanzar el nivel de sequía extrema.

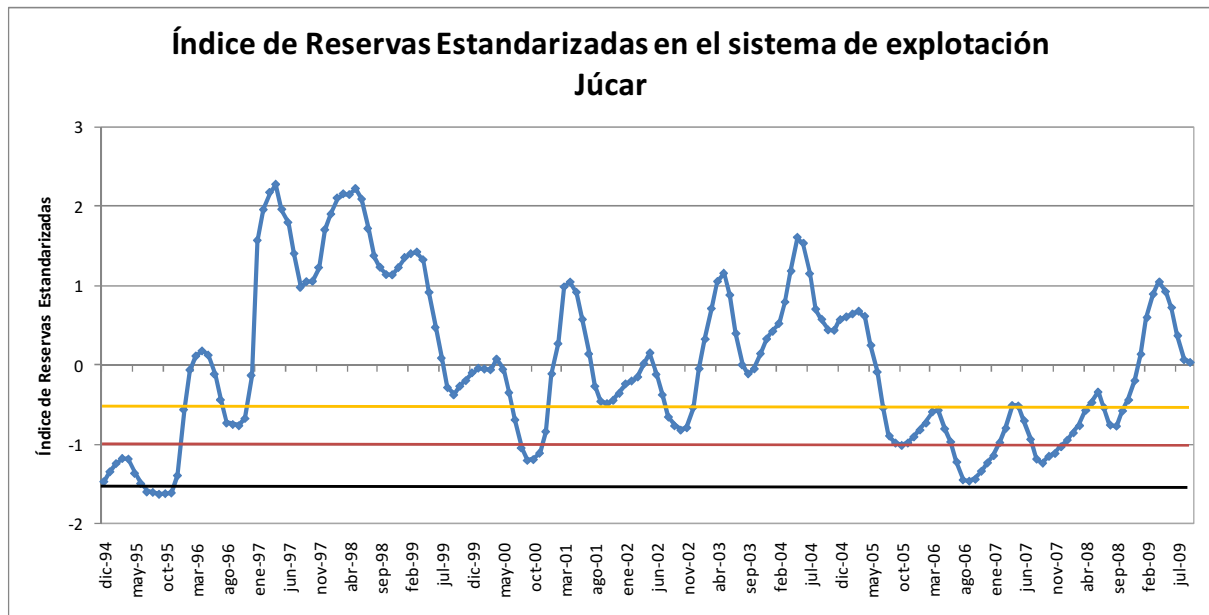


Figura 66. Índice de reservas estandarizadas en el sistema de explotación Júcar

4.3.4 Índices basados en la planificación hidráulica española

Un índice más elaborado para la caracterización de la sequía operativa es el que se plantea en la metodología establecida en el PES (MMA, 2007) de la CHJ. Esta metodología permite conocer y establecer un diagnóstico global y por sistemas de explotación de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Además, aunque el método es aplicable a cualquier dato, éste ya ha diseñado y seleccionado aquellos que son de utilidad para obtener información sobre el riesgo de tener problemas de abastecimiento en el sistema.

Además de los niveles de estado se considera la evaluación de los riesgos de restricción en los distintos sistemas de explotación, clasificando el riesgo en cinco niveles:

- Muy bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy alto

La aplicación de los criterios establecidos por el PES (MMA, 2007) conduce a los escenarios operacionales de sequía en los distintos sistemas de explotación incluidos en la tabla siguiente:

Sistema	Valoración riesgo	Estado
Cenia-Maestrazgo	ALTO	ALERTA
Mijares-Plana de Castellón	MEDIO	PREALERTA
Palancia-Los Valles	ALTO	ALERTA
Turia	MEDIO	PREALERTA
Júcar	BAJO	NORMALIDAD
Serpis	BAJO	NORMALIDAD
Marina Alta	BAJO	NORMALIDAD
Marina Baja	BAJO	NORMALIDAD
Vinalopó-Alacantí	MEDIO	PREALERTA

Figura 67. Escenario de sequía por sistema de explotación en el mes de diciembre de 2012. (CHJ, 2013b).

Así mismo, en la figura siguiente se presenta el escenario establecido para cada uno de los sistemas:

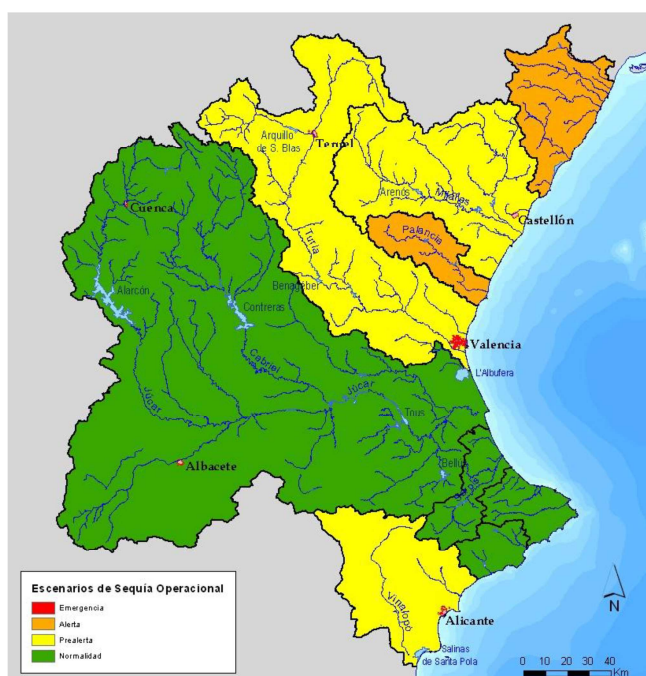


Figura 68. Escenario de sequía por sistema de explotación en el mes de diciembre de 2012 (CHJ, 2013b).

Los indicadores vistos permiten identificar posibles reducciones en las aportaciones (como muestra el porcentaje de precipitación normal o los deciles de precipitación) o la alternancia de periodos húmedos y secos (como muestra el SPI) cuando lo que se pretende es caracterizar una sequía meteorológica. Siguiendo la misma metodología es posible caracterizar las sequías hidrológicas, utilizando esta vez la variable aportaciones. En el caso de las sequías agrícolas el índice de aridez permite únicamente realizar una clasificación climática de las diferentes regiones analizadas.

Todos estos indicadores propuestos no constituyen, en cambio, un medio para predecir las sequías socioeconómicas, aunque un análisis económico de la puesta en marcha de medidas estratégicas, tácticas o de emergencia (obtenidos a partir del análisis de las sequías operativas) podría ser un primer paso para cuantificar estos costes.

4.4 Resumen

En este capítulo, tomando como caso de estudio la cuenca del río Júcar, se han obtenido diferentes estimaciones del recurso disponible adicional positivo atendiendo al origen de las series de aportaciones, la longitud del periodo de simulación y el criterio de garantía empleado para considerar satisfechas las demandas.

Como indicadores de garantías se han empleado los establecidos en la IPH 2008 (MARMA, 2008a) y los indicadores de eficiencia (Martín-Carrasco et al, 2007). Para la definición de los indicadores de eficiencia debe obtenerse previamente una curva de Garantía-Suministro para cada tipo de uso considerado. Esta curva indica la probabilidad de que el sistema sea capaz de suministrar la totalidad de sus demandas en el periodo analizado. Este tipo de curvas, en sí, permite valorar el grado de regulación del sistema. El indicador I_1 queda definido mediante unos coeficientes de ponderación que tienen en cuenta no sólo la política de gestión del sistema sino también la relevancia en hm^3 de cada una de las demandas respecto el total del sistema. Por otra parte, el indicador I_2 valora la bondad con que el sistema satisface sus demandas. Ambos indicadores considerados de forma conjunta, permiten identificar problemas de escasez de agua con diferentes intensidades.

Al modelo de simulación de la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Júcar se le han añadido cinco grupos de demandas repartidos a lo largo del esquema. La ubicación de cada grupo se ha definido en base a la localización de los puntos estratégicos para la gestión del sistema.

El cálculo del recurso disponible adicional positivo ha consistido en un proceso iterativo de incremento de la demanda hídrica, donde se comprueba en cada paso si se cumplen los criterios de garantía adoptados. El resultado final se alcanza cuando se obtiene la máxima demanda cumpliendo las garantías exigidas.

Como cabría esperar, los resultados obtenidos son muy dispares, comprobándose la gran influencia del criterio de garantía utilizado para la cuantificación y localización del recurso disponible adicional del sistema. El uso de los indicadores de eficiencia ha supuesto una vuelta de tuerca para los criterios de garantía utilizados hasta el momento. Aun así, quedan todavía diversos aspectos a tener en cuenta como el grado de afección de las masas de agua subterráneas o la cuantificación económica de la gestión.

Para complementar estos resultados, se han obtenido diversos indicadores que permiten caracterizar las sequías en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Estos indicadores permiten identificar posibles reducciones en las aportaciones (como muestra el porcentaje de precipitación normal o los deciles de precipitación) o la alternancia de periodos húmedos y secos (como muestra el SPI) cuando lo que se pretende es caracterizar una sequía meteorológica. Siguiendo la misma metodología es posible caracterizar las sequías hidrológicas, utilizando esta vez la variable aportaciones. En el caso de las sequías agrícolas el índice de aridez permite únicamente realizar una clasificación climática de las diferentes regiones analizadas.

Todos estos indicadores no permiten predecir las sequías socioeconómicas, aunque un análisis económico de la puesta en marcha de las distintas medidas adoptadas podría ser un primer paso para cuantificar estos costes.

4.5 Discusión y análisis de resultados

Este estudio ha tomado como base de partida la necesidad de utilizar balances simples que permitan conocer el estado en un momento dado de la gestión de un sistema de explotación y que sean fácilmente entendibles por el público general.

Esta idea simple, a primera vista, se complica conforme se avanza en el conocimiento del sistema en cuestión puesto que son muchas las variables que lo definen. La propia delimitación del sistema Júcar puede llegar a ser lo suficientemente compleja como para reducir la gestión de un sistema tan complejo a una simple tabla con tres números. En este estudio, son varios los factores que se han omitido ya que su consideración implica un análisis mucho más extenso que, a día de hoy, queda fuera del alcance de este trabajo; a

modo de ejemplo cabe recordar la interacción con el sistema Turia a través del Parque Natural de la Albufera, o el trasvase Júcar-Vinalopó.

Las complicaciones aumentan si además, el cálculo de los balances se intenta resolver mediante distintos criterios de cálculo y más aun dependiendo del criterio de garantía que se utilice.

Además, desde la Unión Europea se está trabajando en buscar un sistema de indicadores que sea igualmente válido para todas las cuencas de los países miembros. Sin embargo el planteamiento inicial dista mucho de como se entiende el concepto de “balances” en sistemas como el Júcar. En el apartado 4.3 se ha planteado el análisis de la cuenca del Júcar bajo un punto de vista próximo a la visión que parece se tiene en la EU. Como se ha visto, este criterio proporciona poca o ninguna información útil para la planificación de la gestión del sistema.

Analizando estas diferencias se ha diseñado un esquema más general para el cálculo de balances que debería incluir la casuística que justifica el punto de vista de la EU (ver Figura 69). En esta figura el cálculo de balances comienza con los datos climáticos, donde la precipitación y la evapotranspiración son los principales procesos. Este cálculo continúa tratando de emular la totalidad del ciclo hidrológico, en el que intervienen tanto la estimación de los recursos naturales de la cuenca como los usos que la caracterizan. Una vez conocidos los usos, cabe la posibilidad de hacer una distinción entre usos naturales y usos económicos, y en función de la relación de estos últimos y los recursos naturales se obtiene un índice que permite definir el estado del sistema. Hasta este momento, ése sería el planteamiento propuesto desde la EU, en cambio, en países como España, este planteamiento no es suficiente.

Una vez estimados los recursos naturales, éstos se descomponen entre la escorrentía superficial y la subterránea. Por otra parte, conocidos los usos económicos se obtienen las demandas. En función de las características de cada cuenca, estas demandas podrán suministrarse únicamente con los recursos naturales, pero en la mayoría de los casos, es necesaria la puesta en funcionamiento de ciertas infraestructuras de regulación que permitan hacer uso de estos recursos cuando las demandas los requieran. De este modo, ya

no es suficiente con considerar únicamente los recursos naturales sino que sería más adecuado referirnos a éstos como recursos convencionales. Además, puede darse el caso que estos recursos convencionales no sean suficientes para servir las demandas del sistema; en este caso debe recurrirse al empleo de recursos no convencionales (reutilización, desalación, transferencias) que sí permitan garantizar los suministros. Estos dos términos se han agrupado mediante el término “recursos generados” que puede variar según el escenario horizonte analizado.

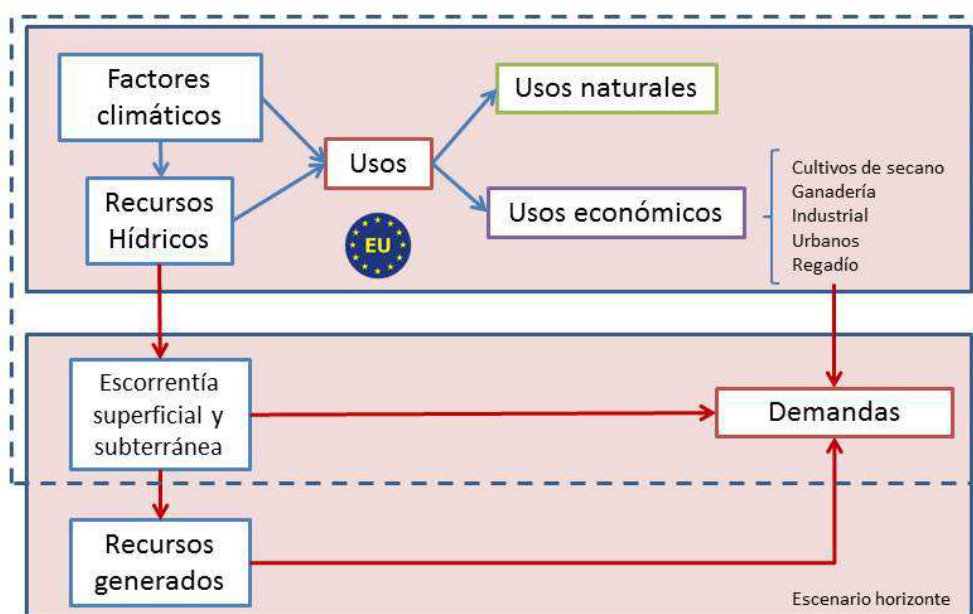


Figura 69. Propuesta de un esquema general para el estudio del recurso disponible

Estos dos planteamientos representarían los dos extremos en la casuística de problemas a analizar dentro del contexto de los recursos hídricos. Se puede encontrar casos que incluyan ambos problemas e incluso casos en los que la situación a analizar se encuentre en un estado intermedio entre ambos.

Este planteamiento demanda un criterio objetivo que permita la selección o clasificación de los sistemas en una u otra franja del problema de planificación de cuencas que se esquematiza en dicha Figura 69.

Hay que tener presente que la UE está formada por países con diferentes características físicas, con hidrologías diferentes, con economías basadas en distintos sectores productivos y con diferencias tanto de infraestructuras como de demandas. Un claro ejemplo de ello es

el uso de recursos procedentes de reutilización que se hace en los distintos países miembros, como muestra la siguiente figura. En ella se comprueba que en países como España o Italia los recursos de reutilización han dejado de verse como recursos no convencionales dado su alto nivel de implantación. Este tipo de razonamiento podría extrapolarse al uso de recursos de desalación.

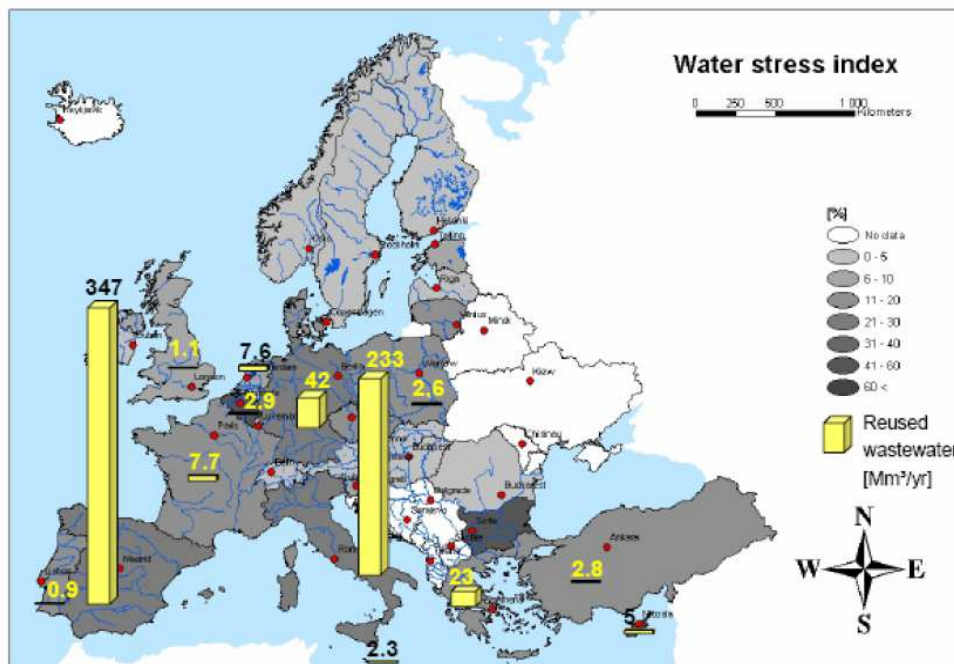


Figura 70. Reutilización en Europa (EC, 2007)

Ante esta situación, un primer paso puede ser realizar una clasificación previa de las regiones que conforman la UE con el fin de aplicar diferentes metodologías que se adecuen a las características físicas y socioeconómicas de cada uno de los países miembros.

Los datos incluidos en la siguiente tabla se han extraído del LBA (MIMAM, 2000a) y representan las demandas totales de cada confederación hidrográfica junto con sus disponibilidades hídricas. A partir de estos datos se ha construido la Figura 71, que muestra un primer avance en cuanto a la clasificación de estas regiones.

Ámbito de planificación	Demanda Total	Aportación natural total	Volumen regulado en embalses	Bombeo de aguas subterráneas	Reutilización directa	Desalación de agua de mar	Transferencias superficiales
Norte I	617	11235	3937				
Norte II	589	13000	1870	19			0
Norte III	486	5381	353	33			190

Ámbito de planificación	Demanda Total	Aportación natural total	Volumen regulado en embalses	Bombeo de aguas subterráneas	Reutilización directa	Desalación de agua de mar	Transferencias superficiales
Duero	3860	15168	6095	371			
Tajo	4065	12230	5845	164			-301
Guadiana I	2312	4875	1922	738			20
Guadiana II	219	1293	228	76			
Guadalquivir	3760	7978	2819	507	12		-6
Sur	1350	2483	359	420	19	20	7
Segura	1834	1000	626	478	56		195
Júcar	2962	4142	2095	1425	83		85
Ebro	10378	18217	11012	198	6		-243
C.I. Cataluña	1357	2780	791	424	6		53
Galicia Costa	819	12642	1223				
Península	34608	112424	39175	4853	187	20	
Baleares	288			284	26	6	
Canarias	427			395	20	68	
España	35323		39175	5532	233	94	0

Tabla 34. Síntesis de usos y disponibilidades hídricas teóricas (hm³/año) (MIMAM, 2000a)

La siguiente figura trata de representar, para cada uno de los ámbitos de planificación, la relación entre el volumen total de demandas suministradas y el origen de los recursos empleados. La información relativa a cada confederación se encuentra alineada verticalmente. Así, el sistema Júcar, se encuentra representado en el centro de gráfico, ya que las demandas del sistema representan aproximadamente el 70% de la aportación natural. En el eje de ordenadas se indica el origen del recurso. La proporción de los recursos regulados utilizados en el suministro a las demandas se estima del orden del 50% de la aportación natural. Del mismo modo, aproximadamente el 85% de los recursos son convencionales (regulados en embalses junto con bombeos de aguas subterráneas). El resto del recurso generado se asocia a reutilización, desalación y transferencias desde otras cuencas.

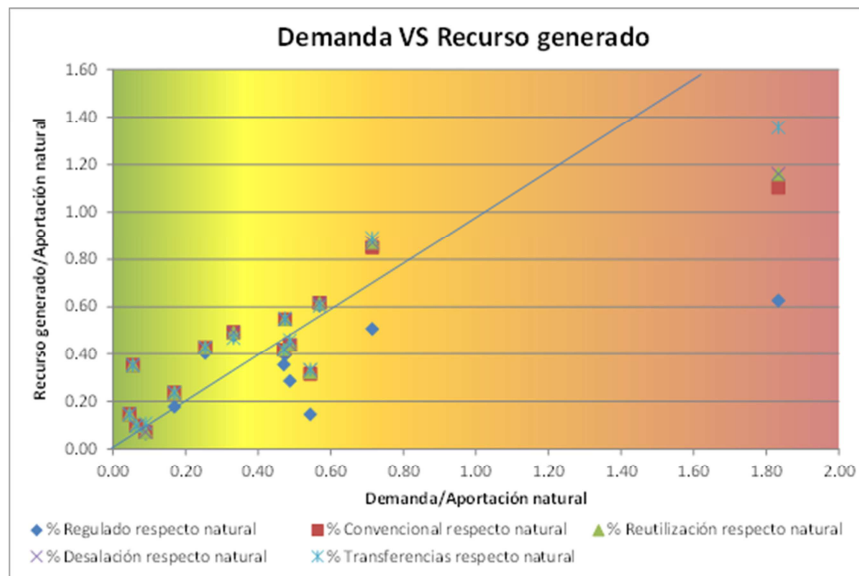


Figura 71. Demanda VS Recurso generado para los diferentes ámbitos de planificación

A la vista de la figura anterior se podría clasificar los sistemas según su posición en el eje horizontal. Así, los sistemas situados más a la izquierda son sistemas en que el grado de utilización de los recursos es bajo, este puede ser el caso de sistemas en climas húmedos; y conforme se desplazan a la derecha, también ascienden en el eje vertical, lo que indica que el recurso es más escaso y se recurre a la generación del mismo por medios cada vez más costosos. Y siguiendo las tendencias actuales de clasificar por índices de colores, los ámbitos de planificación considerados en el LBA (MIMAM, 2000a) se pueden agrupar en 4 zonas:

- Zona verde. Los suministros están basados en los recursos regulados en embalses. Dentro de este grupo se encuentra la antigua Confederación Hidrográfica del Norte y Galicia Costa.
- Zona amarilla. Los suministros se efectúan con recursos convencionales, entendiendo como tales, los recursos regulados en embalses y los bombeos de aguas subterráneas. En este nivel se encuentran las Cuenas Internas de Cataluña y las Confederaciones Hidrográficas del Duero, Tajo, Guadiana y Guadalquivir.
- Zona naranja. Son necesarios recursos de otras fuentes de suministro, como puede ser la reutilización o la desalación. En esta zona se incluyen las Confederaciones Hidrográficas del Júcar, Ebro y las Cuenas del Sur.

- Zona roja. Distingue los sistemas con demandas incluso por encima del recurso natural disponible. En esta zona se encuentra la Confederación Hidrográfica del Segura.

Para la situación actual estas observaciones han quedado obsoletas ya que esta agregación se ha efectuado a partir de los datos extraídos del LBA (MIMAM, 2000a), publicado en el año 2000. Con la actualización de estos datos, los resultados obtenidos serán diferentes, puesto que la reducción de aportaciones registrada en los últimos 30 años, junto con el creciente uso de los recursos de reutilización y desalación conducirá a una relación Demanda/Recurso mayor, como en el caso del Júcar que actualizando datos alcanza un valor de 1,06 tal como indica la Tabla 23.

Añadiendo además una línea que represente los 45º es fácil localizar aquellos sistemas cuyas demandas se encuentran por encima de sus recursos generados. En consecuencia, o bien se garantiza con el recurso natural o bien su garantía está en precario. Además, los sistemas que se encuentran por encima de esta línea disponen de mecanismos de generación de recurso por encima de la demanda. Esto puede indicar una mejor garantía al depender menos de la variabilidad climática. Por el contrario supone también un mayor coste del recurso. Tal es el caso de las Cuencas del Sur, la Confederación del Guadalquivir, del Segura y las Cuencas Internas de Cataluña, localizadas por debajo de esta línea.

Capítulo 5

5 Conclusiones

El objetivo de este Trabajo Final de Máster ha sido analizar los criterios actualmente en uso para la elaboración de balances de recursos hídricos, así como la recopilación de indicadores e índices diseñados para caracterizar los sistemas.

Dentro de este estudio se han realizado distintos trabajos:

- Se han recopilado y ordenado los diferentes objetivos y criterios utilizados en planificación hidrológica en relación a la elaboración de balances e indicadores de estado de los sistemas.
- Se ha realizado una revisión del estado del arte de los temas centrales de este trabajo como son: balances, estimación de recursos hídricos disponibles, criterios de garantía para el suministro de las demandas e indicadores de sequía.
- Tomando como caso de estudio la cuenca del río Júcar se han obtenido diferentes estimaciones del recurso disponible adicional atendiendo al origen de las series de aportaciones, la longitud del periodo de simulación y el criterio de garantía empleado para considerar satisfechas las demandas.
- Al modelo de simulación de la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Júcar se le han añadido cinco grupos de demandas repartidos a lo largo del esquema. La ubicación de cada grupo se ha definido en base a la localización de los puntos estratégicos para la gestión del sistema.

- El cálculo del recurso disponible adicional ha consistido en un proceso iterativo de incremento de la demanda hídrica, donde se comprueba en cada paso si se cumplen los criterios de garantía adoptados. El resultado final se alcanza cuando se obtiene la máxima demanda cumpliendo las garantías exigidas.
- Se han analizado los diferentes enfoques empleados por la EU y cuencas como la del Júcar con la finalidad de explicar las diferencias y plantear un criterio diferenciador que permita coordinar los trabajos en los diferentes contextos hidrológicos.

5.1 Conclusiones del caso de estudio

Los resultados obtenidos en la estimación del recurso disponible adicional son muy dispares, comprobándose la gran influencia del criterio de garantía utilizado para la cuantificación y localización del mismo. Se ha utilizado, además de los criterios oficiales de la IPH 2008 (MARMA, 2008a), indicadores de eficiencia (Martín-Carrasco et al, 2007) basados en la cuantía del suministro, demostrando la gran influencia de los criterios de garantía utilizados sobre las conclusiones finales. Aun así, quedan todavía diversos aspectos a tener en cuenta como el grado de afección de las masas de agua subterráneas o la cuantificación económica de la gestión. Se ha demostrado que la determinación del recurso disponible no puede ser determinante en ningún caso, ya que éste depende en gran medida de la diversos condicionantes que deben ser establecidos a priori sin que exista motivos firmes para seleccionar éstos y no otros. El ejercicio realizado es también una valoración de la variabilidad del resultado propuesto.

Para complementar estos resultados, se han obtenido diversos indicadores que permiten caracterizar las sequías en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Estos indicadores permiten identificar posibles reducciones en las aportaciones (como muestra el porcentaje de precipitación normal o los deciles de precipitación) o la alternancia de periodos húmedos y secos (como muestra el SPI) cuando lo que se pretende es caracterizar una sequía meteorológica. Siguiendo la misma metodología es posible caracterizar las sequías hidrológicas, utilizando esta vez la variable aportaciones. En el caso de las sequías agrícolas el índice de aridez permite únicamente realizar una clasificación climática de las diferentes regiones analizadas.

Todos estos indicadores propuestos no constituyen, en cambio, un medio para predecir las sequías socioeconómicas, por lo que sería necesario recurrir a un análisis económico de la puesta en marcha de las diferentes medidas.

5.2 Conclusiones generales

El concepto de balances en cuencas o sistemas de recursos hídricos puede tener diversas interpretaciones. En la bibliografía se encuentra dos tipos de aplicaciones que deben separarse claramente.

- Los balances calculados para un periodo de tiempo concreto y pasado, que en la literatura tiende a denominarse "contabilidad del agua" o "water accounting". Y que son más utilizados bajo el enfoque de la EU.
- Y los balances estimados para un horizonte de planificación, pero sin una fecha concreta, que son utilizados para determinar la cantidad de recurso disponible en un sistema. En estos balances es muy importante identificar cuáles son las premisas con las que son calculados, ya que al tratarse de escenarios hipotéticos éstas pueden determinar subjetivamente el resultado final.

Desde la Unión Europea se busca encontrar un sistema de indicadores que sea igualmente válido para todas las cuencas de los países miembros. Este planteamiento puede no ser posible debido a la diversidad climática y como consecuencia diversidad en la configuración de las cuencas o de los sistemas de explotación. Se comprueba que en el caso de cuencas secas con un alto porcentaje de utilización de los recursos como el Júcar, el criterio basado en variables climáticas es poco útil. Sí puede serlo en cambio en cuencas con climas húmedos.

Hay que tener presente que la UE está formada por países con diferentes características físicas, con hidrologías diferentes, con economías basadas en distintos sectores productivos y con diferencias tanto de infraestructuras como de demandas. Ante esta situación, se propone un primer paso que es realizar una clasificación previa de las cuencas o sistemas que se analizan, con el fin de aplicar diferentes metodologías que se adecuen a las características físicas y socioeconómicas de cada uno de los países miembros. También se ha propuesto un método preliminar para realizar esta clasificación.

5.3 Aportaciones originales del trabajo

Este estudio, como trabajo de investigación pretende, en primer lugar poner algo de claridad sobre las diferentes interpretaciones y discrepancias que pueden encontrarse en el concepto de balance de un sistema de recursos hídricos. Y en segundo lugar, pretende también buscar un camino de entendimiento entre puntos de vista basados en la problemática de climas húmedos y puntos de vista basados en climas secos.

En este sentido se puede destacar principalmente dos aportaciones originales, que también son inicio de líneas de investigación. Las aportaciones originales de este estudio han sido las siguientes:

- Se ha formulado un esquema general para el planteamiento de los balances, en el que debe tenerse en consideración aspectos relativos a la propia definición del escenario de estudio como son la topología, la cuantificación del recurso y el criterio para la determinación del recurso disponible adicional; junto con la necesidad de definir el criterio de garantía a partir del cual se consideran satisfechas las demandas del sistema (ver Figura 40).
- Se ha definido una propuesta de clasificación previa de las cuencas hidrológicas en función de la cantidad y tipo de recurso explotado que permitiría hacer distinciones entre las mismas con el objetivo de aplicar diferentes metodologías adaptadas a las características físicas y socioeconómicas de cada una. Esta propuesta podría ser aplicada desde la EU para reglar el tratamiento diferente de los balances y las sequías en cada zona (ver Figura 69 y Figura 71).

En el caso del análisis efectuado para la cuenca del río Júcar, las aportaciones originales han sido:

- Se ha llevado a cabo un cálculo de balances atendiendo a diferentes criterios como son el origen de las series de aportaciones, la longitud del periodo de simulación y el criterio de garantía empleado para considerar satisfechas las demandas. Los resultados obtenidos han sido analizados mediante el empleo de gráficos radiales, efectuándose un tratamiento estadístico de los resultados.

5.4 Futuras líneas de investigación

Como ya se ha adelantado en el apartado anterior, los avances realizados en este trabajo son también un punto de partida para el desarrollo de trabajos más detallados.

Desde el punto de vista del análisis de sistemas de recursos hídricos planteado para la cuenca del río Júcar, cabe la posibilidad de extender esta investigación en las siguientes líneas:

- El esquema resumen de trabajos previos para el cálculo de balances realizado en la cuenca del río Júcar (Figura 40) y que aquí se detalla contiene los principales parámetros identificados para el caso de estudio. Para la generalización a cualquier otra cuenca será necesaria una investigación previa que permita enriquecer esta tabla.
- Los cálculos realizados para estimar la demanda atendible en el Júcar demuestran que existe una gran variabilidad. Desde este punto de vista es necesario un planteamiento basado en criterios probabilísticos que permita obtener resultados estadísticamente justificados.
- Otro criterio a mejorar es el modo en que se consideran los posibles efectos del cambio climático, ya que éstos deben analizarse teniendo en cuenta el horizonte de planificación para el que se calculan y considerando también la incertidumbre asociada a este supuesto.
- Los índices utilizados en la Instrucción de Planificación Hidrológica (MARMA, 2008a) reflejan un comportamiento del sistema muy sensible a la serie de aportaciones utilizada. Sería deseable perfeccionar estos índices con el objetivo de relajar esta dependencia.
- También se ha comprobado que existe una gran dificultad en que los índices utilizados sean comprendidos por el público interesado y no especializado en las técnicas de análisis. Sería interesante realizar una propuesta de iniciativas que permita facilitar la transmisión de este tipo de información.

Desde el punto de vista de la integración de la diversidad de planteamientos sobre planificación de cuencas en el ámbito de la EU, se plantean las siguientes líneas:

- Atendiendo al origen de los recursos empleados (Figura 71), éstos requieren la puesta en marcha de diferentes infraestructuras de reutilización, desalación etc., por lo que es necesario hacer una equivalencia en términos económicos con el objetivo de contabilizar los costes asociados.
- Se considera fundamental trasladar a la legislación europea la propuesta de clasificación previa de las cuencas o sistemas, con el fin de aplicar diferentes metodologías que se adecuen a las características físicas y socioeconómicas de cada uno de los países miembros, de acuerdo con el objetivo de desarrollar un trabajo conjunto entre todas las políticas vinculadas con el uso del agua que establece Blueprint.
- Es necesario integrar en el planteamiento para la realización de los balances tanto la mejora de la calidad de las aguas continentales como los requerimientos hídricos de los ecosistemas.

Estos aspectos deben permitir a la UE tomar decisiones en materia de agua que permitan alcanzar los objetivos económicos, sociales y medioambientales perseguidos mediante una apropiada planificación y gestión de los recursos hídricos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andreu, J. (editor 1992). Conceptos y métodos para la planificación hidrológica. CIMNE. Barcelona

Andreu J., Capilla J. and Sanchis E. (1996), AquaTool, a generalized decision-support system for water resources planning and operational management, *Journal of Hydrology*, 177, 269-291.

AWDO (2013). Asian Water Development Outlook. Measuring Water Security in Asia and the Pacific

Bailarón (2000). Gestión de recursos Hídricos. Edicions UPC

Cabezas, F. (2012). Hidrología de superficie. Apuntes del Departamento de Ecología e Hidrología. Universidad de Murcia.

Chávez, A. (2012). Propuesta metodológica para la identificación de medidas de adaptación al cambio climático en sistema de recursos hídricos. Tesis Doctoral. ETS Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid.

CHJ (2013a). Esquema de temas importantes para la planificación hidrológica en la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Mayo 2013. Disponible en web: <http://www.chj.es/es-es/ciudadano/consultapublica/Paginas/ConsultapublicadelEsquemaprovisionaldeTemasImportantes.aspx> (consultado el 20/05/2013).

CHJ (2013b). Informes de seguimiento de indicadores de sequía. Confederación Hidrográfica del Júcar. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. <http://www.chj.es/es-es/medioambiente/gestionsequia/Paginas/InformesdeSeguimiento.aspx> (consultado el 12/02/2013).

De Lama, B. (2011). Metodología de evaluación e identificación de políticas de adaptación al cambio climático en la gestión de recursos hídricos. Tesis Doctoral. ETS Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid.

EC (2007). Mediterranean Wastewater Reuse Report. MEDITERRANEAN WASTEWATER REUSE WORKING GROUP. November 2007. <http://www.emwis.net/topics> (consultado el 14/04/2013).

EC and EEA (2011). European Commission and European Environment Agency. Water Information System for Europe. <http://water.europa.eu> (consultado el 14/04/2013)

EC (2012). European Commission. A Blueprint to Safeguard Europe's Water Resources, Brussels, COM (2012) 673 final

EEA (2010). The European environment — state and outlook 2010: synthesis. European Environment Agency.

Estrada, F. (1994). Garantía de los sistemas de explotación de los Recursos Hidráulicos. Centro de Estudios Hidrográficos. Madrid. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Gabinete de Formación y Documentación. 1994.

Estrela, T. (1992). Metodologías y recomendaciones para la evaluación de recursos hídricos. Centro de Estudios Hidrográficos. Madrid. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Gabinete de Formación y Documentación. 1992.

Estrela, T. (2006). La gestión de las sequías en España. Ingeniería y territorio. Revista del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Nº 74

EU (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy, Official Journal L 327, 22-12- 2000, Belgium.

Fernández, B. (1998). Sequías: caracterización y mitigación. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Recursos Hídricos.

FOMENTO (2013). Infraestructura de Datos Espaciales de España. Geoportal IDEE. Ministerio de Fomento. <http://www.idee.es/> (visto el 15/02/2013)

Gibbs, W. J. y J. V. Maher (1967). "Rainfall deciles as drought indicators", Bull. 48, 37 pp., Aust. Bur. Of Meteorol., Melbourne, Aust.

Herrera, Gutiérrez, Ancell, Pons, Frías, Fernández (2012). Development and analysis of a 50-year high-resolution daily gridded precipitation data set over Spain (Spain02). International Journal of Climatology. Volume 32, Issue 1, pages 74-85. January 2012.

Hoekstra, A. Y. (2003). Virtual water trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, UNESCO-IHE Delft, Netherlands.

IGME-DGA (2011). Trabajos de la Actividad 4 "Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descargas por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico". Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Demarcación Hidrográfica del Júcar. Instituto Geológico y Minero de España (Ministerio de Ciencia e Innovación) y Dirección General del Agua (Ministerio de Medio y Medio Rural y Marino). Febrero 2011.

Lorenz (1999). Indicators for sustainable management of rivers. PhD thesis. Vrije Universiteit, Amsterdam

MAEC (2008). Protocolo de revisión del Convenio sobre cooperación para la protección y el aprovechamiento sostenible de las aguas de las cuencas hidrográficas hispano-portuguesas y el Protocolo adicional, suscrito en Albufeira el 30 de noviembre de 1998, hecho en Madrid y Lisboa el 4 de abril de 2008.

McKee et al (1993). "The relationship of drought frequency and duration to times scales". Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, California, American Meteorological Society, 179-184.

MAGRAMA (2012a). Estudio de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos y las masas de agua. Efecto del cambio climático en los recursos hídricos disponibles en los sistemas de explotación. Madrid. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Clave CEDEX: 43-308-5-001

MAGRAMA (2012b). Observatorio Nacional de la sequía. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. <http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/observatorio-nacional-de-la-sequia/> (consultado el 07/12/2012)

MAGRAMA (2012c). Monográficos HISPAGUA “La sequía en España”. <http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/especiales/sequia/index.htm> (consultado el 07/12/2012)

MMA (2007). Orden MAM/698/2007, de 21 de marzo, por la que se aprueban los planes especiales de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía en los ámbitos de los planes hidrológicos de cuencas intercomunitarias. Ministerio de Medio Ambiente.

MARMA (2008a). Instrucción de Planificación Hidrológica. ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.

MARMA (2008b). Libro Digital del Agua. Sistema Integrado de Información del Agua. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. <http://servicios2.marm.es/sia/visualizacion/lda/> (consultado el 15/02/2013)

MARMA (2008c). Sistema de Indicadores del Agua. Sistema Integrado de Información del Agua. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. <http://servicios2.marm.es/sia/indicadores/home.jsp> (consultado el 14/04/2013)

MARMA (2010). Memoria 2010. Confederación Hidrográfica del Júcar. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Martín-Carrasco, Garrote, Madeiro (2007). Drought-induced water scarcity in water resources systems. Extreme hydrological events: new concepts for security. NATO Science Series. IV: Earth and Environmental Sciences. Holland.

MIMAM (2000a). Libro blanco del agua en España. Ministerio de Medio Ambiente.

MIMAM (2000b). Tres casos de Planificación Hidrológica. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid

MMA (1999). Orden de 13 de agosto de 1999 por la que se dispone la publicación de las determinaciones de contenido normativo del Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro, aprobado por el RD1664/1998 de 24 de julio. Ministerio de Medio Ambiente.

MMA (1999). Orden de 6 de septiembre de 1999 por la que se dispone la publicación de las determinaciones de contenido normativo del Plan Hidrológico de Cuenca Sur, aprobado por el RD1664/1998 de 24 de julio. Ministerio de Medio Ambiente.

MMA (2001). Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional. Madrid. Ministerio de Medio Ambiente.

MMA y USUJ (2001). Convenio del embalse de Alarcón para la gestión optimizada y unitaria del sistema hidráulico Júcar (Alarcón-Contreras-Tous). Ministerio de Medio Ambiente y Unidad Sindical de Usuarios del Júcar. Febrero 2001.

Molden, D. (1997), Accounting for Water Use and Productivity, SWIM Paper 1, International Water Management Institute, Sri Lanka.

Momblanch, A. (2011). Estudio de la estandarización de la contabilidad del agua. Aplicación al Sistema de Recursos Hídricos del río Júcar. Proyecto Final de Carrera. ETS Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universitat Politècnica de València.

MOPT (1992). Orden de 24 de septiembre de 1992 por la que se aprueban las instrucciones y recomendaciones técnicas complementarias para la elaboración de los planes hidrológicos de cuencas intercomunitarias. Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

Palmer (1965). "Meteorological drought". Documento de investigación nº 45, Oficina Meteorológica del Departamento de Comercio, Washington, D.C.

Pérez, M. A. (2005). Modelo distribuido de simulación del ciclo hidrológico con calidad de aguas integrado en sistemas de información geográfica para grandes cuencas. Aportación al análisis de presiones e impactos de la Directiva Marco del Agua. Tesis doctoral. ETS Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universitat Politècnica de València.

RPH (2007). Reglamento de planificación hidrológica (RD 907/2007 de 6 de julio de 2007 por el que se aprueba el Reglamento de Planificación Hidrológica).

Sánchez-Quispe S.T., Andreu, J. y Solera, A. (2001). Gestión de recursos hídricos con decisiones basadas en estimación del riesgo. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Ref.: 2001.4121

Sahuquillo, A. (1983). An eigenvalue numerical technique for solving unsteady groundwater continuously in time. *Water Resources Research*, 19(1), 87-93.

Villalobos, A. A. (2007). Análisis y seguimiento de distintos tipos de sequía en la cuenca del río Júcar. Tesis Doctoral. ETS Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Valencia.

LISTADO DE ABREVIATURAS

AHP	Potencial Agro-Hidrológico
ATS	Acueducto Tajo-Segura
AWDO	Asian Water Development Outlook
CEDEX	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
CHJ	Confederación Hidrográfica del Júcar
CMI	Indicador de la Humedad del Cultivo
DHJ	Demarcación Hidrográfica del Júcar
DMA	Directiva Marco del Agua
EC	European Comission
EEA	European Environment Agency
ETI	Esquema de Temas Importantes
ETP	Evapotranspiración
EU	European Union
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
INE	Instituto Nacional de Estadística
IDE	Infraestructura de Datos Espaciales
IPH	Instrucción de Planificación Hidrológica
IPOC	Índice Ponderado de Comportamiento
IRS	Índice de Riesgo de Sequía
ISAS/SWSI	Índice de suministro de agua superficial
LBA	Libro blanco del agua en España
LDA	Libro Digital del Agua

NAMWA	Matriz de Contabilidad Nacional Incluyendo las Cuentas del Agua
NWSI	National Water Security Index
ONS	Observatorio Nacional de la Sequía
P	Precipitación
PDSI	Índice de la severidad de la sequía de Palmer
PES	Plan Especial ante Situaciones de Alerta y Eventual Sequía
PHC	Plan Hidrológico de cuenca
PHN	Plan Hidrológico Nacional
PPN	Porcentaje de Precipitación Normal
RDI	Indicador USBR de la Sequía
RPH	Reglamento de Planificación Hidrológica
SCS	Soil Conservation Service
S.E.	Sistema de Explotación
SEEAW	Sistema Integrado de Contabilidad Ambiental y Económica del Agua
SIA	Sistema de Información del Agua
SPI	Índice de precipitación estandarizada
SRH	Sistemas de Recursos Hídricos
TRLA	Texto Refundido de la Ley de Aguas
UE	Unión Europea
USBR	United States Bureau of Reclamation
USUJ	Unión Sindical de Usuarios del Júcar
WA IWMI	Contabilidad del Agua del Instituto Internacional de Gestión del Agua
WEI	Water Explotation Index
WISE	Sistema Europeo de Información sobre el Agua

ANEXOS

Índice general de los Anexos

I.	Modelo de simulación	1
I.1	Descripción general del modelo	1
I.1.1	Tramos de río.....	3
I.1.2	Embalses.....	16
I.1.3	Acuíferos.....	20
I.1.4	Aportaciones en el modelo	22
I.1.5	Demandas.....	24
I.1.6	Caudales ecológicos	28
I.1.7	Prioridades y reglas de gestión.....	29
I.2	Análisis del sistema.....	32
I.3	Resumen y conclusiones	35
II.	Series sintéticas	37
II.1	Análisis de las series obtenidas por restitución al régimen natural.....	37
II.2	Serie larga (1940/41-2008/09)	49
II.2.1	Estadísticos básicos	49
II.2.2	Normalización de las series	50
II.2.3	Ajuste en series de Fourier.....	52
II.2.4	Tipificación de las series y correlaciones.....	53
II.2.5	Modelo tipo AR(1)	56
II.3	Serie corta (1980/81-2008/09).....	57
II.3.1	Estadísticos básicos	57
II.3.2	Normalización de las series	59
II.3.3	Ajuste en series de Fourier.....	60
II.3.4	Tipificación de las series y correlaciones.....	61
II.3.5	Modelo tipo AR(1)	63

Anexo I

I. Modelo de simulación

El modelo de simulación del sistema de recursos hídricos de la cuenca del río Júcar ha sido desarrollado con el programa SIMGES perteneciente al SSD AQUATOOL desarrollado por la Universidad Politècnica de València (Andreu et al. 1993). Este modelo reproduce adecuadamente el funcionamiento del sistema, ha sido validado y está siendo utilizado actualmente en la CHJ para la toma de decisiones en la gestión de los recursos hídricos de la cuenca. En la Figura 1 se presenta el esquema utilizado para la modelación del sistema, en dicha figura se puede observar la compleja interacción entre todos los elementos del sistema de recursos hídricos.

I.1 Descripción general del modelo

Como puede verse en el esquema conceptual del sistema reflejado en la Figura 1, para la modelación del sistema se han tenido en cuenta todos los elementos que tienen un papel importante en la gestión de los recursos de la cuenca, por eso se han modelado los principales embalses de regulación (Alarcón, Contreras, y Tous) que, además de su capacidad laminadora, se encargan de almacenar el agua que se destinará al consumo de ciudades y cultivos. Se ha modelado, además, el sistema de embalses de Cortes, Naranjero y La Muela, que tienen una gran importancia para el sistema debido al aprovechamiento de los saltos para la producción hidroeléctrica y sirven de refrigeración para la central nuclear de Cofrentes, cuyo consumo de agua para dicha refrigeración también se ha considerado en el modelo.

También se han representado los principales acuíferos (La Mancha Oriental y La Plana de Valencia Sur) de los que se extraen recursos para satisfacer las demandas. Se han incluido las principales demandas de abastecimiento y regadío que consumen recursos del sistema superficial y parte del subterráneo, además de otras demandas, como la ya mencionada refrigeración de la central nuclear de Cofrentes. Se ha considerado, parcialmente, el subsistema de la Albufera, mediante la inclusión de un acuífero que recoge los retornos de las demandas adyacentes y sus rebombes.

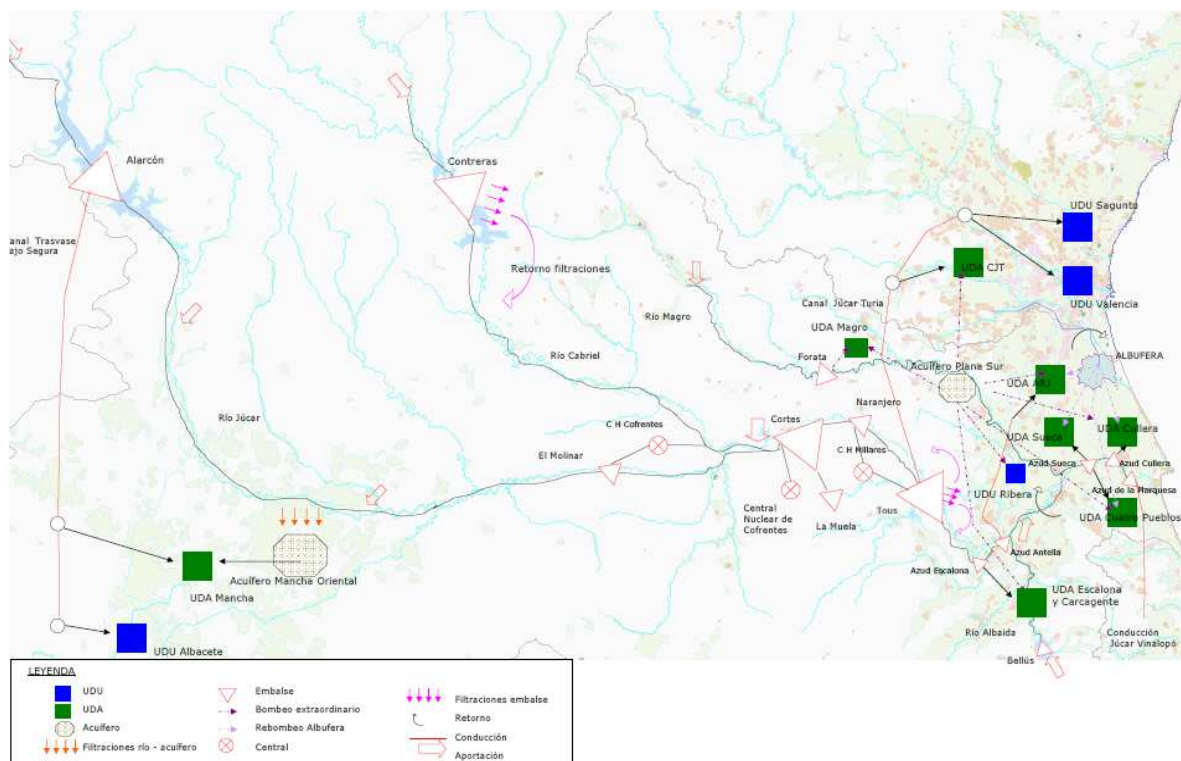


Figura 1. Esquema conceptual del sistema Júcar

A partir del esquema conceptual de la Figura 1, se desarrolla el modelo de simulación, que se muestra en la Figura 2. En los siguientes apartados se describen detalladamente los elementos representados en dicho esquema.

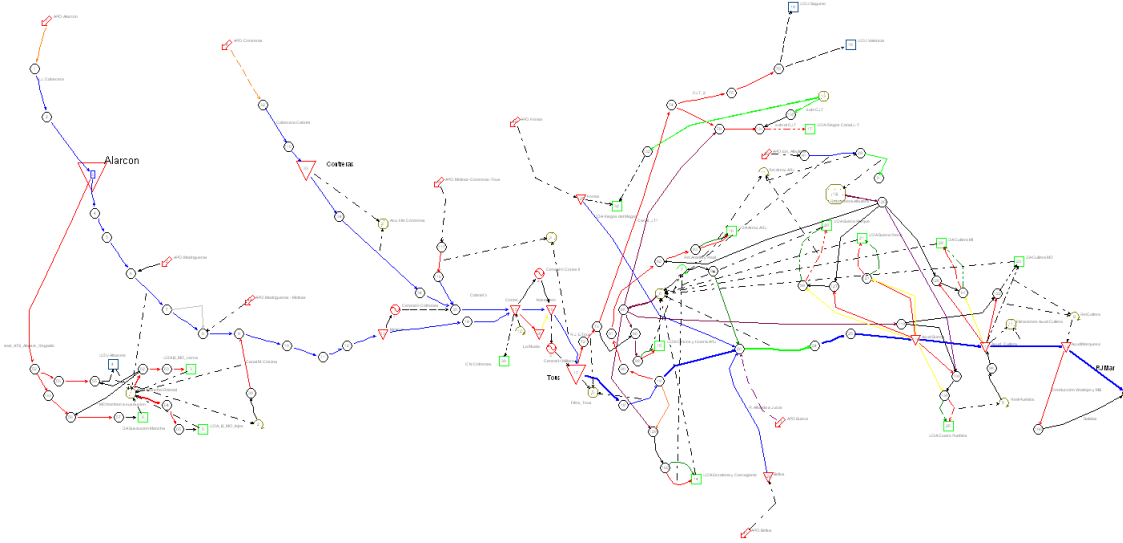


Figura 2. Esquema del modelo del Sistema de Explotación Júcar.

I.1.1 Tramos de río

Como puede verse en el esquema del modelo de simulación de la Figura 2 en el modelo se han representado los cauces principales de los ríos Júcar, Cabriel, Albaida y Magro. El resto de masas del sistema se encuentran englobadas en las aportaciones del sistema. En la Figura 3 se observan las masas superficiales del sistema Júcar.

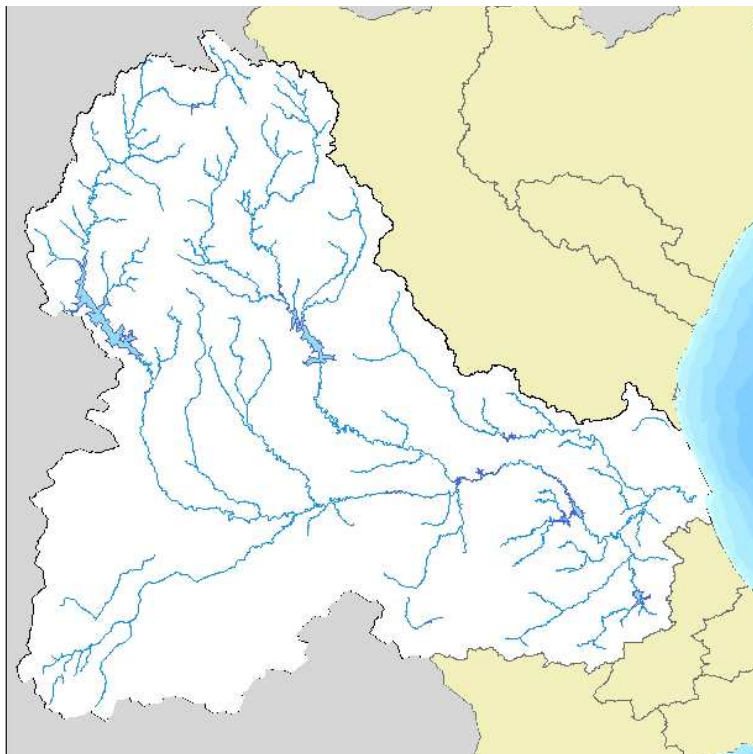


Figura 3. Masas superficiales del Sistema de Explotación Júcar.

Siguiendo la dirección de flujo del río desde aguas arriba el primer elemento del modelo es el elemento aportación "APO. Alarcón" que representa la aportación de agua de la cuenca del río Júcar aguas arriba del embalse de Alarcón. Este primer tramo, modelado mediante dos conducciones dispuestas en serie, "R. J.: Cabecera" y "R. J.: Huécar-E. Alarcón" sirve para modelar el tramo de río aguas arriba del embalse de Alarcón. Dicho embalse ha sido modelado con el elemento tipo embalse "Alarcón". De este embalse parte una conducción del tipo 1, denominado "Canal_ATS_Abaste_Regadío" que representa la parte de canal del trasvase ATS a partir del embalse de Alarcón.

Finalmente, del embalse de Alarcón parte otra conducción tipo 1 que representa el río Júcar aguas abajo de Alarcón hasta el embalse de El Picazo, esta conducción se denomina "R. J.: Az. Henschideros-E. Picazo". Desde el nudo 4, parte una conducción tipo 1 hasta la zona de Fuensanta, a esta conducción se le denomina "R. J.: E. Picazo- Ctra. Fuensanta".

La siguiente conducción tipo 1 "R. J.: Ctra. Fuensanta-Los Guardas" representa el río Júcar aguas abajo de Fuensanta. En el nudo final de esta conducción se incorpora el elemento de aportación "APO. Madrigueras" que representa el 80% de la aportación en régimen natural de la cuenca entre el embalse de Alarcón y el de Molinar.

Partiendo del mismo nudo la conducción tipo 3 "R. J.: Los Guardas-Los Frailes" permite modelar el tramo del río Júcar conectado con el acuífero de La Mancha Oriental hasta la estación de aforos Los Frailes. Aguas abajo, las conducciones tipo 1 "R. J.: Los Frailes-Río Valdemembra Qmin" y "R. J.: Los Frailes-Río Valdemembra RO" permiten modelar el río Júcar hasta la incorporación de la aportación "APO. Madrigueras-Molinar" que representa el otro 20% de la aportación en régimen natural de la cuenca entre el embalse de Alarcón y el de Molinar. Este mismo tramo de río se ha representado mediante dos conducciones; en la primera de ellas $Q_{min}=Q_{max}$, de esta forma al embalse de Molinar llegará este caudal ecológico junto con la aportación "APO. Madrigueras-Molinar"; en la segunda se ha añadido una regla de operación que anula el caudal circulante cuando Alarcón se encuentra con un volumen inferior a los 75 hm^3 .

Tras la incorporación de "APO. Madrigueras-Molinar" desde el nudo 8 parte la conducción tipo 1 "R. J.: Río Valdemembra- Canal M. Cristina", hasta el nudo 9 donde se

incorpora el retorno de la EDAR de Albacete. Desde este punto hasta el embalse de El Molinar el río se ha dividido en cuatro tramos: “R. J.: Ayo. Ledaña”, “R. J.: Alcalá del Júcar”, “R. J.: Az. Medidor del Bosque”, “R. J.: E. Molinar”.

El embalse de El Molinar ha sido modelado mediante el nudo-azud “El Molinar” debido a que la función del mismo no es reguladora.

Del nudo 52, nudo final de la conducción tipo 1 “Canal-ATS-Abaste_Regadío” parten dos conducciones tipo 1 que permiten modelar tanto el suministro a la ciudad de Albacete como los riegos de la zona del acuífero de la Mancha Oriental.

Del nudo 25 parte una conducción del tipo1, “C1-48”, que junto con la conducción tipo 1 “Albacete directo” permite modelar el suministro de la demanda de agua de la ciudad de Albacete considerado en el modelo con el elemento de demanda “UDU Albacete”. Los retornos de la ciudad de Albacete vuelven al río Júcar mediante el elemento de retorno “Ret_Albecete” y la conducción del tipo 1 “Canal_M_Cristina” la cual representa el canal de María Cristina.

Del mismo nudo 25 parte la conducción de tipo 1 “Superf_SustituMancha” que junto con las conducciones de tipo 1 “Regadío_SustituMancha” representa la infraestructura de suministro superficial de los riegos de la zona del acuífero de La Mancha Oriental. Estos riegos se han considerado mediante la demanda “DA Sustitución Mancha”.

Se ha modelado además el acuífero de la Mancha Oriental como un acuífero tipo pluricelular de dos celdas, que además está conectado hidráulicamente con el río Júcar mediante la conducción del tipo 3 “R. J.: Los Guardas-Los Frailes” previamente descrita. Del “Acu. Mancha Oriental” parten dos bombeos adicionales: el primero de ellos denominado “B_MO_cerca_rio” llega hasta el nudo 62, del que parten a su vez tres conducciones tipo 1. Estas conducciones son “C1-56”, que suministra a la demanda “UDA B_MO_cerca”; “Subterráneo Albacete”, que se corresponde con el suministro subterráneo que complementa el abastecimiento a la ciudad de Albacete; y la conducción “MO bombeo a sustitución” que lleva el agua de origen subterráneo a la demanda “DA Sustitución Mancha”.

El segundo elemento bombeo adicional denominado “Bomb_Mancha_lejos” representa los bombeos para la “UDA_B_MO_lejos”.

Río Júcar entre los embalses de Molinar y Tous y el río Cabriel

En este apartado se muestra la parte del modelo que representa la cuenca del río Júcar entre los embalses de Molinar y Tous y la cuenca del afluente principal del río Júcar, el río Cabriel. En la Figura 5 se presenta el esquema de la zona mencionada.

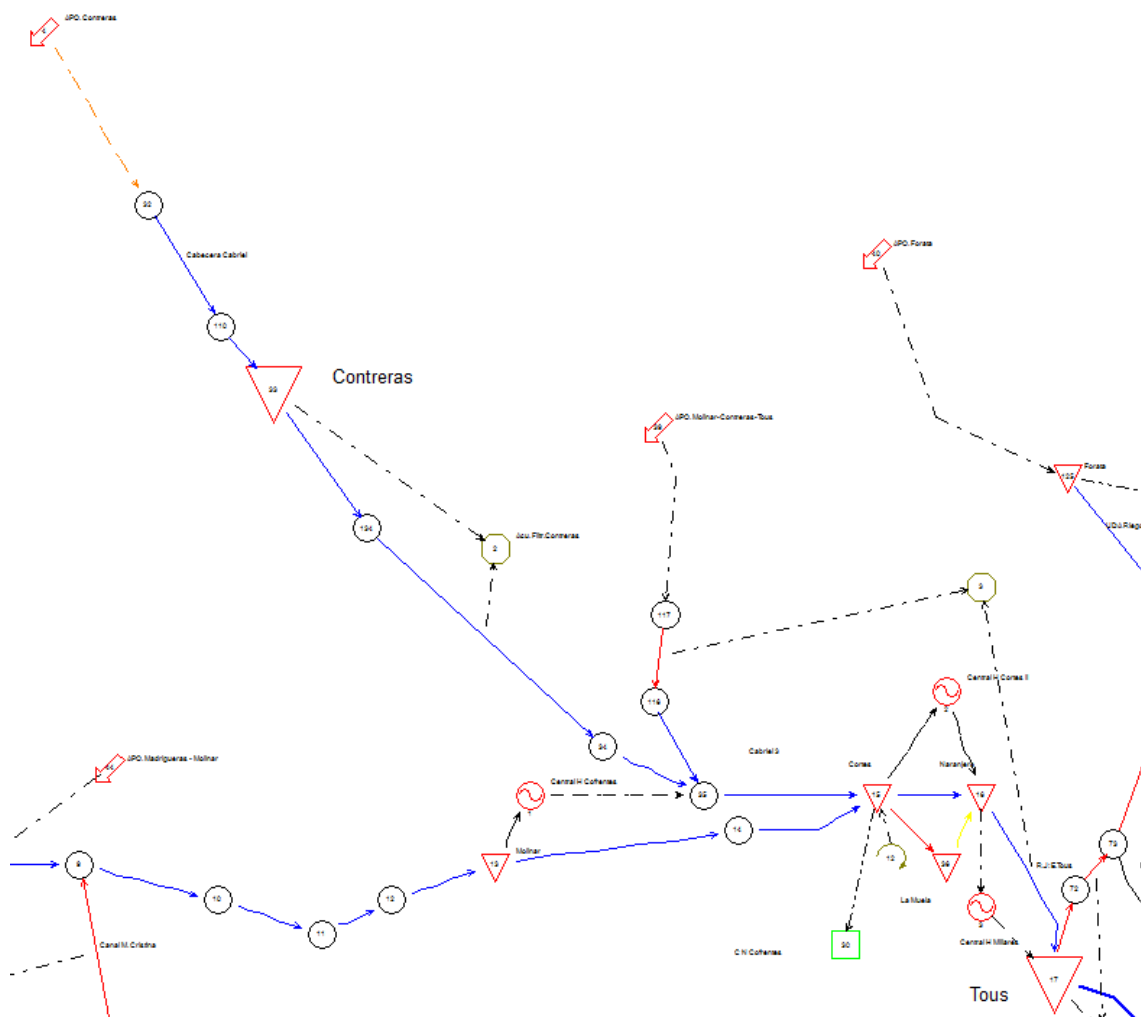


Figura 5. Modelo de simulación río Júcar entre los embalses de Molinar y Tous y el río Cabriel

Los embalses presentes en la zona media de la cuenca: Molinar, Cortés y Naranjero tiene un uso hidroeléctrico, por lo tanto no se consideran entre los embalses de regulación para abastecimiento.

Del embalse de Molinar parte la conducción de tipo 1 “R. J.: Aguas abajo Molinar” y “R. J.: E. Cortes” que representa el río Júcar entre el embalse de Molinar y la confluencia entre los ríos Júcar y Cabriel en el embalse de Cortes II.

En la otra parte del grafo el elemento de aportación “APO. Contreras” representa la aportación de la cuenca del río Cabriel aguas arriba del embalse de Contreras. Las conducciones de tipo 1 “Cabecera Cabriel” y “Cabriel: E. Buijoso-E. Contreras” permiten modelar el río Cabriel aguas arriba del embalse de Contreras.

Dicho embalse ha sido modelado mediante el elemento embalse denominado “Contreras”. Del mismo parte una conducción del tipo 1, “Cabriel salidas” que permite modelar el tramo del río Cabriel aguas abajo del embalse de Contreras. Partiendo del nudo final de esta conducción parte la conducción del tipo 3 “Cabriel filtraciones” a la cual le llegan las aguas del acuífero “Acu. Filtr. Contreras” sobre el que se producen las filtraciones del embalse de Contreras. De esta forma las filtraciones del embalse pasan al acuífero y desfasadas temporalmente al río en la conducción “Cabriel filtraciones”. Desde el nudo 34 parte una conducción tipo 1 denominada “Cabriel 2” que termina en el nudo 35 donde se incorpora el retorno de la Central Hidroeléctrica de Cofrentes, cuya toma se localiza en el embalse de El Molinar. Del nudo 35 parte la conducción tipo 1 “Cabriel 3” que termina en la confluencia entre los ríos Júcar y Cabriel en el embalse de Cortes II.

En este nudo 35 también se incorpora la aportación “APO. Molinar-Contreras-Tous” que representa la aportación de la subcuenca entre los embalses de Molinar, Contreras y el de Tous. Esta aportación llega al nudo 117 del que parte una conducción tipo 2 denominada “cf.reparto apo confluencia” en la que se infiltra el 40% de la aportación y recarga el acuífero unicelular “Ficticio reparto apo Tous”. Este 60% de la aportación llega al nudo 116 que conecta con el nudo 35 con la conducción “c. apo confluencia”.

En el elemento embalse “Cortes” se materializa la confluencia de ambos ríos, Júcar y Cabriel, de él parte la toma para la demanda industrial de la central nuclear de Cofrentes representada mediante el elemento demanda “CN Cofrentes”, y en el mismo elemento embalse se ubica su retorno “CN Cofrentes”. Desde este mismo embalse parte una conducción que termina en el elemento embalse de “La Muela”. También del elemento

embalse “Cortes” parte una conducción del tipo 1, “R. J.: Naranjero” que finaliza en el elemento embalse denominado “Naranjero” junto con el retorno de la central hidroeléctrica de Cortes II. Al embalse “Naranjero” le llega una conducción ficticia desde el embalse de La Muela de Cortes con la única finalidad de cerrar el circuito. Desde el embalse del Naranjero parte la toma de la central hidroeléctrica de Millares que retorna en el embalse de Tous.

Del embalse de “Naranjero” parte una conducción del tipo 3, de nombre “R.J.: E. Tous”, que finaliza en el elemento del tipo embalse “Tous” representativo del embalse de Tous. Esta conducción tipo 3 junto con el acuífero tipo unicelular “Ficticio reparto apo Tous” permite incorporar en ese tramo el resto de la aportación “APO. Molinar-Contreras- Tous”.

Río Júcar aguas abajo del embalse de Tous

En este apartado se describe la parte del modelo de simulación desarrollado en la parte baja de la cuenca, concretamente entre el embalse de Tous y la desembocadura. La Figura 6 se muestra el esquema de esta parte del modelo.

Por otro lado la conducción de tipo 1 “Abastecimiento_Val_Sag” con origen en el nudo final de la conducción “CJT-2” permite abastecer a las demandas “UDU Valencia” y “UDU Sagunto” representativas de los abastecimientos urbanos de las ciudades con el mismo nombre.

Las entradas a la Albufera

Para considerar las entradas naturales al lago de La Albufera se ha considerado en el modelo el elemento de aportación “APO. Ent_Albufera”. Partiendo del nudo donde se ubica esta aportación parte una conducción del tipo 3 “Ent Albuf” (91-29). Esta conducción permite conectar el acuífero “AcuRetReal” con las entradas a La Albufera. Con esto se incluyen en las entradas el 75% de los retornos de riego.

Posteriormente el elemento de conducción tipo 3 “RebombeosAlbufera” (29-0) permite recoger las aportaciones del acuífero “RebombeosAlbufera” al lago de La Albufera. El nudo final de esta conducción, nudo 0, representa el lago de La Albufera.

El curso principal del río

Partiendo del embalse de Tous la conducción de tipo 1, “R.J.: Az Escalona” (17-18), representa el río Júcar aguas abajo del embalse de Tous. La siguiente conducción “Júcar retorno filtrac. Tous” (18-19), de tipo 3, representa el río Júcar hasta el azud de Antella, de donde parten las conducciones “Toma_Esca_Carca” (19-129) y “Aceq_Real_1” (19-80) para las tomas de la “UDA Escalona y Carcagente” y “UDA Arroz ARJ”.

La conducción del tipo 1 “R.J.: Rio Sellent” (19-20) permite modelar el río Júcar entre el azud de Antella y el de Huerto Mulet. En este nudo 20, se incorpora la aportación “APO Sueca”, el retorno “Ret Antella y Real”, así como las conducciones “R. Albaida a Jucar” y “R. Magro a Jucar” que representan los ríos Albaida y Magro respectivamente. Del azud de Huerto Mulet, nudo 20, parte una conducción del tipo 3 “RJ Intermedia” conectada hidráulicamente con el acuífero “AcuRetReal” y que recoge el 25% de las filtraciones de los riegos de la Ribera.

A continuación de la conducción de tipo 3 “RJ Intermedia” le sigue la conducción tipo 1 “R.J.: Albalat de la Ribera” y “R.J.: Az. Sueca” representando mediante estas tres conducciones el tramo del río Júcar entre los azudes de Huerto Mulet y de Sueca.

Desde el elemento nudo-embalse 114 “Azud Sueca” parten 6 conducciones para el suministro de “UDA Sueca Parque”, “UDA Sueca Resto” y “UDA Cuatro Pueblos”. Cada una de estas demandas utiliza dos conducciones para distinguir la demanda invernal, de la demanda durante la campaña de riego.

Desde el elemento nudo-embalse 114 “Azud Sueca” parte la conducción “R.J.: AzudCullera” (114-111) que permite modelar el río Júcar entre los azudes de Sueca y el de Cullera. A este nudo se incorpora el retorno de la “UDA Cuatro Pueblos” denominado “Ret4Pueblos”, y desde este nudo-embalse “Azud Cullera” parten 4 conducciones para el suministro de “DA Cullera MI” y “DA Cullera MD”. Cada una de estas demandas utiliza dos conducciones para distinguir la demanda invernal, de la demanda durante la campaña de riego.

Desde el nudo-embalse “Azud Cullera” parte la conducción de tipo 3 “R. J.: azud Marquesa” (111-112) que representa el cauce principal del río Júcar entre los azudes de Cullera y el de La Marquesa. Desde el nudo-embalse “AzudMarquesa” parte la conducción tipo 1 “Conducción Vinalopó y MB” que representa el trasvase del Júcar-Vinalopó.

Finalmente el tramo final del Júcar entre el azud de La Marquesa y el mar queda representado en el modelo mediante la conducción de tipo 1 “RJMar” (112-Final).

Las acequias superiores

Los riegos de la margen derecha de la Ribera Alta, los riegos de las acequias de Escalona y Carcagente, se han modelado con el elemento de demanda “UDA Escalona y Carcagente”. La extracción de agua del río se realiza en el nudo “19” mediante la conducción de tipo 1 “Toma_Esca_Carca” (19-129).

Se han considerado dos tomas para suministrar la demanda. De este modo se distingue el consumo neto (toma “Consumo_net0 2”) y los retornos superficiales y subterráneos

(toma "retornos Esc superf"). Para considerar los retornos superficiales se ha considerado el elemento de retorno "Ret Antella y Real" y la conducción de tipo 1 "Ret RA superficial" (94-20). Para tener en cuenta los retornos subterráneos se han considerado el elemento acuífero "AcuRetReal". Este acuífero, de tipo unicelular, está vinculado con la demanda "UDA Escalona y Carcagente" y con la conducción de tipo 3 "RJ Intermedia" que los devuelve posteriormente al río Júcar.

Los riegos de la margen izquierda de la Ribera Alta han sido modelados con dos elementos del tipo demanda: "UDA Cítricos y Huerta ARJ" y "UDA Arroz ARJ". La primera de ellas representa la parte de los riegos de la Acequia Real que son cítricos y huerta. La segunda demanda representa la parte de riegos de la Acequia Real que se corresponde con el cultivo del arroz.

La Acequia Real del Júcar está modelada mediante cuatro conducciones tipo 1: "Aceq_Real_1", "Aceq_Real_2", "Aceq_Real_3" y "Total ARJ Arroz". Se han considerado dos tomas para suministrar la demanda "UDA Arroz ARJ". De este modo se distingue el consumo neto (toma "Consumo arroz ARJ") y los retornos superficiales (toma "retornos arroz ARJ"). Estos retornos superficiales llegan a la Albufera mediante el elemento retorno "Ret Arroz ARJ".

El suministro a la demanda "UDA Cítricos y Huerta ARJ" se realiza desde el Canal Júcar-Turia. Del nudo 73 parte una conducción denominada "CJT a Modernización ARJ" (73-86) que representa el suministro superficial de la demanda. Por otra parte el suministro subterráneo se realiza mediante la conducción "pozos Ribera" (85-86) que permite el suministro desde el acuífero "AcuRetReal" mediante el bombeo adicional "Pozos_Seq_1".

Al igual que en la otra demanda se han considerado dos tomas para suministrar la demanda. De este modo se distingue el consumo neto (toma "Consumo huerta ARJ") y los retornos superficiales y subterráneos (toma "retornos huerta ARJ"). Para considerar los retornos superficiales se ha considerado el elemento de retorno "Ret Antella y Real" y para tener en cuenta los retornos subterráneos se han considerado el elemento acuífero "AcuRetReal", igual que para la demanda "UDA Escalona y Carcagente".

Las acequias Inferiores

Los riegos de la margen derecha de la Ribera Baja han sido modelados mediante el elemento demanda “UDA Cuatro Pueblos”. Para poder suministrarlos se han creado dos conducciones tipo 1 “Aceq_4_Pueblos” e “inv 4 Pueblos” que toma el agua del nudo 114. Estas dos conducciones vienen a representar el suministro superficial durante la campaña de riegos, así como los suministros invernales. También puede llegarle agua mediante rebombeo desde la Albufera o de suministro subterráneo desde las conducciones “Rebombeo 4Pueblos” y “Pozos a 4pueblos”.

Al igual que en otras demandas se han considerado dos tomas para suministrar la demanda. De este modo se distingue el consumo neto (toma “T 4Pueblos neto”) y los retornos superficiales (toma “T 4Pueblos retornos”). Para considerar los retornos superficiales se ha considerado el elemento de retorno “Ret4Pueblos” localizado en el elemento nudo-embalse “Azud Cullera”.

Los riegos de la acequia de Sueca, margen izquierda, se consideran mediante dos elementos demanda: “UDA Sueca Parque” y “UDA Sueca Resto” que distinguen los riegos de Sueca localizados en el Parque Natural de la Albufera de los localizados fuera de éste.

La “UDA Sueca Parque” cuenta con dos fuentes de suministro, una desde el río Júcar, mediante dos conducciones tipo 1 “Aceq_Sueca_arroz” e “Inv Sueca arroz”, y la segunda mediante rebombes del lago de la Albufera con la conducción “rebombeo Sueca”. Los retornos superficiales llegan al lago de la Albufera mediante el elemento retorno “Ret Arroz ARJ”.

La “UDA Sueca Resto” tiene su toma en el Azud de Sueca, mediante dos conducciones tipo 1 “Aceq_Sueca_resto” e “Inv Sueca Resto”. Los retornos son subterráneos y alimentan el acuífero “AcuRetReal”.

Los riegos de la acequia de Cullera, se han modelado mediante dos demandas “DA Cullera MI” y “DA Cullera MD”. La “DA Cullera MI” cuenta con dos fuentes de suministro, una desde el río Júcar, mediante dos conducciones tipo 1 “Acq_Cullera_arroz” e “Inv Cullera arroz” que parten del nudo-embalse “Azud Cullera”, y la segunda fuente de suministro

proviene de los rebombes del lago de la Albufera a través de la conducción “rebombes a Cullera”. Los retornos son subterráneos y alimentan el acuífero “AcuRetReal”.

La “DA Cullera MD” tiene su toma en el Azud de Cullera, mediante una única conducción tipo 1 “AC Cullera resto” y una toma desde el río “Inv Cullera Cítricos”. Los retornos superficiales llegan al Azud de la Marquesa mediante el elemento retorno “RetCullera” y los subterráneos alimentan el acuífero “AcuRetReal”.

En la Figura 7 se tiene las relaciones río – acuífero correspondientes al sistema Júcar. En la cabecera de los ríos Júcar y Cabriel se concentran los tramos ganadores, mientras que existe un tramo perdedor en el entorno del acuífero de la Mancha Oriental, justo aguas abajo del embalse de Alarcón y en el río Valdemembra desde Motilla del Palancar hasta el río Júcar. Existen otros tramos perdedores que se ubican en el tramo final del río Magro, el Río Lezuza y el tramo entre el Azud de Antella y el río Sellent. También se tienen varios tramos con relación río – acuífero variable, como son el río Júcar entre la confluencia con el río Valdemembra y Alcalá del Júcar; entre la confluencia con el río Sellent y la Rambla Casella; inmediatamente aguas abajo del E. de Forata; así como aguas abajo del azud de Sueca (IGME – DGA, 2010).

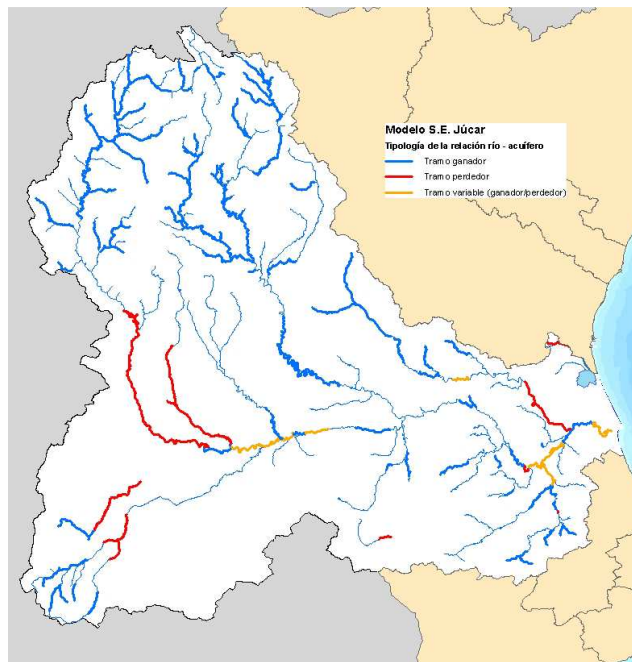


Figura 7. Tipología de la relación río – acuífero en el sistema de explotación Júcar.

I.1.2 Embalses

En el modelo de simulación se han incluido los principales embalses del sistema, que se encuentran representados en la Figura 8. Los embalses de Alarcón, Contreras y Tous son los principales embalses del sistema, para ellos, y también para los embalses de Forata y Bellús, los volúmenes iniciales considerados se corresponden con los volúmenes en el mes de septiembre de 1980 obtenidos al simular la serie histórica 1940-2008.

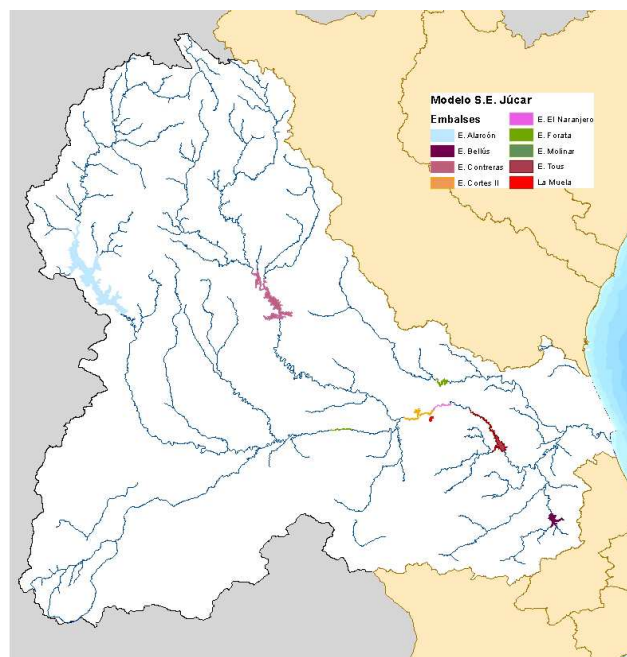


Figura 8. Embalses incluidos en el modelo del sistema de explotación Júcar

Todos ellos se encuentran representados en el modelo con las siguientes características:

Las características del embalse de Alarcón son:

- Volumen inicial: 1068,2 hm³
- Caudal máximo de sueltas: 500 hm³/mes

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Volumen máximo	1118	1118	1118	1118	1118	1118	1118	1118	1118	1118	1118	1118
Volumen objetivo	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
Volumen mínimo	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

Tabla 1. Datos de volúmenes del embalse de Alarcón introducidos en el modelo (hm³)

Cota (m)	Superficie (ha)	Volumen (hm ³)
0,1	0,1	0,1
784,24	2172,57	101
788,88	2855,81	171
792,47	3467,28	440
795,45	4030,37	550
798,01	4557,69	660
800,2	5057,01	770
802,29	5533,54	880
804,13	5991,02	990
806	6479,44	1112

Tabla 2. Datos de cota-superficie-volumen del embalse de Alarcón introducidos en el modelo

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Total (mm/año)
Evaporación	83,9	42,2	22,9	30,4	40	93,9	99,2	142,2	209,5	261,7	237,9	154	1417,8

Tabla 3. Datos de evaporación del embalse de Alarcón introducidos en el modelo (mm)

Las características del embalse de Contreras son:

- Volumen inicial: 329,51 hm³
- Caudal máximo de sueltas: 500 hm³/mes
- Ley de filtraciones
 - o En el vaso del embalse de producen unas filtraciones que recargan el acuífero “Acu Filtr Contreras”. Estas filtraciones se reproducen mediante la ecuación:

$$F = a + b V^c = 3 + 0,00005 V^{1,95}$$

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept
Volumen máximo	400	390	390	390	390	390	390	400	444	444	430	420
Volumen objetivo	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
Volumen mínimo	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Tabla 4. Datos de volúmenes del embalse de Contreras introducidos en el modelo (hm³)

Cota (m)	Superficie (ha)	Volumen (hm ³)
606,72	0,1	0,1
629,44	944,36	180
637,84	1227,33	270
644,66	1478,16	360
650,26	1707,51	450
655,04	1921,09	540
659,27	2122,37	630
663,1	2313,7	720
666,26	2476,77	800

Cota (m)	Superficie (ha)	Volumen (hm ³)
668,99	2622,53	874

Tabla 5. Datos de cota-superficie-volumen del embalse de Contreras introducidos en el modelo

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Total (mm/año)
Evaporación	100	55	40	40	50	105	110	150	200	240	215	150	1455

Tabla 6. Datos de evaporación del embalse de Contreras introducidos en el modelo (mm)

Las características del embalse de Tous son:

- Volumen inicial: 126 hm³
- Caudal máximo de sueltas: 500 hm³/mes
- Ley de filtraciones
 - o En el vaso del embalse de producen unas filtraciones que recargan el acuífero “Filtra Tous”. Estas filtraciones se reproducen mediante la ecuación:

$$F = a + b V^c = 0,065 V^{0,8}$$

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept
Volumen máximo	72	126	195	170	216	240	217	194	171	148	126	72
Volumen objetivo	60	60	105	160	160	160	160	160	160	140	60	60
Volumen mínimo	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Tabla 7. Datos de volúmenes del embalse de Tous introducidos en el modelo (hm³)

Cota (m)	Superficie (ha)	Volumen (hm ³)
74,65	0,1	0,1
98,89	468,09	120
105,21	566,15	160
115,23	740,19	240
120,03	819,6	280
128,22	967,74	360
135,59	1105,03	440
142,31	1234,06	520
145,48	1296,03	560
148,54	1356,51	600

Tabla 8. Datos de cota-superficie-volumen del embalse de Tous introducidos en el modelo

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Total (mm/año)
Evaporación	100	57	60	68	76	107	154	227	230	233	258	200	1770

Tabla 9. Datos de evaporación del embalse de Tous introducidos en el modelo (mm)

Las características del embalse de Forata son:

- Volumen inicial: 2,33 hm³
- Caudal máximo de sueltas: 100 hm³/mes

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept
Volumen máximo	15,91	25,13	26,54	28,38	28,38	28,38	26,54	26,54	30,99	30,99	20,17	15,91
Volumen objetivo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Volumen mínimo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 10. Datos de volúmenes del embalse de Forata introducidos en el modelo (hm³)

Las características del embalse de Bellús son:

- Volumen inicial: 28 hm³
- Caudal máximo de sueltas: 1000 hm³/mes

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept
Volumen máximo	18,37	18,32	28,56	28,56	28,56	28,56	28,56	28,56	28,56	28,56	18,32	18,32
Volumen objetivo	8	10,7	15	19,3	23,7	28	23,7	19,3	15	10,7	8	8
Volumen mínimo	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Tabla 11. Datos de volúmenes del embalse de Bellús introducidos en el modelo (hm³)

Además, se han representado los embalses de:

- Molinar (volumen máximo 4,3 hm³)
- Cortes (volumen máximo 111 hm³)
- La Muela (volumen máximo 20 hm³)
- Naranjero (volumen máximo 20 hm³)

Los cuales no juegan un papel importante en los aspectos de gestión que nos ocupan, pero es necesario tenerlos en cuenta para ajustar de forma adecuada las pérdidas en forma de evaporación que se producen en el sistema.

También están contemplados los azudes de derivación de la Ribera Baja:

- Azud de Sueca
- Azud de Cullera. En el azud de Cullera se ha considerado que se producen unas filtraciones del orden de 4 hm³/mes.

- Azud de La Marquesa

I.1.3 Acuíferos

En la Figura 9 pueden verse las masas de agua subterránea incluidas en el modelo:

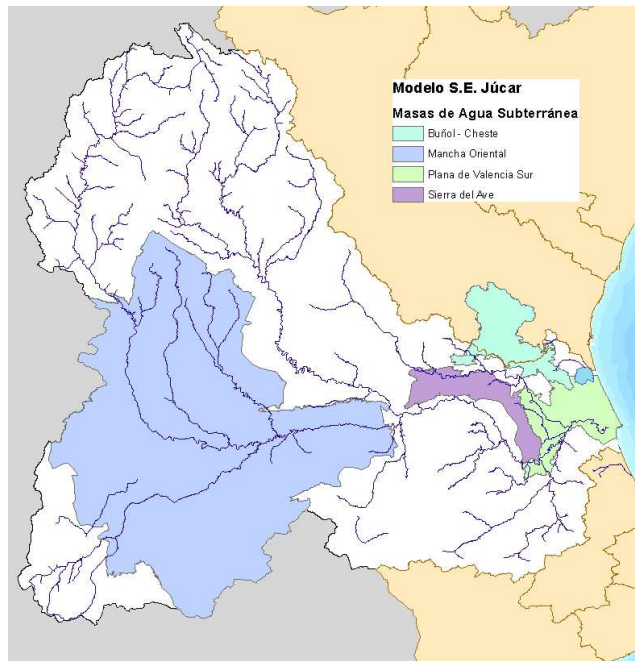


Figura 9. Masas de agua subterránea representadas en el modelo

Se incluyen las masas de agua subterránea de Mancha Oriental, Buñol-Cheste, Sierra del Ave, Plana de Valencia Norte y Plana de Valencia Sur. En la Tabla 12 se recoge los tipos de modelos de acuífero empleados en cada caso, así como los datos principales de los mismos.

Acuífero modelo simulación	Masa agua subterránea	Tipo modelo	Parámetro alfa * (mes ⁻¹)		Volumen inicial (hm ³)	
Acu. Mancha Oriental	Mancha Oriental	Pluricelular 2 celdas 90% / 10%	0,0035	0,8	-6.350	-3.5
AcuRetReal	Plana Sur	Unicelular	0,18		4,45	
Acu aux CJT	Plana Sur , Sierra del Ave, Buñol-Cheste	Depósito	-		0	

Tabla 12. Características de los elementos tipo acuífero incluidos en el modelo

La inclusión del acuífero de la Mancha Oriental (Acu. Mancha Oriental) permite considerar su relación con el río Júcar reproduciendo el efecto de los bombeos cercanos y más alejados al río. Este acuífero está conectado con el río en uno de los tramos entre Alarcón y Molinar. Para ello, se ha escogido un modelo pluricelular englobado con dos celdas (Sahuquillo, 1983). Mediante dicho modelo, se puede considerar que las extracciones del

acuífero (y las recargas, en su caso) según se realicen cerca o lejos del río Júcar tendrá distinta influencia en los tiempos y caudales de afección.

A través del elemento “Acu aux CJT” se incorporan al modelo los recursos subterráneos que completan el suministro a las UDA Riegos del Magro y Canal Júcar Turia. Estos recursos tienen como origen principal las masas de agua subterránea Sierra del Ave, Buñol-Cheste, Plana de Valencia Norte y Plana de Valencia Sur. El elemento acuífero empleado es del tipo depósito.

Mediante el elemento acuífero denominado “AcuRetReal” se integra la masa de agua subterránea Plana de Valencia Sur que recibe los retornos de los riegos de las Riberas del Júcar, además de estar conectado a la Albufera. De él se extraen los recursos necesarios para los pozos de sequía de los regadíos.

Los pozos de sequía y los rebombes se han definido según los que se han producido en los últimos años. Se ha limitado su explotación mensual y anual, y se ha asegurado que no se superen los límites máximos impuestos a los bombeos para 2 años ni para 10 años. En la siguiente tabla se muestra el límite mensual, a un año, a dos años y a diez años, para los bombeos y rebombes.

	Demanda	Máximo mensual	Máximo anual	Máximo a 2 años	Máximo a 10 años
Bombeos (hm ³)	ARJ-Cítricos	5,06	40	60	112,71
	Escalona	2,12	15	30	50,12
	Cullera- Cítricos	1,53	7,65	15,3	36,58
	Cuatro pueblos	1,42	5,92	11,83	28,3
	CJT	3,17	15,87	31,74	77,61
	TOTAL		84,44	148,88	300
Rebombeos (hm ³)	ARJ-Arroz	0,92	4,6	9,2	11,31
	Sueca-Arroz	12	52,5	105	129,06
	Cullera-Arroz	3,63	18,13	36,26	44,57
	Cuatro Pueblos	1,22	6,12	12,24	15,04
	TOTAL		81,36	162,72	200

Tabla 13. Límites de bombeos y rebombes (hm³)

Además, hay incluidos 5 elementos acuífero que recogen las filtraciones y la relación río–acuífero entre diversos elementos del sistema. Estos elementos (Acu. Filtr. Contreras, Ficticio reparto Apo Tous, Filtra_Tous, Rebombes Albufera y Filtraciones Azud Cullera) se han

incluido únicamente para tener en cuenta estas relaciones, su propósito no es el de estudiar lo que ocurre en dichos acuíferos.

I.1.4 Aportaciones en el modelo

Aportaciones naturales

En la Figura 10 se muestran las subcuencas consideradas para la incorporación en el modelo de las series de aportaciones. Dichos puntos han sido seleccionados teniendo en cuenta la configuración de la red fluvial, la situación de los embalses, las relaciones río-acuífero, y la ubicación de las principales unidades de demanda.

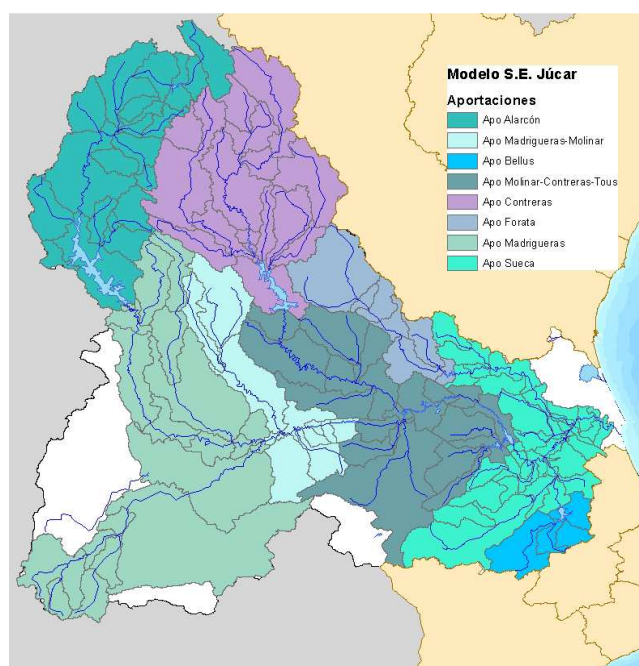


Figura 10. Subcuencas correspondientes a las aportaciones superficiales naturales incluidas en el modelo de simulación del sistema de explotación Júcar.

Las aportaciones denominadas “Apo Alarcón” y “Apo Contreras” representan las aportaciones en los tramos de cabecera aguas arriba de los embalses de Alarcón y Contreras. Las aportaciones “Apo Madrigueras” y “Apo Madrigueras-Molinar” representan las aportaciones en el tramo entre Alarcón y Molinar, tratando de reproducir el efecto de los bombeos en el acuífero de la Mancha Oriental. En cuanto a la aportación “Apo Molinar-Contreras-Tous” ésta representa las aportaciones en el tramo intermedio hasta el embalse de Tous. La aportación denominada en el modelo “Apo Sueca” representa las aportaciones

de los ríos Sellent y Verde, de los tramos finales de los ríos Magro y Albaida, así como las aportaciones de la subcuenca del propio río Júcar aguas abajo del embalse de Tous.

En la Figura 11 se ha representado la evolución de la aportación total anual en el sistema de explotación. Las líneas roja, violeta y verde muestran los promedios de la serie temporal para diferentes periodos. En el caso del Sistema Júcar, igual que sucede en el Sistema Turia, se observa una importante reducción de las aportaciones en los últimos 30 años, como puede verse también en la siguiente tabla.

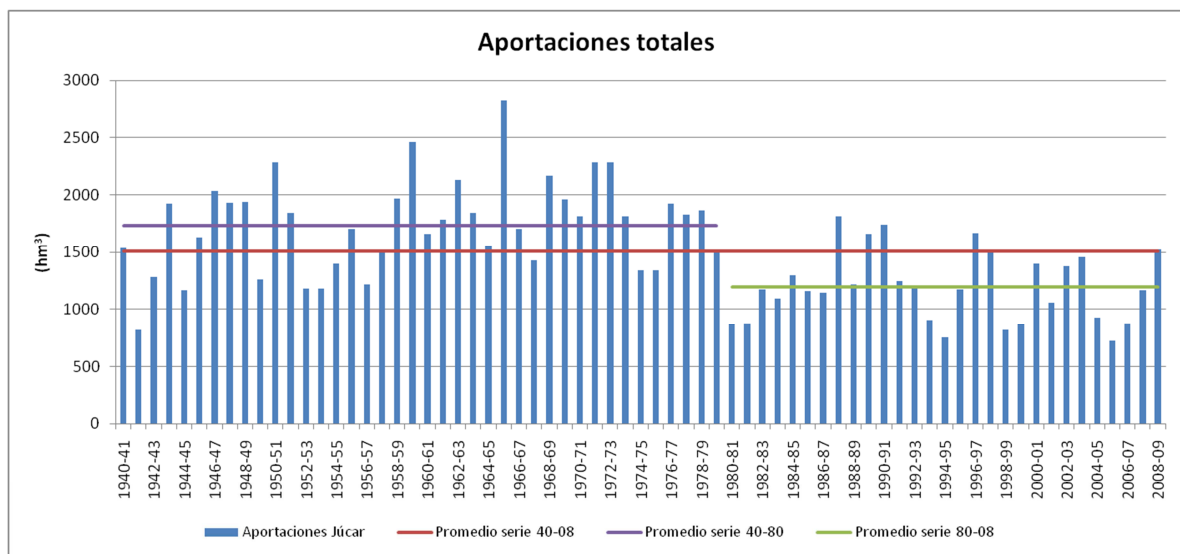


Figura 11. Serie de aportaciones superficiales naturales del modelo del sistema de explotación Júcar.

En la Tabla 14 puede consultarse un resumen de las aportaciones superficiales consideradas, incluidos los valores medios anuales en cada una de las series.

APORTACIÓN (hm³/año)						
Aportación	1940-08	Acumuladas	1940-79	Acumuladas	1980-08	Acumuladas
APO Alarcón	398,97	398,97	482,96	482,96	283,13	283,13
APO Madrigueras	229,43	628,40	259,16	742,11	188,43	471,56
APO Madrigueras-Molinár	57,36	685,76	64,79	806,90	47,11	518,67
APO Contreras	339,63	1.025,39	413,15	1.220,06	238,22	756,89
APO Molinar-Contreras-Tous	253,29	1.278,68	312,92	1.532,98	171,05	927,94
APO Forata	9,04	1.287,72	8,84	1.541,82	9,31	937,52
APO Bellus	25,93	1.313,65	25,49	1.567,31	26,55	963,80
APO Sueca	201,35	1.515,00	181,38	1.748,69	228,89	1.192,69
Total	1.515,00		1748,69		1.192,69	

Tabla 14. Elementos aportación del modelo de simulación del sistema de explotación Júcar

Retornos y reutilización

Las aguas procedentes de retornos de demandas, se incorporan en el modelo mediante elementos de retorno. En el caso de las demandas urbanas sólo se ha incluido el retorno de la UDU Albacete que se canaliza por el canal de M^a Cristina; los retornos de las demandas urbanas de Valencia y Sagunto se contabilizan en los modelos de simulación correspondientes.

Se ha intentado reproducir con exactitud los retornos de los riegos tradicionales, localizados en el tramo bajo del Júcar. En todos los casos los retornos subterráneos recargan el acuífero "AcuRetReal". Por el contrario, los retornos superficiales dependerán de la localización de cada demanda. El retorno de la UDA Escalona y Carcagente y de la UDA Cítricos y Huerta ARJ se localiza en el río Júcar en las proximidades de la confluencia de los ríos Albaida y Magro. La UDA Arroz ARJ y la UDA Sueca Parque tienen sus retornos en la Albufera. Los retornos de la UDA Cuatro Pueblos se dirigen hacia el azud de Cullera y por último, los de la UDA Cullera MI se recogen en el azud de la Marquesa.

Transferencias

Se ha incluido en el modelo la derivación y conducción correspondiente a la transferencia desde el río Júcar al río Vinalopó según el proyecto que se está construyendo, con la toma desde el azud de la Marquesa. Se ha puesto como caudal máximo de la conducción el valor de 3,5 m³/s (9,07 hm³/mes), con un máximo anual de 80 hm³. Se ha diseñado el modelo para que solo se transfieran excedentes, por eso no se ha impuesto ningún caudal mínimo de derivación, lo que si se ha hecho en la conducción de aguas abajo del azud de la marquesa para mantener un caudal de salidas al mar.

I.1.5 Demandas

En el modelo se han representado las principales demandas que se abastecen desde el río. Las demandas superficiales que no se encuentran incluidas en el modelo están contabilizadas en las series de aportaciones.

Urbanas

En la Figura 12 se pueden ver las unidades de demanda urbana incluidas en el modelo y que se corresponden con los núcleos de Albacete, Sagunto y la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos, que incluye a la ciudad de Valencia. También se han considerado los suministros superficiales de la Manchuela y los suministros superficiales de la Ribera que, aunque en el escenario actual se abastecen de masas subterráneas, tienen previsto tomar agua del río en escenarios futuros.

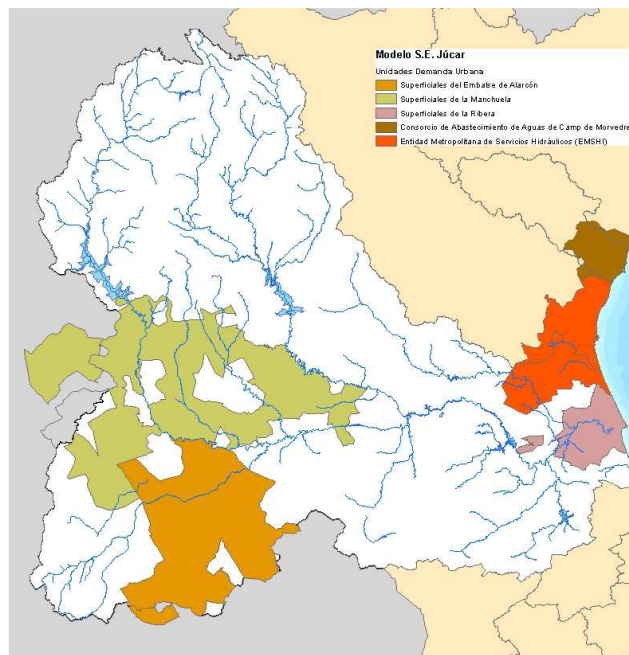


Figura 12. Unidades de demanda urbana representadas en el modelo

En el escenario actual la UDU Valencia incluye a la ciudad de Valencia y su área metropolitana. Se ha considerado únicamente el suministro que se efectúa desde el embalse de Tous a través del canal Júcar-Turia y que supone el 75% de la demanda, según establece el Plan Hidrológico del Júcar de 1998. La UDU Sagunto corresponde, en este escenario, a la ciudad de Sagunto.

En la tabla 14 se tienen los valores de demandas introducidos en el modelo.

	UDU Albacete	UDU Valencia	UDU Sagunto
oct	1,44	7,02	0,67
nov	1,40	6,79	0,65
dic	1,44	7,02	0,67
ene	1,44	7,02	0,67
feb	1,30	6,34	0,60

	UDU Albacete	UDU Valencia	UDU Sagunto
mar	1,44	7,02	0,67
abr	1,40	6,79	0,65
may	1,44	7,02	0,67
jun	1,40	6,79	0,65
jul	1,44	7,02	0,67
ago	1,44	7,02	0,67
sep	1,40	6,79	0,65
TOTAL	16,95	82,63	7,88
Coef consumo	0,18	1	1
Coef filtraciones	0,32	0	0
Coef retorno	0,5	0	0

Tabla 15. Valores de demanda introducidos en el modelo para la situación existente

Agrícolas

En las siguientes tablas se muestran los valores mensuales de las demandas agrícolas para el escenario actual:

2009	UDA Riegos del Magro	UDA CJT	Riegos de la Mancha Oriental		
			UDA Sustitución Mancha	UDA B MO Lejos	UDA B MO Cerca
oct	0,39	5,66	1,05	10,83	2,71
nov	0,70	1,16	0	0	0
dic	2,01	3,41	0	0	0
ene	1,87	1,82	0	0	0
feb	3,15	2,73	0	0	0
mar	6,77	7,41	1,52	15,61	3,90
abr	9,42	6,29	1,78	18,30	4,57
may	8,13	9,24	2,46	25,33	6,33
jun	5,21	15,75	3,37	34,67	8,67
jul	2,72	18,72	5,52	56,79	14,20
ago	0,49	12,86	5,71	58,69	14,67
sep	0,83	9,23	2,58	26,57	6,64
TOTAL			24	246,80	61,69
TOTAL por UDA	41,70	94,30	332,5		
Coef consumo	1	1	0,85		
Coef filtraciones	0	0	0,15		
Coef retornos	0	0	0		

Tabla 16. Datos de demandas en el modelo de los riegos mixtos en la situación existente

2009	UDA Escalona y Carcagente	UDA ARJ		UDA Sueca		UDA Cullera		UDA 4 Pueblos
		UDA Arroz ARJ	UDA Cítricos y Huerta ARJ	UDA Sueca Parque	UDA Sueca Resto	UDA Cullera MI	UDA Cullera MD	
oct	2.49	7.82	6.97	5.86	0.35	1.00	2.79	1.60
nov	0.61	3.69	2.00	2.92	0.13	0.49	1.37	0.78
dic	1.06	3.93	3.65	2.95	0.27	0.57	1.53	0.85
ene	0.48	3.65	1.70	2.93	0.18	0.50	1.39	0.80
feb	0.87	0.37	2.54	2.93	0.18	0.49	1.37	0.80
mar	2.49	2.39	7.24	7.05	0.60	1.11	3.00	1.74
abr	1.97	1.69	6.04	3.69	0.52	0.73	1.84	0.99
may	2.75	23.86	8.70	39.36	0.84	5.15	10.03	4.56
jun	5.32	16.12	17.37	24.19	1.57	4.17	8.12	3.35

2009	UDA Escalona y	UDA ARJ		UDA Sueca		UDA Cullera		UDA 4
jul	6.78	24.55	21.04	38.65	1.89	5.98	11.64	5.13
ago	5.58	13.11	15.96	19.68	1.57	3.26	6.35	2.93
sep	3.69	7.54	10.06	11.61	0.78	1.87	4.07	2.25
TOTAL	34,10	108,72	103,27	161,84	8,90	25,32	53,50	25,78
Coef consumo	0,62	0,48	0,73	0,74	0,79	0,78	0,55	0,74
Coef filtraciones	0,19	0,23	0,18	0,22	0,21	0,22	0,24	0
Coef retornos	0,19	0,29	0,09	0,04	0	0	0,21	0,26
Total por UDA	34,10	212		170,74		78,82		25,78
TOTAL	236,10			275,14				
	RIBERA ALTA			RIBERA BAJA				

Tabla 17. Datos de demandas en el modelo de los riegos tradicionales de la Ribera Alta y Baja

Industriales

La única demanda industrial incluida en el modelo de simulación del sistema de explotación Júcar es la correspondiente a la Central Nuclear de Cofrentes, cuya localización puede verse en la Figura 13, y que utiliza el agua mayormente para restituir las pérdidas por evaporación en las torres de refrigeración, y en menor cuantía para el uso doméstico de la central. Toma dicha agua del embalse de Cortes.



Figura 13. Localización de la Central Nuclear de Cofrentes.

En la Tabla 18 pueden verse los volúmenes mensuales derivados que se han considerado en el modelo. Además, según su concesión, tiene una limitación anual de volumen máximo consumido de 20 hm³, si bien en la actualidad su consumo es menor. Este volumen derivado se considera invariable en los distintos horizontes temporales del estudio del sistema.

	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	total
Central Nuclear Cofrentes	1,57	1,69	1,69	1,57	1,46	1,57	1,57	1,69	1,69	1,91	2,02	1,58	20,0

Tabla 18. Demanda de la Central Nuclear de Cofrentes.

I.1.6 Caudales ecológicos

Los caudales ecológicos considerados son resultado de estudios específicos, y sirven como propuesta inicial para llevar a cabo los procesos de concertación. Al tratarse de tramos hidrológicamente alterados por la presencia de infraestructuras de regulación, se han establecido como caudales mínimos los correspondientes al 30 % del hábitat potencial útil (HPU) en los tramos estudiados. Se exceptúan por su valor ambiental los tramos aguas abajo de Contreras y de Antella, donde se proponen caudales mínimos superiores al 30% del HPU. También supone una excepción el caudal propuesto en Alarcón, dado que los estudios de idoneidad de hábitat daban valores menores al actual, se ha decidido mantener el caudal del plan vigente. En el tramo aguas abajo del azud de la Marquesa, al no disponer de estudio de idoneidad de hábitat, se ha considerado necesario, al menos, implantar un caudal de forma provisional que pueda dar cierta continuidad al tramo situado aguas abajo de la afección de este azud.

Los caudales ecológicos propuestos para el sistema de explotación Júcar son:

Tramo	Caudal	Caudal mínimo mensual (m ³ /s)											
	m ³ /s	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
E. Alarcón	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Madrigueras	0,6	0,52	0,52	0,60	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,60	0,52	0,52	0,52
E. Contreras	0,8	0,64	0,80	0,80	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,80	0,64	0,64	0,64
Antella	1,8	1,44	1,80	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	1,80	1,44	1,44	1,44
Huerto Mulet	5,7	5,7	5,7	6,84	6,84	6,84	6,84	6,84	6,84	5,7	5,7	5,7	5,7
E. Forata	0,2	0,16	0,2	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,2	0,16	0,16	0,16
E. Bellús	0,2	0,17	0,2	0,2	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,2	0,17	0,17	0,17

Tabla 19. Caudales ecológicos en el modelo del sistema de explotación Júcar.

El azud de la Marquesa en su situación actual experimenta filtraciones de diverso tipo, y la realidad es que, incluso cuando no pasa agua por su coronación, el caudal circulante hacia la desembocadura se estima del orden de 1,5 m³/s. Por esa circunstancia, se ha puesto un caudal mínimo aguas abajo de esa cuantía en todos los escenarios.

Además de las consideraciones anteriores, hay que tener en cuenta que la zona húmeda del parque de la Albufera tiene una gran vinculación con el sistema de explotación Júcar,

pues parte de su alimentación se produce por los retornos de riego, tanto en forma de aguas subterráneas procedentes de infiltraciones de excedentes de aguas de riego, como en forma de aguas superficiales, de retornos que se producen directamente a través de las de las acequias en la zona de arrozales y en el lago. Estos factores se contemplan en el modelo que nos ocupa para un correcto balance del sistema, puesto que afectan también a los retornos que pueden producirse en el propio río Júcar y constituir recursos disponibles para el uso en la Ribera Baja.

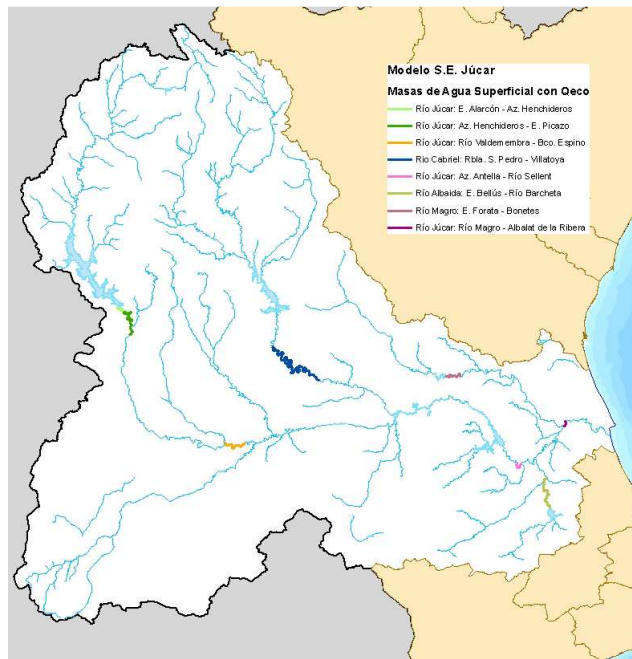


Figura 14. Localización de las masas de agua con caudales ecológicos incluidos en el modelo de simulación.

I.1.7 Prioridades y reglas de gestión

El modelo de simulación del sistema Júcar se ha calibrado de forma que las demandas urbanas tienen prioridad sobre las agrarias. Dentro de estas últimas, los riegos tradicionales tienen una prioridad mayor que los riegos mixtos, y por lo tanto, en situación de normalidad, sus necesidades se verán satisfechas en primer lugar.

Así mismo, se prioriza el almacenamiento de agua en el embalse de Alarcón, desembalsándose primero desde Tous, después de Contreras y, por último, de Alarcón.

Para simular la gestión en las sequías se ha tenido en cuenta las curvas de estado del índice de sequías del sistema definidas en el Plan Especial de Sequías de la CHJ y la curva de reservas definida en el "Convenio de Alarcón" (MMA y USUJ, 2001). Como indicador del

índice de estado de sequía se utiliza el volumen embalsado en Alarcón, Contreras y Tous, que varía según los escenarios de emergencia, alerta, prealerta y normalidad (ver Figura 15). El volumen se comprueba en el mes de abril y la gestión propuesta en consecuencia se mantiene para el resto del año hidrológico.

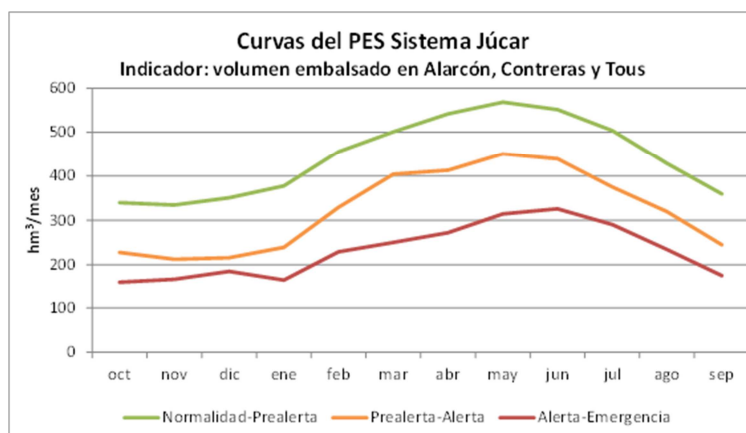


Figura 15. Curvas del PES para el sistema Júcar

Situación	Volumen almacenado en Alarcón, Contreras, Tous y Bellús (hm³)
Normalidad	> 570
Prealerta	420 – 570
Alerta-1	360 – 420
Alerta-2	300 – 360
Emergencia	0 – 300

Tabla 20. Definición de situación del sistema de explotación Júcar.

En ningún caso se restringe el suministro a las demandas urbanas. En cuanto al regadío, en base a los recursos disponibles, se propone la siguiente gestión:

- En condiciones de normalidad (según Tabla 20), el suministro total de los riegos tradicionales y mixtos será del 100%.
- En condiciones de prealerta (según Tabla 20), el suministro total de los riegos tradicionales y mixtos será del 96% del volumen asignado. Además, el suministro superficial de los riegos mixtos (Mancha Oriental y Canal Júcar-Turia) se reducirá a un 85%, si bien esta reducción se compensará con aguas subterráneas hasta dicho porcentaje de suministro total (96%).
- En condiciones de alerta 1 (según Tabla 20), el suministro total de los riegos tradicionales y mixtos será del 93% del volumen asignado. Por otra parte, el

suministro superficial de los riegos mixtos se reducirá a un 65%, si bien esta reducción se compensará con aguas subterráneas hasta dicho porcentaje de suministro total (93%).

- En condiciones de alerta 2 (según Tabla 20), el suministro total de los riegos tradicionales y mixtos será del 90% del volumen asignado. Además, para los regadíos Tradicionales de la Ribera, 55 hm³ de dicho volumen total se extraerán de aguas subterráneas a través de pozos de sequía y rebombes en las acequias del PN de l'Albufera, con el carácter de recurso extraordinario. Por otra parte, el suministro superficial de los riegos mixtos se reducirá a un 45%, si bien esta reducción se compensará con aguas subterráneas hasta dicho porcentaje de suministro total (90%).
- En condiciones de emergencia (según Tabla 20), el suministro total de los riegos tradicionales y mixtos será del 87% del volumen asignado. Además, para los regadíos Tradicionales de la Ribera, 90 hm³ de dicho volumen total se extraerán de aguas subterráneas a través de pozos de sequía y rebombes en las acequias del PN de l'Albufera, con el carácter de recurso extraordinario. Por otra parte, el suministro superficial de los riegos mixtos se reducirá a un 33%, si bien esta reducción se compensará con aguas subterráneas hasta el porcentaje de suministro total (87%).

En la Tabla 21 y la Tabla 22 adjuntas se especifican los volúmenes de suministro considerados en cada caso.

	NORMALIDAD	PREALERTA	ALERTA-1	ALERTA-2 (C.ALARCON)	EMERGENCIA
<i>% Suministro</i>	100	96	93	90	87
Escalona	21,4	20,5	19,9	19,2	18,6
Carcaixent	12,7	12,2	11,8	11,5	11,1
ARJ y Antella	212	203,5	197,2	190,8	184,4
R-ALTA-Total	246,1	236,2	228,9	221,5	214,1
Sueca	170,74	165,81	162,13	158,44	154,74
Cullera	78,8	76,56	74,85	73,15	71,44
Cuatro Pueblos	25,78	25,03	24,47	23,91	23,36
TOTAL Ribera Baja	275,34	267,4	261,45	255,5	249,54
R-BAJA May-Ago (invernal.R.Baja)	198,44	190,5	184,55	178,6	172,64
	76,9	76,9	76,9	76,9	76,9
TOTAL RIBERA	521,44	503,6	490,35	477	463,64
TOTAL P.Sequía+Rebombes	0	0	0	55	90
TOTAL RIB-SUP	521,44	503,6	490,35	422	373,64

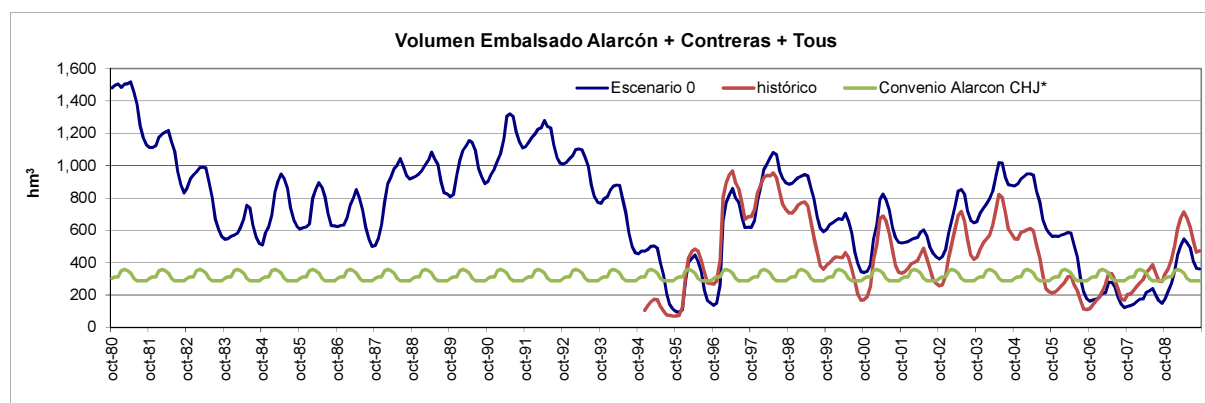
Tabla 21. Regla de gestión y suministro teórico (hm³/año) para los riegos tradicionales del S.E. Júcar

	NORMALIDAD	PREALERTA	ALERTA-1	ALERTA-2 (C.ALARCON)	EMERGENCIA
% Suministro	100	96	93	90	87
% Suministro superficial	100	85	65	45	33
MO-Total	332,5	319,2	309,225	299,25	289,275
MO-Superficial	24	20,4	15,6	10,8	7,92
MO-Subterráneo	308,5	298,8	293,6	288,5	281,4
MO-SB-Demanda	24	23,04	22,32	21,6	20,88
MO-SB-Bombeos	0	2,64	6,72	10,8	12,96
MO-Resto-Bombeos	308,5	296,2	286,9	277,7	268,4
MO-Subt total	308,5	298,8	293,6	288,5	281,4
CJT-Total	94,3	90,5	87,7	84,9	82,0
CJT-Superf	45,5	38,7	29,6	20,5	15,0
CJT-Pozos Sequia	0,0	0,0	8,0	12,0	12,0
CJT-RESTO Subt	48,8	51,8	50,1	52,4	55,0
CJT-Subt.tot.	48,8	51,8	58,1	64,4	67,0

Tabla 22. Regla de gestión y suministro teórico (hm³/año) para los riegos mixtos del S.E. Júcar

I.2 Análisis del sistema

Se han comparado los datos históricos con los resultados de evolución del volumen de reservas simulado para los embalses de Alarcón, Contreras y Tous para el periodo 1980/81-2008/09, tal como muestra la siguiente figura. Puede apreciarse que la gestión planteada es similar a la que se ha realizado en la última sequía.



*Convenio Alarcón CHJ: Volumen convenio Alarcón incluyendo volumen mínimo de Contreras, Tous y Bellús.

Figura 16. Volumen embalsado en Alarcón, Contreras y Tous para el escenario considerado

La Figura 17 muestra la evolución del volumen almacenado en Alarcón junto con su evolución histórica y la curva del Convenio de Alarcón acordada con la Unión Sindical de Usuarios del Júcar (USUJ). Al igual que en la figura anterior se comprueba que la gestión planteada en el embalse de Alarcón es similar a la que se ha realizado en los últimos años.

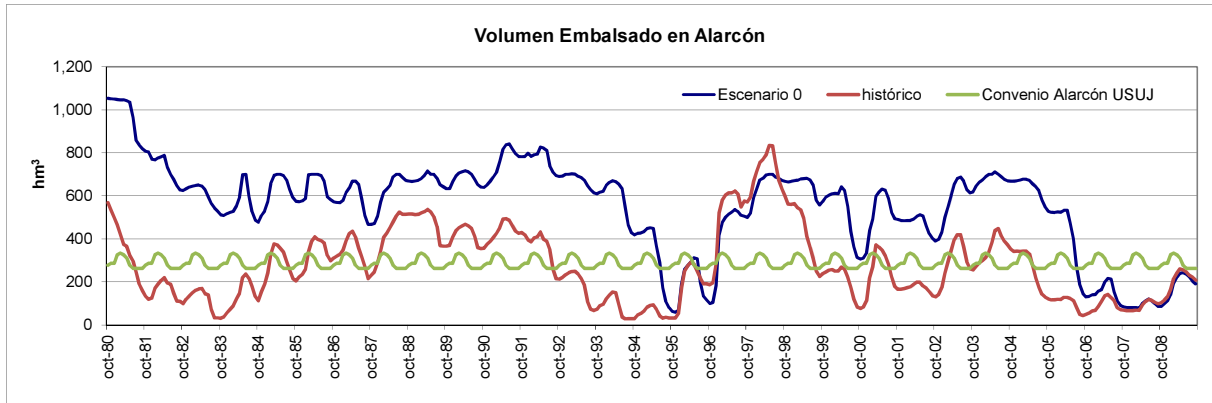


Figura 17. Volumen embalsado en Alarcón para el escenario considerado

En la Figura 18 y Figura 19 se muestran los suministros medios a los riegos tradicionales y a los riegos mixtos. Se observa cómo es necesario el uso de recursos extraordinarios para completar el suministro de los riegos tradicionales. De la misma manera, puede verse como se complementa el suministro superficial a los mixtos con recurso subterráneo, más allá del que tienen asignado en épocas de normalidad.

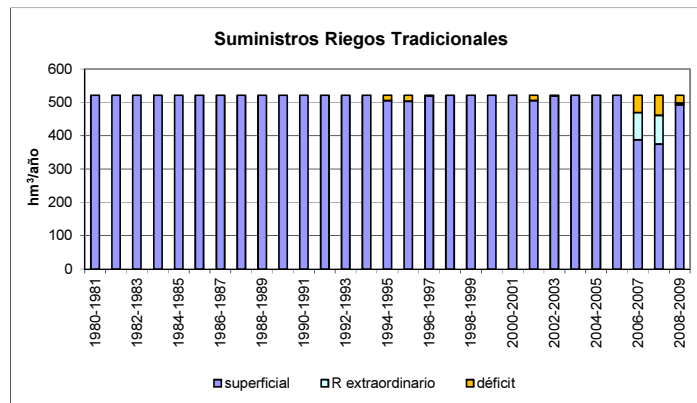


Figura 18. Series anuales de suministros a los riegos tradicionales según procedencia

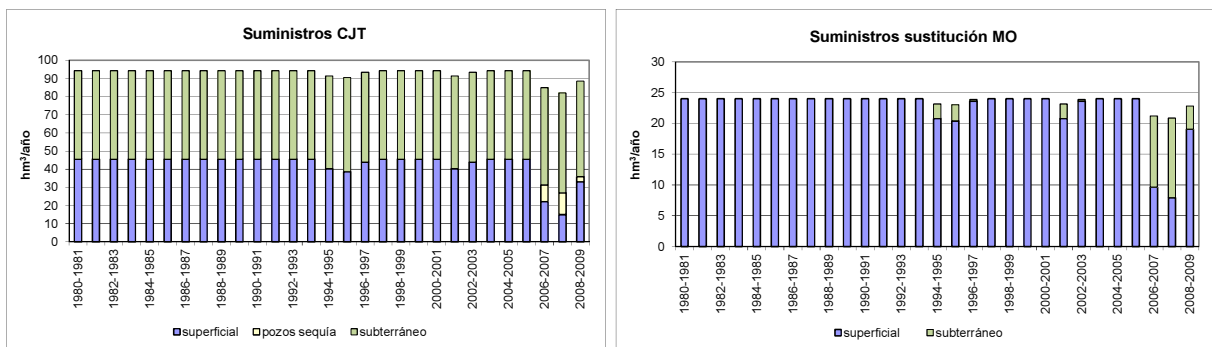


Figura 19. Series anuales de suministros a los riegos mixtos según procedencia

En la siguiente tabla se muestran los déficits mensuales junto con los acumulados a unos, dos y diez años consecutivos como indica la IPH 2008. Se comprueba que en todos los casos (demandas urbanas, agrícolas e industriales) se cumple el criterio de garantía establecido.

Nombre	Demanda anual (hm ³)	Máximo déficit (%)			
		Mensual	Anual	2 años consecutivos	10 años consecutivos
DA Mancha Oriental	332,5	12,4	12,4	23,6	29,9
DA Escalona y Carcagente	34,1	38,0	15,0	27,7	37,8
DA ARJ	212,0	56,2	14,7	28,4	38,4
DA Riegos Canal J-T	94,3	28,9	14,6	24,5	34,6
DA Sueca	170,7	40,6	12,7	22,4	28,4
DA Cullera	78,8	13,0	9,0	18,1	23,6
DA Cuatro Pueblos	25,8	13,0	8,1	16,1	21,1
UDA Riegos del Magro	41,7	11,5	11,4	20,1	62,9
DU Albacete	16,9	0,0	0,0	0,0	0,0
DU Valencia	82,6	0,0	0,0	0,0	0,0
DU Sagunto	7,9	0,0	0,0	0,0	0,0
DI CN Cofrentes	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 23. Criterio de garantía de la IPH 2008 del Sistema Júcar para la situación de referencia

Por lo que respecta a la conducción del Júcar – Vinalopó localizada en el azud de la Marquesa, en la siguiente figura se muestran los caudales derivados considerando una capacidad máxima de 3,5 m³/s y limitado a un máximo anuales de 80 hm³.

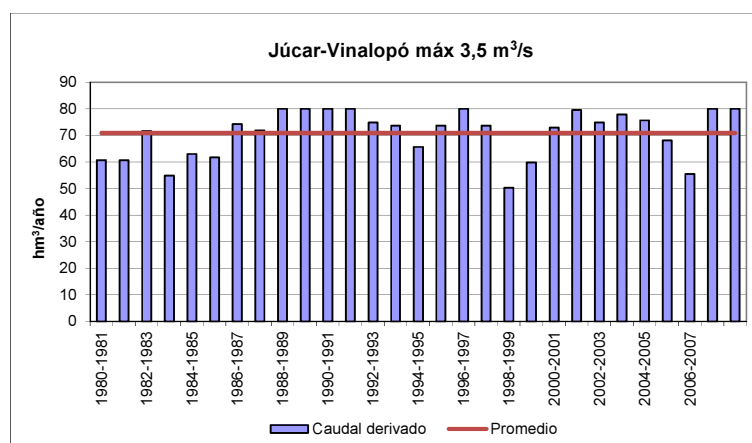


Figura 20. Caudales derivables por la conducción Júcar-Vinalopó

Por último, la siguiente tabla muestra el balance simplificado del sistema de explotación Júcar para el escenario de referencia:

BALANCE DEL MODELO DEL S.E. JUCAR Serie 1980/81-2008/09		Escenario de referencia	
RECURSOS	Aportaciones a embalse e intermedias	1192,68	
	Bombes Subterráneos MAS no modeladas	86,52	
	RECURSOS TOTALES		1279,20
DEMANDAS	Agrícolas	989,93	
	Urbanas	107,45	
	Industrial	20,00	
	DEMANDA BRUTA		1117,39
SUMINISTROS	Superficiales	704,20	
	Subterráneos	399,40	
	SUMINISTROS BRUTOS TOTALES		1103,59
	FALTA DE SUMINISTROS TOTALES		13,79
SALIDAS	Evaporación en embalses	81,76	
	Consumos y pérdidas	867,39	
	Salidas al mar sobrantes	110,93	
	Salidas al mar Caudal mínimo	47,31	
	Salidas a la Albufera	108,52	
	Sobrantes al Vinalopó	70,86	
	SALIDAS TOTALES		1286,77
VARIACIÓN DE ALMACENAMIENTO	Variación volumen embalses	-41,39	
	Variación volumen acuíferos	33,83	
	VARIACIÓN TOTAL DE VOLUMEN		-7,56
	Error	0,00	

Tabla 24. Balance simplificado del Sistema de Explotación Júcar para el escenario de referencia

I.3 Resumen y conclusiones

En este anexo se ha tratado de describir el modelo de simulación del sistema de recursos hídricos de la cuenca del río Júcar desarrollado con el programa SIMGES perteneciente al SSD AQUATOOL. Se han tenido en cuenta todos aquellos elementos que tienen un papel esencial en la gestión de los recursos de la cuenca, incluyendo los embalses y acuíferos más importantes del sistema. Se han considerado las principales demandas de abastecimiento y regadío que consumen recursos del sistema superficial y parte del subterráneo, además de otras demandas, como la central nuclear de Cofrentes. Se ha incluido, parcialmente, el subsistema de la Albufera, así como una propuesta inicial de los caudales ecológicos que será analizada en los procesos de concertación.

En líneas generales, este modelo reproduce adecuadamente el funcionamiento del sistema, ha sido validado y está siendo utilizado actualmente en la CHJ para la toma de decisiones en la gestión de los recursos hídricos de la cuenca.

Con ayuda de este modelo de simulación se ha efectuado el análisis del sistema de explotación Júcar para el periodo 1980/81-2008/09, concluyéndose que para la situación actual, con la inclusión de unos nuevos requerimientos ambientales y con las reglas de explotación definidas es posible garantizar el suministro a todas las demandas del sistema.

Este modelo, con las modificaciones especificadas en el capítulo 4 de este estudio, se ha utilizado para analizar los recursos disponibles adicionales del sistema.

Anexo II

II. Series sintéticas

En este anexo se examina estadísticamente las series mensuales de aportaciones empleadas en el modelo de simulación del sistema de recursos hídricos de la cuenca del río Júcar. Estas series abarcan el periodo comprendido entre octubre de 1940 y septiembre de 2009.

Para la realización de este análisis se ha utilizado el programa MASHWIN, integrado en el SSD Aquatool. Se propone dos modelos generadores de series sintéticas que reproducen sus estadísticos básicos y se genera con ellos 100 series sintéticas que serán empleadas para obtener los recursos disponibles adicionales del sistema Júcar.

Por otra parte merece la pena matizar que en este trabajo no se detalla el proceso de restitución a régimen natural con el que se han obtenido dichas series ya que esta tarea queda fuera del alcance de este estudio.

II.1 Análisis de las series obtenidas por restitución al régimen natural

La siguiente figura representa las series de aportaciones naturales totales del sistema de explotación Júcar. Estas series se han obtenido por restitución al régimen natural y son las utilizadas en el modelo de simulación SIMGES de la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Júcar.

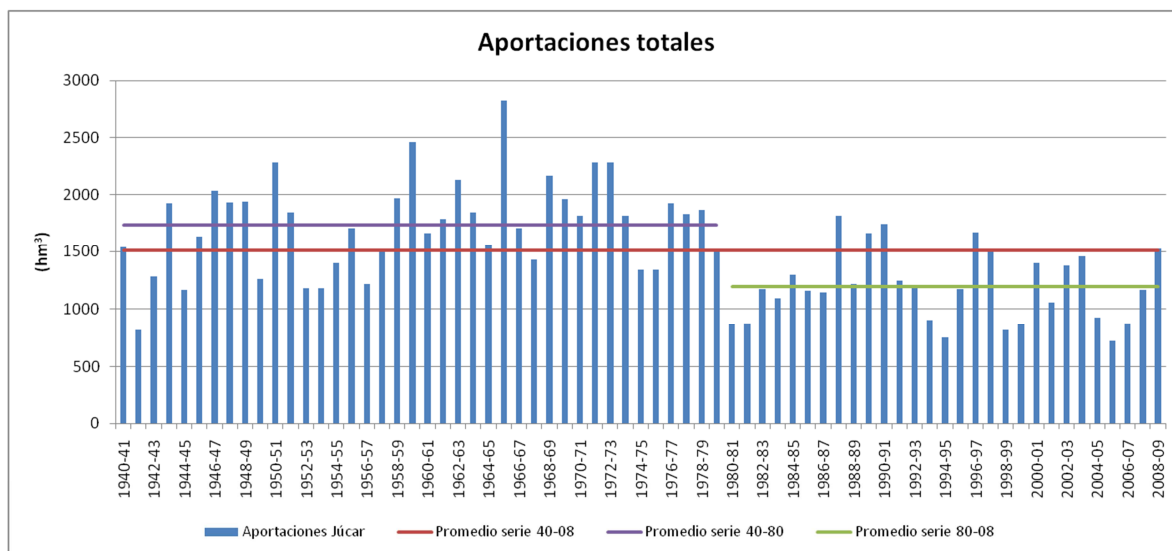


Figura 21. Serie de aportaciones superficiales naturales del modelo de simulación del Sistema de Explotación Júcar.

Tal y como muestra la figura, se ha producido una importante reducción en las aportaciones superficiales durante los últimos 30 años, mostrando claramente la existencia de dos periodos diferenciados; donde la diferencia de las aportaciones medias entre ambos periodos se encuentra cercana a los 500 hm³ anuales.

A continuación se muestran los valores mensuales de las 8 aportaciones consideradas junto con los estadísticos básicos (medias, máximos, mínimos, desviaciones típicas y coeficientes de sesgo) tanto para la serie larga que abarca el periodo 1940/41-2008/09, como para la serie corta, que abarca el periodo 1980/81-2008/09.

Alarcón													
AÑO	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	TOTAL
1940	13,91	28,97	17,03	82,03	104,71	70,07	42,01	54,7	24,18	12,82	13,31	13,06	476,8
1941	13,84	15,03	13,41	14,84	17,09	29,03	37,75	25,3	12,82	10,36	11,6	11,46	212,5
1942	11,33	12,8	16,69	28,86	31,93	20,55	13,72	14,66	14,46	15,07	11,84	11,31	203,2
1943	23,17	24,24	32,97	29,29	20,75	40,53	54,93	47,74	53,97	35,63	16,21	37,87	417,3
1944	18,55	22,37	28,4	31	54,76	61,35	51,02	38,28	28,68	15,55	13,22	12,63	375,8
1945	13,33	17,1	63,75	34,48	18,81	52,81	73,28	120,66	38,73	23,08	24,01	28,4	508,4
1946	25,13	18,16	19,19	22,71	155,32	189,08	86,63	49,26	29,94	24,67	24,43	23,15	667,7
1947	22,9	19,93	27,05	122,9	87,37	56,49	46,1	61,12	42,75	33,62	26,61	22,05	568,9
1948	15,75	14,41	13,38	14,47	12,95	12,92	12,3	11,94	11,1	10,26	8,92	15,1	153,5
1949	15,83	23,01	26,03	21,61	24,1	26,8	21,25	15,47	10,35	11,95	10,47	9,06	215,9
1950	9,54	11,23	38,57	47,55	121,34	193,61	60,17	83,94	41,53	34,66	37,47	19,52	699,1
1951	19,22	43,16	34,15	34,98	47,93	53,71	89,67	67,49	41,24	27,86	24,51	20,62	504,5
1952	18,06	16,6	27,1	26,55	34,68	29,39	25,4	21,51	14,69	13,67	11,09	10,01	248,8
1953	13,37	13,34	13,22	10,8	20,38	37,43	27,92	22,37	14,8	15,97	12,32	10,77	212,7
1954	11,74	12,19	16,82	75,18	145,22	118,53	39,24	35,57	25,27	20,41	16,43	14,94	531,5
1955	14,69	17,1	98,11	57,75	37,02	127,6	115,42	79,69	51,93	34,44	32,02	31,87	697,6
1956	26,28	17,23	16,43	15,18	24,1	23,46	19,73	54,16	60,11	37,01	22,1	16,69	332,5
1957	23,79	26,03	27,28	40,24	65,15	67,74	100,19	34,71	23,38	17,33	16,99	17,29	460,1
1958	17,29	14,08	76,39	53,05	38,41	64,55	40,73	55,05	38,38	20,74	14,39	20,23	453,3

Alarcón													
AÑO	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	TOTAL
1959	29	25,03	129,01	152,48	196,08	160,64	76,73	47,71	47,68	28,23	17,04	12,31	921,9
1960	80,73	100,07	60,34	91,74	49,77	38,91	38	27,55	25,58	22,33	21,65	18,92	575,6
1961	16,27	48,08	60,39	132,17	40,7	122,75	57,13	46,64	45,44	23,82	20,55	11,77	625,7
1962	13,06	19,59	17,6	136,78	153,62	129,7	131,46	54,47	47,22	37,07	29,13	30,23	799,9
1963	17,33	81,31	110,53	49,4	110,44	123,81	77,36	43,75	29,19	24,81	19,64	12,24	699,8
1964	8,16	24,76	22,42	20,22	45,44	110,85	48,24	28,69	22,58	18,87	16,12	13,32	379,7
1965	46,5	71,28	72,2	194,62	143,56	87,66	129,47	41,76	66,46	30,4	26,01	14,44	924,4
1966	28,06	58,26	31,33	21,12	38,04	64,3	39,23	32,56	30,87	16,17	12,2	8,99	381,1
1967	15,78	17,06	27,02	16,07	23,48	59,63	48,39	39,29	26,43	24,51	22,1	17,54	337,3
1968	5,52	8,53	33,69	60,69	56,5	262,14	84,4	77,35	49,92	19,76	17,25	15,78	691,5
1969	17,25	17,6	22,72	233,25	69,99	52,25	29,91	20,24	19,1	15,33	12,11	7,17	516,9
1970	6,68	5,22	4,76	21,34	48,63	34,31	70,72	154,16	104,33	47,94	32,64	20,29	551
1971	25,84	24,19	17,31	21,52	97,63	82,07	47,35	27,89	22,99	25,52	22,1	49,67	464,1
1972	29,03	83,6	43,29	60,56	42,72	36,59	29,88	24,69	39,14	23,73	18,35	14,06	445,6
1973	15,22	17,01	20,78	42,02	45,75	42,68	52,75	43,52	29,03	20,17	25,41	18,37	372,7
1974	16,68	14,96	9,55	14,38	15,91	20,11	29,59	32,72	38,36	26,51	17,44	7,14	243,4
1975	4,31	8,95	14,31	8,23	14,71	14,62	11,93	14,24	11,72	17,42	7,53	6,92	134,9
1976	9,2	18,82	65	138,93	142,44	78,06	45,58	35,12	32,51	26,42	20,83	15,46	628,4
1977	18,83	18,23	35,94	32,43	58,26	178,81	52,02	94,59	50,08	31,92	17,78	13,1	602
1978	9,19	8,42	24,89	78,07	177,92	89,53	92,94	47,09	47,2	30,83	17,29	9,55	632,9
1979	70,04	78,08	38,5	32,64	27,83	47,62	40,9	57,37	24,49	13,8	10,3	7,53	449,1
1980	5,91	5,67	6,83	7,56	8,87	15,03	11,34	18,52	8,31	7,22	9,04	8,23	112,5
1981	7,24	7,31	19,17	37,33	18,33	19,62	20,89	15,39	25,64	8,67	7,07	6,64	193,3
1982	7,91	16,11	15,34	14,05	11,71	14,78	10,08	8,8	6,48	5,72	6,22	5,81	123
1983	5,56	5,52	16,39	14,08	13,62	38,69	54,66	121,79	48,26	16,87	10,29	7,79	353,5
1984	8,77	39,05	29,49	52,7	92,61	52,36	35,94	31,37	16,31	8,15	7,68	5,67	380,1
1985	6,55	8,25	11,86	20,38	120,26	50,55	40,77	42,66	14,93	9,92	8,63	7,37	342,1
1986	8,29	8,36	8,64	21,28	45,93	35,52	45,54	17,49	12,12	11,54	7,53	6,15	228,4
1987	15,13	15,57	45,55	76,33	55,86	30,04	33,51	56,08	65,18	44,95	19,48	15,97	473,7
1988	17,47	13,79	13,94	13,33	16,54	30,4	34,3	26,55	25,42	20,08	11,46	8,97	232,3
1989	9,01	11,66	42,65	34,15	24,17	19,68	18,54	11,98	10,29	8,39	9,66	10,02	210,2
1990	14,62	23,03	25,75	28,81	29,7	66,53	69,03	38,99	25,98	13,76	11,07	12,5	359,8
1991	16,39	17,47	23	20,36	16,77	16,9	48,5	27,76	25	22,36	8,99	7,44	250,9
1992	10,07	12,8	20,46	15,01	11,62	12,03	9,43	11,84	10,42	8,49	7,08	7,11	136,4
1993	10,8	18,97	13,41	37,09	22,12	21,43	11,37	10,86	7,27	5,98	5,16	5,36	169,8
1994	6,48	20,82	11,79	15,34	24,77	17,39	9,98	8,72	9,74	5,86	9,33	3,86	144,1
1995	4,07	6,73	22,27	132,37	84,75	33,78	38,43	39,27	24,11	14,07	19,61	11,4	430,9
1996	9,13	18,51	88,48	243,78	69,57	39,96	27,35	25,61	30,36	19,89	25	20,89	618,5
1997	11,32	32,31	82,53	51,47	49,09	25,04	33,77	69,22	42,54	24,89	32,46	16,89	471,5
1998	16,5	15,06	10,38	13,33	13,5	19,15	21,14	21,52	17,56	18,4	15,63	14,48	196,7
1999	33,75	34,9	20,35	15,3	11,64	11,96	50,26	39,4	21,34	16,63	17,72	14,15	287,4
2000	11,47	15,9	34,58	114,79	60,01	122,28	41,6	32,77	21,75	19,06	20,79	18,29	513,3
2001	17,03	8,76	9,33	10,4	9,89	19,54	25,5	23,82	12,26	11,77	13,85	10,75	172,9
2002	9,69	19,04	42,54	77,34	55,35	66,66	67,76	43,39	29,45	21,52	20,38	16,47	469,6
2003	24,59	39,28	28,63	20,76	24,13	36,78	57,77	71,49	29,22	27,04	16,33	17,37	393,4
2004	24,52	12,77	15,07	12,81	13,44	14,01	15,87	12,88	14,39	10,9	8,75	5,92	161,3
2005	6,29	8,43	9,59	11,88	8,1	25,19	16,62	11,63	9,68	8,48	6,96	5,45	128,3
2006	12,72	14,43	16,32	10,42	23,55	19,83	47,41	32,78	15,84	11,18	9,76	8,43	222,7
2007	7,64	6,6	7,21	9,05	8,39	6,03	33,97	25,41	25,07	13,08	8,33	5,45	156,2
2008	11,63	21,02	21,46	36,5	61,83	40,46	28,63	19,08	13,02	9,68	7,62	7,16	278,1
Estadísticos Periodo 1940/08													
Media	16,83	23,10	31,60	50,58	53,15	58,47	45,67	40,61	29,08	19,79	16,13	13,95	398,97
Máximo	80,73	100,07	129,01	243,78	196,08	262,14	131,46	154,16	104,33	47,94	37,47	49,67	924,36
Mínimo	4,07	5,22	4,76	7,56	8,10	6,03	9,43	8,72	6,48	5,72	5,16	3,86	112,53
Des. Típica	12,86	19,74	25,68	52,48	45,96	51,29	27,85	27,96	17,57	9,56	7,43	8,05	201,15
Sesgo	3,06	2,29	1,88	2,01	1,38	1,81	1,16	1,80	1,47	0,74	0,73	1,92	0,55
Estadísticos Periodo 1980/08													
Media	12,09	16,49	24,59	40,28	34,69	31,78	33,10	31,62	21,31	14,64	12,48	10,07	283,13
Máximo	33,75	39,28	88,48	243,78	120,26	122,28	69,03	121,79	65,18	44,95	32,46	20,89	618,53
Mínimo	4,07	5,52	6,83	7,56	8,10	6,03	9,43	8,72	6,48	5,72	5,16	3,86	112,53
Des. Típica	6,67	9,56	19,96	50,08	29,37	23,40	17,30	24,09	13,22	8,36	6,54	4,76	138,41
Sesgo	1,62	1,16	2,14	2,87	1,35	2,33	0,39	2,18	1,64	1,84	1,39	0,78	0,71

Tabla 25. Estadísticos básicos para la serie de aportaciones Alarcón

Madrigueras													
AÑO	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	TOTAL
1940	6,79	10,22	13,26	2,07	42,35	29,89	12,98	10,46	9,6	8,69	11,34	12,23	169,88

Análisis de metodologías de balances hídricos en sistemas complejos en el contexto europeo de la planificación hidrológica. Aplicación a la cuenca del Júcar

AÑO	Madrigueras												TOTAL
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
1941	12,1	10,54	10,23	9,22	10,22	9,87	10,45	14,66	9,66	8,8	9,98	10,81	126,54
1942	13,93	12,44	12,18	9,5	12,25	13,87	10,82	12,86	17,45	17,39	17,73	21,18	171,6
1943	33,66	25,83	24,2	20,62	23,98	24,45	25,05	23,86	22,82	31,04	23,61	27,71	306,83
1944	18,63	17,14	25,91	30,52	27,34	20,35	12,05	12,37	13,46	13,48	12,46	13,51	217,22
1945	17,3	16,06	16,63	19,09	12,37	18,42	9,6	35,9	12,82	5,76	3,58	10,94	178,47
1946	13,86	15,96	16,2	17,01	37,11	61,78	26,5	29,32	20,21	23,8	30,06	24,95	316,76
1947	18,62	16,1	18,48	20,97	21,54	21,21	20,98	22,92	17,82	14,9	18,21	11,33	223,08
1948	16,54	19,74	37,52	28,53	44,76	33,88	26,54	25,81	25,65	18,38	18,23	23,84	319,42
1949	24,54	24,06	22,3	25,93	22,48	21,6	16,52	21,42	15,46	18,5	19,15	18,6	250,56
1950	23,42	18,14	21,97	22,98	18,92	22,98	28,26	27,28	14,88	10,98	12,19	15,73	237,73
1951	15,94	16,99	18,14	23,3	22,42	23,62	22,66	22,49	19,14	21,79	22,14	19,02	247,65
1952	24,59	21,22	23,54	20,58	19,79	21,84	18,82	21,55	19,26	21,32	20,28	19,4	252,19
1953	16,82	16,61	18,38	19,42	18,73	17,76	17,78	13,16	16,64	20,08	20,48	15,85	211,71
1954	18	18,03	19,18	19,87	17,3	21,07	15,46	19,99	18,25	17,89	22,95	17,56	225,55
1955	19,8	18,62	18,72	19,29	17,98	18,65	17,02	15,84	15,68	16,18	17,58	18,14	213,5
1956	21,23	21,24	17,22	20,69	18,02	16,16	15,4	19,22	16,02	16,98	17,53	17,46	217,17
1957	19,86	16,37	16,89	17,86	14,51	17,41	13,92	15,09	15,22	15,16	16,53	15,32	194,14
1958	17,33	16,38	15,44	16,26	14,99	18,33	14,78	17,64	14,42	15,78	17,91	19,22	198,48
1959	17,82	18,42	17,02	17,57	18,04	15,58	22,43	18,07	17,35	18,25	20,88	20,75	222,18
1960	24,94	19,32	28,82	30,82	20,22	25,66	20,6	24,85	21,3	22,4	22,49	24,02	285,44
1961	22,62	22,84	22,97	22,61	19,16	22,99	7,92	22,62	21,86	22,22	21,47	20,99	250,27
1962	23,65	24,95	27,22	27,13	22,58	21,38	14,42	22,51	21,19	23,49	22,64	35,16	286,32
1963	21,55	37,78	7,78	29	26,88	18,95	18,14	21,69	33,02	31,62	34,56	25,1	306,07
1964	22,04	20,57	28,9	30,8	23,22	28,46	18,92	20,42	21,69	23,6	27,24	23,2	289,06
1965	22,46	25,47	26,05	24,78	24,55	34,92	34,45	30,49	24,82	18,51	19,16	19,06	304,72
1966	33,9	32,13	32,47	32,48	30,3	31,86	26,25	26,9	30,13	26,14	30,78	29,44	362,78
1967	24,43	25,17	27,54	26,81	26,81	26,02	20,95	41,63	23,33	10,06	15,86	17,22	285,83
1968	27,59	27,92	26,52	25,5	22,44	25,57	23,5	21,29	18,46	22,16	23,06	21,27	285,28
1969	24,93	22,2	22,34	27,45	20,17	26,25	20,7	22,8	23,33	6,57	24,91	22,51	264,16
1970	23,58	24,7	24,46	25,18	22,28	27,38	26,41	29,43	24,23	19,18	23,5	25,1	295,43
1971	25,14	22,61	29,03	27,52	27,26	29,05	26,02	26,16	26,12	26,42	26,34	29,68	321,35
1972	28,7	29,26	28,26	28,76	25,01	28,95	26,76	31,45	27,92	27,08	26,48	24,95	333,58
1973	27,71	26,98	29,82	30,98	27,34	30,55	27,49	38,82	22,26	13,06	28,33	23,09	326,43
1974	25,39	25,26	30,62	27,3	27,9	29,68	25,03	24,69	23,7	26,34	27,62	25,48	319,01
1975	26,96	25,7	29,04	27,09	24,66	24,9	23,28	27,19	22,36	24,78	25,65	24,11	305,72
1976	25,58	23,64	24,39	25,37	23,84	24,9	20,19	25,66	21,53	19,7	25,64	21,07	281,51
1977	24,05	23,1	19,52	23,55	21,15	26,84	25,25	26,78	25,11	27,45	25,82	22,86	291,48
1978	14,62	25,02	22,94	22,11	21,85	22,58	27,17	25,9	23,51	16,24	18,51	18,47	258,92
1979	17,15	14,03	16,58	19,47	19,34	18,1	14,82	21,33	20,06	18,79	18,56	14,04	212,27
1980	14,17	19,98	21,19	18,85	17,74	18,52	20,83	19,28	21,05	18,75	20,63	17,62	228,61
1981	16,81	18,76	18,13	23,14	19,29	20,37	20,21	17,39	17,69	15,46	14,88	13,87	216
1982	91,46	22,69	25,29	22,78	22,82	19,39	23,8	10,16	0	11,19	21,34	18,94	289,86
1983	17,19	19,24	20,05	20,71	19,44	20,89	17,82	26,6	21,16	19,72	16,46	16,26	235,54
1984	19,46	19,82	17,55	19,29	17,55	17,35	20,38	22,5	19,56	18,8	15,45	17,77	225,48
1985	15,99	17,17	17,5	17,58	16,84	17,03	21,98	23,47	21,22	17,59	16,91	19,71	222,99
1986	14,64	16	16,14	14,98	15,18	16,14	19,26	21,98	12,26	20,33	15,6	13,69	196,2
1987	17,69	14,63	14,54	14,7	13,98	14,88	16,62	21,7	21,73	20,51	15,2	11,78	197,96
1988	12,03	11,74	12,94	17,06	16,94	15,48	20,93	18,46	18,62	9,34	7,25	20,69	181,48
1989	15,65	15,45	16,12	16,82	21,28	18,08	21,51	21,68	18,55	15,62	15,02	17,33	213,11
1990	17,15	16,3	16,78	17,29	16,78	18,48	23,76	21,12	21,43	18,54	16,85	14,25	218,73
1991	15,82	11,26	17,29	13,26	18,87	17,3	18,46	10,95	27,17	13,51	12,03	16,5	192,42
1992	19,4	15,28	14,59	14,82	18,13	16,5	12,49	20,26	15,42	13,44	21,88	17,17	199,38
1993	17,01	15,7	15,88	16,12	15,61	16,75	15,59	11,96	12,02	19,86	18,29	18,24	193,03
1994	15,52	13,11	14,34	14,67	13,7	14,28	16,43	10,21	11,65	18,44	19,02	17,73	179,1
1995	16,49	13,06	12,02	9,98	10,01	10,34	8,46	11,42	6,47	11,31	9,98	10,99	130,53
1996	11,7	11,83	13,62	14,58	12,98	14,16	15,56	16,58	20,22	15,94	3,09	12,89	163,15
1997	14,71	13,76	14,34	16,88	15,26	11,87	12,3	19,74	14,02	8,26	10,94	12,27	164,35
1998	10,16	8,96	20,22	17,1	12,33	17,9	11,21	14,26	13,78	13,46	13,09	15,82	168,29
1999	14,38	12,47	13,01	16,48	15,41	14,62	12,44	14,02	7,8	10,13	10,35	8,66	149,77
2000	15,03	13,04	14,03	14,2	14,98	13,19	6,75	15,28	11,37	8,34	5,18	7,84	139,23
2001	14,33	12,56	13,46	13,5	13,86	14,14	17,43	21,01	18,3	24,2	18,65	14,75	196,19
2002	14,12	14,03	17,15	18,68	19,5	16,14	18,75	17,93	15,59	4,95	9,18	13,93	179,95
2003	12,54	13,18	13,14	13,96	13,71	14,6	17,56	19,7	17,82	8,03	17,7	15,5	177,44
2004	4,8	13,63	11,68	13,46	13,65	13,94	8,93	4,45	11,14	15,11	12,98	13,63	137,4
2005	13,52	12,66	13,29	13,9	13,21	12,86	12,09	12,53	13,68	11,46	12,94	12,95	155,09
2006	12,63	13,41	14,05	14,61	15,02	14,34	13,76	12,8	12,54	11,61	12,16	12,61	159,54
2007	13,45	14,15	14,46	15,34	14,88	15,1	14,51	13,18	13,89	13,04	11,98	12,24	166,22
2008	14,71	15,29	16,07	16,85	17,01	16,27	16,1	15,54	14,25	16,09	15,11	14,08	187,37

Estadísticos Periodo 1940/08

Madriguerras													
AÑO	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	TOTAL
Media	19,71	18,52	19,53	20,11	19,97	20,79	18,58	20,56	18,23	17,16	18,14	18,12	229,43
Máximo	91,46	37,78	37,52	32,48	44,76	61,78	34,45	41,63	33,02	31,62	34,56	35,16	362,78
Mínimo	4,80	8,96	7,78	2,07	10,01	9,87	6,75	4,45	0,00	4,95	3,09	7,84	126,54
Des. Típica	10,45	5,73	6,16	6,15	6,58	7,68	5,81	6,92	5,76	6,06	6,47	5,37	58,22
Sesgo	4,87	0,82	0,66	-0,05	1,55	2,43	0,13	0,50	-0,25	0,14	0,00	0,62	0,28
Estadísticos Periodo 1980/08													
Media	17,33	14,80	15,82	16,26	16,07	15,89	16,41	16,76	15,53	14,59	14,14	14,82	188,43
Máximo	91,46	22,69	25,29	23,14	22,82	20,89	23,80	26,60	27,17	24,20	21,88	20,69	289,86
Mínimo	4,80	8,96	11,68	9,98	10,01	10,34	6,75	4,45	0,00	4,95	3,09	7,84	130,53
Des. Típica	14,54	3,03	3,04	2,87	2,84	2,46	4,54	5,06	5,53	4,65	4,59	3,11	34,65
Sesgo	5,04	0,78	1,27	0,62	0,35	0,01	-0,33	-0,30	-0,56	-0,07	-0,48	-0,23	0,70

Tabla 26. Estadísticos básicos para la serie de aportaciones Madrigueras

Contreras													
AÑO	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	TOTAL
1940	12,83	14,16	11,84	56,83	49,37	38,88	26,62	29,8	16,89	14,51	12,89	17,12	301,74
1941	13,2	13,78	12,87	11,89	11,29	14,39	16,34	12,99	10,72	8,87	10,08	9,55	145,97
1942	10,96	12,83	12,94	14,54	14,28	10,92	11	11,61	9,5	13,01	8,92	10,51	141,02
1943	25,9	24,9	27,02	25,29	22,89	23,39	20,53	24,31	27,55	21,2	17,98	35,39	296,35
1944	16,46	17,23	17,1	18,44	19,02	18,05	16,14	14,18	16,05	13,69	12,77	12,58	191,71
1945	13,4	13,91	28,36	17,85	14,91	29,21	49,84	87,64	31,04	22,52	18,89	18,58	346,15
1946	19,01	17,12	16,87	16,85	72,44	138,62	54,14	48,87	30,71	26,07	29,73	22,14	492,57
1947	25,17	21,14	23,97	58,73	51,14	53,23	32,2	32,06	32,88	21,95	17,75	15,65	385,87
1948	22,8	19,71	21,13	18,4	15,61	18,84	17,83	15,91	17	18,42	13,12	33,24	232,01
1949	41,45	26,55	24,52	24,6	20,61	21,12	17,57	16,16	14,32	11,43	12,3	18,99	249,62
1950	13,29	13,23	29,69	31,71	55,38	126,22	48,59	73,07	48,12	35,09	34,08	32,87	541,34
1951	32,51	44,71	38,75	33,04	39,24	37,73	84,05	49,48	38,93	64,8	34,13	26,29	523,66
1952	23,78	22	22,86	22,49	17,82	18,16	15,79	9,68	6,96	20,07	13,56	15,93	209,1
1953	9,48	9,15	9,65	9,96	12,2	16,97	14,52	14,35	13,06	11,14	10,85	9,96	141,29
1954	15,03	15,21	17,14	28,15	84,88	37,93	24,85	19,41	19,5	14,47	15,86	15,02	307,45
1955	22,9	20,88	49,57	46,7	32,3	56,64	60,48	55,36	44,51	36,8	35,87	33,42	495,43
1956	30,95	23,84	21,93	19,59	20,64	20,05	17,58	26,84	32,01	23,16	23,27	20,76	280,62
1957	34,16	27,6	24,7	25,61	27,9	30,39	37,9	27,36	29,7	21,48	18,61	16,7	322,11
1958	25,36	24,65	65,83	53,52	38,23	41,69	38,47	50,88	45,62	33,04	39,12	25,12	481,53
1959	27,32	25,28	107,17	211,7	197,14	151,36	73,2	52,42	64,87	30,23	23,6	23,12	987,41
1960	56,18	59,73	51,06	59,02	40,08	33,05	39,96	34,35	35,27	28,39	38,94	23	499,03
1961	27,48	41,24	51,79	67,61	35,04	65,04	51,95	44,95	51,48	38,11	32,26	31,16	538,11
1962	34,59	34,85	36,12	92,53	99,93	86,35	81,05	53,31	44,84	38,96	38,1	38,37	679
1963	32,46	50,49	69,31	49,73	62,01	67,93	58,5	43,68	42,29	35,26	27,96	27,08	566,7
1964	30,09	19,21	25,28	37,54	39,18	74,93	40,58	27,24	24,08	21,29	18,48	16,61	374,51
1965	28	54,55	50,58	130,84	126,56	115,47	81,44	64,54	65,54	22,4	19,22	13,51	772,65
1966	28,35	25,2	18,75	12,83	31,3	43,66	36,35	22,22	13,06	10,39	9,81	8,83	260,75
1967	11,69	24,02	12,91	12,57	20,33	21,41	46,69	41,52	28,06	22	18,45	21,47	281,12
1968	20,03	21,59	41,63	51,43	52,23	192,63	65,89	49,19	38,68	29,72	25,47	26,47	614,96
1969	31,16	37,3	33,74	102,69	55,33	47,96	41,35	33,68	27,39	23,29	25,28	22,3	481,47
1970	23,94	23,88	24,87	35,77	28,84	38,44	55,14	108,99	49,03	34,07	29,08	32,61	484,66
1971	27,51	26,81	31,37	38,21	74,49	61,96	34,17	39,14	31,15	25,32	23,09	29,65	442,87
1972	39,04	38,05	38,9	39,52	31,48	32,49	26,8	25,18	38	20,29	19,42	19,13	368,3
1973	21,65	31,19	28,41	37,98	38	58,04	55,31	40,55	27,73	25,88	24,81	19,01	408,56
1974	21,27	19,95	18,75	18,68	21,58	24,68	25,37	33,15	43,3	22,88	17,11	22,3	289,02
1975	17,87	15,92	17,15	15,38	27,36	18,59	19,75	21,26	18,06	24,7	17,12	14,77	227,93
1976	16,15	19,66	55,2	107,06	89,72	70,92	48,69	48	57,21	39,28	28,9	28,66	609,45
1977	28,91	26,86	37,43	31,81	63,77	94,51	54,22	64,33	52,56	37,32	30,12	26,05	547,89
1978	23,25	22,33	26,89	71,62	122,88	75,85	80,5	58,78	55,68	49,23	31,92	33,72	652,65
1979	39,6	36,7	30,43	27,27	27,24	32,73	29,57	41,33	33,54	21,12	18,5	15,46	353,49
1980	18,56	18,01	17,29	14,83	13,33	14,42	19,19	17,33	11,97	11,01	9,15	8,93	174,02
1981	8,47	8,92	12,24	22,79	14,74	14,24	15,16	12,16	16,59	10,39	8,91	7,57	152,18
1982	16,03	22,95	13,71	11,97	11,07	10,93	9,38	12,22	11,85	10,37	9,4	8,2	148,08
1983	6,75	8,6	16,43	11,08	9,51	21,83	25,69	54,59	30,45	15,32	13,55	11,45	225,25
1984	12,1	40,05	26,9	35	62,64	47,07	38,52	40,01	28,17	22,5	16,3	14,62	383,88
1985	14,96	15,14	15,39	18,71	52,12	39,58	33,28	29,32	22,61	19,72	13,36	21,99	296,18
1986	18,37	14,53	13,82	32,26	46,59	32,82	38,79	20,97	15,87	16,46	12,31	11,42	274,21
1987	18,05	25,78	50,58	69,08	59,84	39,16	47,1	68,48	73,46	50,28	31,03	24,42	557,26
1988	26,9	24,35	21,12	18,78	20,11	27,21	30,51	23,73	23,53	15,38	16,26	18,55	266,43
1989	13,9	15,48	71,65	50,27	34	29,99	28,49	24,34	17,62	16,09	14,95	13,61	330,39
1990	16,06	21,61	19,12	18,47	19,12	39,44	85,28	39,96	30,88	23,98	16,32	15,64	345,88
1991	16,15	14,9	16,66	14,44	13,54	13,22	16,91	14,21	14,71	9,77	14,06	8,6	167,17

Análisis de metodologías de balances hídricos en sistemas complejos en el contexto europeo de la planificación hidrológica. Aplicación a la cuenca del Júcar

Contreras													TOTAL
AÑO	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	TOTAL
1992	10,79	11,63	12,83	11,38	10,99	11,67	10,41	11,39	9,16	8,67	7,03	8,95	124,9
1993	7,72	10,62	8,39	12,53	9,32	8,97	10,13	8,08	5,52	5,77	6,03	6,57	99,65
1994	10,7	10,01	8,79	8,25	8,07	7,76	5,97	7,68	7,3	6,07	6,66	5,58	92,84
1995	6,27	6,48	11,46	62,81	44,69	21,13	16,61	21,13	12,33	11,4	12,99	11,97	239,27
1996	10,01	12,14	39,44	157,61	57,95	38,98	33,99	29,17	30,43	23,28	25,15	19,65	477,8
1997	14,69	20,97	57,94	40,34	52,99	31,44	27,46	52,81	40,9	22,91	19,4	15,51	397,36
1998	16,01	14,2	13,9	13,54	10,51	12,28	10,41	9,67	7,4	6,3	6,44	7,2	127,86
1999	12,26	10,18	9,39	9,48	8,7	8,82	19,33	17,81	11,09	9,13	10,35	7,14	133,68
2000	12,62	10,72	24,06	58,93	35,42	67,54	29,2	26,66	15,52	11,71	11,77	13,08	317,23
2001	13,46	10,61	11,39	10,14	8,78	10,59	25,43	21,74	11,87	13,3	11,84	9,54	158,69
2002	9,68	13,04	21,25	38,77	34,79	46,02	46,5	54,34	35,32	22,54	19,71	15,23	357,19
2003	17,6	23,23	21,28	17,83	19,64	30,38	45,01	53,54	27,92	20,23	15,05	17,75	309,46
2004	13,97	13,3	13,93	11,77	11,27	11,9	11	10,68	11,1	9,76	9,3	6,92	134,9
2005	7,47	7,96	8,18	8,38	7,57	10,63	9,28	9,65	10,33	9,07	9,23	8,83	106,58
2006	7,29	8,7	8,53	7,91	8,92	8,87	27,55	19,9	12,67	9,64	10,67	9,19	139,84
2007	7,28	6,85	7,35	7,61	7,55	7,95	20,44	25,19	31,36	13,33	9,33	8,57	152,81
2008	12,17	20,31	16,9	21,82	39,84	24,72	21,97	17,96	12,81	9,75	9,39	9,88	217,52
Estadísticos Período 1940/08													
Media	19,88	21,43	27,17	37,72	38,24	41,30	34,93	33,66	27,79	21,25	18,45	17,82	339,63
Máximo	56,18	59,73	107,17	211,70	197,14	192,63	85,28	108,99	73,46	64,80	39,12	38,37	987,41
Mínimo	6,27	6,48	7,35	7,61	7,55	7,76	5,97	7,68	5,52	5,77	6,03	5,58	92,84
Des. Típica	9,90	11,37	18,54	36,51	33,06	36,35	20,53	20,53	16,11	11,57	8,91	8,46	181,80
Sesgo	1,04	1,34	1,82	2,57	2,30	2,07	0,85	1,12	0,75	1,26	0,74	0,59	0,96
Estadísticos Período 1980/08													
Media	12,98	15,22	20,34	28,16	25,30	23,78	26,17	26,02	20,37	14,97	12,96	11,95	238,22
Máximo	26,90	40,05	71,65	157,61	62,64	67,54	85,28	68,48	73,46	50,28	31,03	24,42	557,26
Mínimo	6,27	6,48	7,35	7,61	7,55	7,76	5,97	7,68	5,52	5,77	6,03	5,58	92,84
Des. Típica	4,66	7,36	15,54	30,51	18,91	15,30	16,44	16,68	13,99	8,81	5,62	4,94	120,95
Sesgo	0,76	1,52	2,14	3,03	0,78	0,98	1,71	1,09	2,12	2,43	1,50	0,94	0,89

Tabla 27. Estadísticos básicos para la serie de aportaciones Contreras

Tous													TOTAL
AÑO	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	TOTAL
1940	15,38	16,7	21,58	32,61	61,62	67,96	53,92	45,87	41,14	32,35	24,19	30,86	444,18
1941	25,68	23,08	23,04	14,21	12,91	8,82	15,12	25,64	18,35	15,61	10,49	13,45	206,4
1942	47,33	32,91	38,58	41,25	50,2	60,47	40,98	43,27	65,49	60,07	63,85	74,21	618,61
1943	86,09	54,24	52,48	58,86	54,25	55,23	51,44	60,82	63,68	56,48	65,18	0	658,75
1944	13,28	13,11	18,13	21,02	19,61	13,4	26,86	28,53	26,19	25,97	22,93	8,5	237,53
1945	18,75	21,99	33,79	42,48	38,96	31,54	54,5	52,78	39,9	29,94	34,33	29,25	428,21
1946	32,68	32,33	38,7	46,25	0	0	37,83	45,32	26,52	24,13	24,66	28,79	337,21
1947	36,34	36,42	48,03	51,78	79,51	55,79	28,59	39	45,58	0	16,2	16,81	454,05
1948	20,11	33,61	56,8	65,97	139,01	105,24	49,79	43,48	34,05	11,83	23,8	16,74	600,43
1949	51,54	12,48	29,7	46,03	30,92	12,21	11,35	10,61	5,4	9,22	9,57	10,9	239,93
1950	22,74	16,79	29,15	26,03	36,05	100,1	87,22	105,27	29,89	16,1	26,05	66,96	562,35
1951	48,09	36,42	49,85	47	44,88	24,48	15,33	23,41	20,7	13	41,87	24,24	389,27
1952	23,06	21,19	23,79	32,86	38,1	29,11	20,98	20,54	24,45	14,64	20,36	16,71	285,79
1953	16,17	28,95	30,92	33,49	18,54	15,51	26,38	20,95	13,49	2,85	4,06	9,77	221,08
1954	0	10,69	12,03	15,95	0	19,56	15,47	15,93	26,24	22,49	16,83	40,15	195,34
1955	4,7	6,98	15,78	6,14	13	6,17	15,88	5,88	7,84	3,91	7,03	9,07	102,38
1956	10,43	13,75	11,08	23,77	37,31	7,15	0	1,43	14,83	2,1	0	24,75	146,6
1957	10,96	29,99	21,34	19,36	30,15	10,93	26,94	28,73	2,77	3,89	7,95	23,82	216,83
1958	34,87	29,28	30,1	0	0	52,57	14,28	39,65	0	2,1	1,39	45,89	250,13
1959	12,08	7,26	0	2,82	0	30,35	0	3,33	22,76	18,02	10,68	5,09	112,39
1960	16,16	21,66	2,35	18,26	20,56	19,93	7,16	0	8,92	1,06	13,13	18,44	147,63
1961	25,35	13,24	10,14	16,81	25,3	32,34	9,63	16,81	28,53	7,45	3,21	5	193,81
1962	26,54	41,36	26,97	24,32	47,18	4,04	0	12,17	0	9,54	5,94	0	198,06
1963	10,08	0	23,31	0	0	0	0	6,34	10,81	7,78	27,3	6,64	92,26
1964	8,82	36,49	33,56	17,86	46,87	23,08	32,01	33,74	37,74	10,55	15,02	14,51	310,25
1965	84,27	106,84	63,61	66,53	39,7	0	33,79	23,49	25,69	33,17	20,79	24,4	522,28
1966	31,47	52,72	57,7	65,68	53,22	29,87	28,13	25,7	27,02	22,59	24,92	22,52	441,54
1967	29,68	10,22	12,37	0	48,53	77,27	21,86	0	16,76	13,26	27,68	23,23	280,86
1968	12,71	14,87	22,29	42,19	35,59	107,43	50,31	33,78	21,26	12,72	9,33	16,43	378,91
1969	88,5	17,93	21,12	68,48	33,26	24,87	21,83	15,82	20,78	34,94	7,49	16,05	371,07
1970	25,49	20,02	25,27	28,6	13,61	23,26	19,18	12,74	36,34	25,19	10,1	12,57	252,37
1971	84,77	48,8	78,02	87,42	46,3	35,01	46,09	21,07	17,11	16,61	24,39	26,02	531,61
1972	41,37	83,13	85,16	62,72	48,47	54,29	33,1	31,35	23,6	23,76	23,7	26,48	537,13
1973	26,64	16,45	23,71	28,98	15,1	22,84	27,63	20,09	30,24	34,97	26,79	25,6	299,04

AÑO	Tous												TOTAL
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
1974	26,95	19,22	20,76	24,4	20,54	21,57	6,2	8,91	15,74	11,13	24,79	16,34	216,55
1975	20,08	10,18	68,88	40,12	34,84	25,8	29,33	48,02	27,37	15,3	17,87	6,43	344,22
1976	5,08	2,48	7,34	34,2	17,53	17,88	11,92	14,7	14,98	17,1	0	0	143,21
1977	10,29	2,63	15,57	26,93	24,1	15,08	10,36	12,61	7,79	5,19	10,64	8,28	149,47
1978	19,75	9,73	15,03	15,27	13,91	17,46	11,26	13,68	13,66	10,95	13,45	21,77	175,92
1979	16,43	15,36	18,81	25,32	27,66	23,83	16,73	18,65	19,05	10,96	12,66	17,73	223,19
1980	14,08	6,7	17,54	15,73	11,4	15,46	14,79	15,04	10,99	9,61	13,97	11,94	157,25
1981	14,76	9,92	16,33	16,03	9,18	13,65	10,3	16,59	15,46	13,02	15,32	9,57	160,13
1982	117,69	10,32	8,09	10,05	19,54	12,1	3,62	15,79	15,94	12,94	22,99	7,09	256,16
1983	13,73	12,49	10,68	6,84	6,91	8,69	6,69	14,15	7,67	12,31	13,11	10,87	124,14
1984	12,45	19,6	6,57	11,87	8,59	7,4	1,42	5,84	5,7	1,66	10,57	8,71	100,38
1985	6,58	11,03	7,12	6,23	7,02	5,42	1,42	11,07	8,66	24,59	12,58	12,64	114,36
1986	15,83	11,96	7,11	15,63	9,19	10,66	1,71	8,02	5,27	19,41	11,91	7,69	124,39
1987	15,58	26,44	19,85	21,19	17,01	13,56	7,45	1,51	4,41	10,41	1,78	1,37	140,56
1988	18,26	1,46	17,46	13,3	19,25	4,55	20,54	19,5	13,45	32	22,56	1,37	183,7
1989	5,54	19,03	35,06	30,32	14,55	19,81	18,05	18,79	14,45	19,76	20,84	15,81	232,01
1990	15,4	17,19	16,08	18,22	16,51	24,59	20,82	20,44	17,06	12,68	19,15	19,48	217,62
1991	16,24	18,07	18,28	16,36	15,43	17,17	14,26	19,7	21,21	16,29	17,4	15,33	205,74
1992	15,7	13,32	19,53	18,3	23,23	19,78	19	21,74	19,05	12,84	16,75	13,62	212,86
1993	16,43	23,25	17,29	15,82	14,3	15,57	14,28	19,66	13,99	10,76	8,26	15,21	184,82
1994	22,25	16,65	12,8	12,96	14,42	15,38	12,08	14,47	17,24	12,16	13,48	13,33	177,22
1995	13,35	12,17	13,23	15,89	13,28	15,78	13,42	18,38	14,55	11,95	10,33	19,6	171,93
1996	9,19	13,9	13,45	21,89	12,14	7,72	12,13	0,78	15,02	3,57	8,71	17,34	135,84
1997	20,03	13,36	12,94	20,77	22,77	26,42	15,17	13,42	7,28	10,59	5,58	16,88	185,21
1998	16,14	11,45	19,1	14,98	12,8	18,27	6,95	17,99	9,04	8,47	7,26	17,41	159,86
1999	14,63	14,92	16,27	12,28	11,97	13,2	11,26	12,6	9,02	7,9	8,02	8,91	140,98
2000	15,23	10,64	12,34	13,05	12,5	10,75	11,77	9,89	8,1	9,19	12,56	10,67	136,69
2001	12,27	13,84	14,74	20,55	12,7	14,58	14,48	24,47	8,38	7,84	13,68	12,13	169,66
2002	11,59	10,19	8,86	4,87	6,5	10,84	7,87	11,12	9,54	11,74	10,49	12,77	116,38
2003	14,18	12,8	14,01	12	13,96	19,79	19,51	30,69	17,03	17,43	14,57	19,76	205,73
2004	16,67	14,3	21,64	14,9	14,52	15,23	12,84	10,88	9,74	11,13	17,7	14,67	174,22
2005	11,64	13,4	12,07	15,01	13,1	12,78	11,32	10,22	9,48	5,97	4,89	8,68	128,56
2006	12,18	11,93	12,62	14,51	13,55	13,62	21,74	12,77	10,22	10,38	10,78	12,04	156,34
2007	21,09	15,9	15,28	16,14	18,4	16,1	13,99	16,95	17,64	12,2	14,45	15,68	193,82
2008	46,24	30,45	25,08	25,88	21,69	24,86	24,7	19,25	16,71	13,97	20,27	24,7	293,8
Estadísticos Periodo 1940/08													
Media	24,57	20,84	24,03	25,70	24,98	24,73	19,90	21,19	18,62	15,24	16,39	17,10	253,29
Máximo	117,69	106,84	85,16	87,42	139,01	107,43	87,22	105,27	65,49	60,07	65,18	74,21	658,75
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	92,26
Des. Típica	22,05	17,33	17,48	18,60	21,60	23,18	15,91	16,64	12,75	11,25	11,74	12,79	140,73
Sesgo	2,41	2,74	1,69	1,25	2,55	2,14	1,65	2,31	1,58	1,85	2,10	2,32	1,31
Estadísticos Periodo 1980/08													
Media	19,14	14,37	15,22	15,57	14,01	14,61	12,54	14,89	12,15	12,51	13,10	12,94	171,05
Máximo	117,69	30,45	35,06	30,32	23,23	26,42	24,70	30,69	21,21	32,00	22,99	24,70	293,80
Mínimo	5,54	1,46	6,57	4,87	6,50	4,55	1,42	0,78	4,41	1,66	1,78	1,37	100,38
Des. Típica	20,18	5,67	5,91	5,44	4,51	5,45	6,20	6,44	4,57	5,99	5,28	5,22	44,62
Sesgo	4,52	0,83	1,26	0,47	0,33	0,31	-0,14	-0,12	0,12	1,32	0,02	-0,24	0,80

Tabla 28. Estadísticos básicos para la serie de aportaciones Tous

AÑO	Sueca												TOTAL
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
1940	12,01	9,27	3,77	11,35	11,64	12,86	11	8,4	5,09	1,46	1,09	11,79	99,73
1941	12,92	8,11	3,59	4,38	9,58	11,66	11,03	7,55	4,12	1,07	0,66	4,36	79,03
1942	5,89	6,32	2,4	3,05	22,78	12,71	9,52	6,81	3,81	0,95	0,42	3,82	78,48
1943	47,31	12,23	8,58	8,28	13,34	13,97	10,51	8,64	4,44	1,09	0,71	4,42	133,52
1944	6,32	3,76	8,64	6,39	10,44	11,15	9,02	6,93	4,42	0,96	0,69	3,18	71,9
1945	4,72	6,13	2,62	4,62	7,8	8,98	49,69	20,53	9,93	2,63	1,46	6,19	125,3
1946	9,18	7,99	6,47	10,23	24,02	22,48	15	15,82	7,95	2,13	1,22	8,92	131,41
1947	17,91	11,04	3,74	4,61	87,11	28,76	25,41	21,87	11,61	2,86	1,35	7,04	223,31
1948	34,14	13,73	26,71	26,63	131,07	156,12	64,75	44,66	25,35	6,85	4,05	16,95	551,01
1949	24,56	16,28	10,53	22,88	29,23	30,36	23,25	18,82	10,7	2,7	1,69	8,84	199,84
1950	14,3	8,98	4,65	5,15	9,2	22,81	85,74	26,97	14,59	4,33	2,94	13,7	213,36
1951	18,16	12,36	9,98	0	26,73	19,29	17,17	12,23	7,88	2,58	1,77	6,51	134,66
1952	9,69	7,34	3,06	3,62	7,04	33,29	15,5	11,45	6,83	1,97	1,19	4,65	105,63
1953	37,03	72,67	8,33	9,36	18,82	23,55	56,67	19,24	11,02	2,47	1,12	6,94	267,22
1954	10,61	6,32	2,31	4,03	8,5	9,36	7,65	6,13	3,42	0,97	0,75	2,98	63,03
1955	5,44	7,99	3,32	10,56	26,58	22,32	16,39	11	6,39	1,65	0,79	4,6	117,03

Análisis de metodologías de balances hídricos en sistemas complejos en el contexto europeo de la planificación hidrológica. Aplicación a la cuenca del Júcar

AÑO	Sueca											TOTAL	
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago		Sep
1956	37,51	28,28	7,4	11,47	17,42	18,3	14,42	14,03	7,95	2,1	1,3	5,87	166,05
1957	115,72	24,63	9,5	14,87	24,64	24,91	22,7	17,09	10,18	2,72	1,65	7,08	275,69
1958	151,41	24,54	14,08	14,26	93,64	53,51	35,91	58,38	20,77	5,25	3,01	16,98	491,74
1959	29,2	17,17	6,93	10,37	22,19	23,4	17,3	14	10,68	2,91	1,79	8,21	164,15
1960	16,12	8,23	5,02	5,79	10,02	11,71	9,98	8,71	5,58	1,72	1,06	4,28	88,22
1961	9,76	17,89	5,45	6,19	10,24	19,36	13,68	17,77	8,05	2,13	1,43	5,29	117,24
1962	27,63	12,22	4,8	9,06	18,52	13,88	11,5	8,7	6,01	2,08	1,47	7,02	122,89
1963	9,6	6,27	5,78	7,24	14,58	15,94	12,14	9,09	6,34	1,51	0,86	4,03	93,38
1964	6,41	4,38	16,76	9,71	20,23	19,4	15,9	11,59	6,68	1,89	1,14	4,54	118,63
1965	114,89	19,84	8,75	11,69	19,13	17,22	15,77	11,85	7	2,3	1,45	5,33	235,22
1966	27,14	11,49	4,35	5,04	24,56	19,24	22,15	13,41	8,56	2,16	1,24	6,03	145,37
1967	9,87	42,58	6,21	8,27	17,56	33,45	19,44	16,47	9,74	2,88	1,45	6,09	174,01
1968	8,81	6,98	2,62	4,85	11,63	14,8	19,8	11,74	6,67	1,94	1,34	6,8	97,98
1969	93,37	20,04	7,98	15,33	16,27	18,03	15,17	11,72	7,83	2,25	1,58	5,44	215,01
1970	10,12	6,23	3,24	4,63	6,95	26,73	21,72	28,27	9,01	2,76	1,56	6,71	127,93
1971	119,84	33,66	35,57	21,82	35,77	41,09	29,34	23,57	13,54	4,06	2,6	13,15	374,01
1972	41,64	12,5	19,31	20,08	33,47	97,59	40,62	28,29	17,72	4,72	2,75	11,48	442,67
1973	17,34	12,1	14,08	12,23	30,54	56,1	60,79	29,69	17,5	4,83	3,05	11,8	270,05
1974	19,29	13,25	5,95	7,36	13,51	40,97	23,23	20,88	11,88	3,18	2,07	8,25	169,82
1975	12,53	10,98	45,09	14,07	26,18	24,9	26,69	26,87	13,78	4,32	3,01	9,72	218,14
1976	14,2	9,6	5,12	19,97	20,1	20,22	17,08	23,36	11,29	3,13	1,78	8,7	154,55
1977	29,1	14,72	10,43	10,43	17,85	18,04	14,77	13,4	7,82	2,42	1,8	6,23	147,01
1978	9,6	6,37	2,97	5,96	9,91	9,76	8,14	6,54	4,62	1,72	1,08	4,36	71,03
1979	6,52	4,17	1,9	13,92	55,24	27,64	28,09	20,49	10,72	2,83	1,45	7	179,97
1980	10,46	8,39	2,78	3,51	6,75	7,56	40,73	12,89	8,19	2,19	1,29	5,16	109,9
1981	7,67	5,31	2,18	4,98	5,86	25,22	14,06	10,32	5,19	1,51	0,78	3,61	86,69
1982	131,99	23,45	6,46	7,92	14,36	13,75	11,46	8,88	6,01	1,71	1,37	5,26	232,62
1983	6,75	21,35	4,23	4,66	9,59	11,05	8,66	9,77	4,98	1,38	0,91	3,65	86,98
1984	5,54	42,58	5,57	6,63	14,47	14,17	11,57	9,51	5,71	1,78	1,11	4,42	123,06
1985	6,81	10,2	4	5,25	9,2	9,75	7,91	6,15	3,18	1,26	0,68	32,22	96,61
1986	57,34	24,15	7,87	18,95	29,99	26,72	21,01	16,01	9,33	2,42	1,3	5,93	221,02
1987	12,46	131,28	6,48	39,21	31,49	18,96	35,71	8,47	8,43	3,66	0	12,84	308,99
1988	12,66	12,78	9,99	31,88	28,1	31,95	37,43	9,92	15,6	0	0	66,76	257,07
1989	13,09	25,59	74,77	113,35	78,86	62,05	43,83	56,9	14,64	9,65	9,03	33,63	535,39
1990	48,51	34,27	15,55	44,25	55,83	93,97	77,6	32,51	21,34	11,03	0	24,73	459,59
1991	45,65	19,54	35,48	34,85	49,01	50,16	26,92	29,93	42,09	8,44	0	5,3	347,37
1992	25,69	15,18	31,99	39,83	111,79	77,43	39,02	26,87	21,21	11,53	0	7,79	408,33
1993	32,3	25,93	33,74	26,12	14,1	15,52	15,99	2	3,77	5,56	0,71	6,16	181,9
1994	32,08	13,07	3,69	8,77	6,43	13,21	2,29	0,47	1,15	0,82	2,12	14,65	98,75
1995	11,33	10,26	19,2	18,18	29,04	24,97	5,47	4,25	0	0	0	27,41	150,11
1996	16,62	14,07	14,37	24,08	22,26	18,59	23,01	4,38	7,99	12,62	3,87	31,08	192,94
1997	65,65	9,92	17,18	22,54	27,12	14,97	10,4	13,79	13,04	14,32	10,19	2,86	221,98
1998	2,71	5,43	15,26	7,95	5,13	7,81	3,28	5,44	10,4	15,81	11,52	13,25	103,99
1999	12,7	13,46	14,59	12,19	9,88	10,08	7,17	5,69	7,14	10,55	6,14	0	109,59
2000	66,95	22,5	20,1	16,43	15,33	16,5	9,76	17,12	13,28	18,42	10,94	9,65	236,98
2001	12,36	13,31	14,95	21,88	18,39	15,14	20,69	56,75	27,95	32,24	23,69	24,2	281,55
2002	17,86	16,61	16,06	15,37	14,43	18,22	17,24	20,16	10,9	11,67	9,24	15,78	183,54
2003	18,79	18,94	22,07	14,75	16,3	26,76	36,65	51,6	35,8	19,11	11,07	16,99	288,83
2004	15,19	16,48	27,65	25,39	24,92	27,64	22,37	1,88	16,09	17,63	22,14	18,4	235,78
2005	18,57	18,4	17,97	17,7	12,57	12,71	7,37	13,65	11,93	5,98	5,07	6,66	148,58
2006	6,68	7,85	7,6	11,63	12,04	12,43	15,98	16,23	12,35	11,12	3,82	9,43	127,16
2007	58,4	49	31,87	26,37	30,07	30,1	22,49	32,14	42,31	26,91	20,43	17,11	387,2
2008	59,16	27,96	28,77	24,98	21,35	29,26	34,64	33,85	34,08	27,83	22,86	70,52	415,26
Estadísticos Periodo 1940/08													
Media	29,56	19,54	12,61	15,21	25,20	26,70	22,83	17,54	11,47	5,68	3,54	11,46	201,35
Máximo	151,41	131,28	74,77	113,35	131,07	156,12	85,74	58,38	42,31	32,24	23,69	70,52	551,01
Mínimo	2,71	3,76	1,90	0,00	5,13	7,56	2,29	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	63,03
Des. Típica	32,97	22,27	12,50	15,41	24,24	24,00	16,92	13,03	8,68	6,83	5,43	12,32	118,94
Sesgo	2,12	3,73	2,44	4,10	2,67	3,26	1,77	1,59	1,99	2,17	2,63	3,24	1,29
Estadísticos Periodo 1980/08													
Media	28,69	22,66	17,67	22,40	24,99	25,40	21,75	17,85	14,28	9,90	6,22	17,08	228,89
Máximo	131,99	131,28	74,77	113,35	111,79	93,97	77,60	56,90	42,31	32,24	23,69	70,52	535,39
Mínimo	2,71	5,31	2,18	3,51	5,13	7,56	2,29	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	86,69
Des. Típica	28,35	23,28	14,90	20,85	23,34	20,73	16,39	16,02	11,73	8,90	7,61	17,19	123,28
Sesgo	2,00	3,90	2,12	3,12	2,43	2,12	1,52	1,33	1,26	0,93	1,28	1,98	0,83

Tabla 29. Estadísticos básicos para la serie de aportaciones Sueca

AÑO	Forata												TOTAL
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
1940	0,31	0,24	0,12	1,31	0,58	0,45	0,42	0,42	0,34	0,29	0,23	0,39	5,1
1941	0,21	0,13	0,12	0,13	0,12	0,12	0,4	0,11	0,11	0,1	0,09	0,11	1,75
1942	0,1	0,2	0,12	0,09	0,11	0,13	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,2	1,37
1943	0,29	0,09	0,37	0,1	0,1	0,09	0,09	0,23	0,1	0,09	0,09	0,16	1,8
1944	0,1	0,09	0,67	0,1	0,11	0,09	0,09	0,08	0,1	0,08	0,08	0,08	1,67
1945	0,08	0,15	0,11	0,36	0,09	0,2	4,79	0,92	0,36	0,35	0,3	0,27	7,98
1946	0,15	0,17	0,4	0,27	2,77	1,56	0,67	1,51	0,67	0,53	0,45	0,48	9,63
1947	0,42	0,32	0,26	0,23	3,69	0,62	1,12	0,58	0,47	0,37	0,3	0,24	8,62
1948	0,29	0,19	3,77	1,59	4,91	8,05	1,44	1,14	1,03	0,79	0,64	0,6	24,44
1949	0,46	0,37	0,52	0,59	0,31	0,24	0,14	0,29	0,16	0,09	0,1	0,1	3,37
1950	0,1	0,08	0,38	0,12	0,13	1,38	8,48	1,95	1,03	0,83	0,74	2,47	17,69
1951	1,01	0,99	4,07	1,33	0,99	0,84	0,79	0,64	0,51	0,42	0,38	0,3	12,27
1952	0,24	0,21	0,2	0,17	0,11	0,13	0,1	0,09	0,1	0,09	0,08	0,08	1,6
1953	0,29	0,22	0,13	0,08	0,09	0,14	0,81	0,15	0,11	0,08	0,08	0,08	2,26
1954	0,07	0,07	0,07	0,09	0,12	0,08	0,08	0,07	0,08	0,07	0,09	0,19	1,08
1955	0,09	0,11	0,23	0,1	0,29	0,44	0,24	0,13	0,12	0,11	0,11	0,13	2,1
1956	0,32	1,22	0,22	0,51	0,22	0,15	0,13	0,36	0,19	0,12	0,1	0,08	3,62
1957	8,25	1,12	0,89	0,96	0,65	0,57	0,53	0,52	0,49	0,34	0,27	0,21	14,8
1958	0,41	0,34	3,41	0,7	2,3	2,24	1,02	4,54	1,27	1,03	0,86	1,51	19,63
1959	0,87	0,72	0,68	1,53	1,86	1,13	0,78	0,71	0,89	0,56	0,44	0,35	10,52
1960	1,65	0,44	1,57	0,62	0,39	0,36	0,32	0,3	0,23	0,2	0,19	0,19	6,46
1961	0,17	0,71	0,33	0,26	0,31	1,43	0,53	2,47	0,59	0,47	0,43	0,4	8,1
1962	2,48	0,82	0,79	2,04	3,17	1,06	0,97	0,73	0,44	0,42	0,39	0,5	13,81
1963	0,33	0,33	1,98	0,52	1,14	0,56	0,42	0,35	0,51	0,34	0,29	0,24	7,01
1964	0,22	0,2	3,02	0,39	0,82	0,61	0,42	0,33	0,26	0,21	0,18	0,17	6,83
1965	4,79	0,96	0,79	1,74	1,31	0,53	0,74	0,48	0,46	0,4	0,36	0,3	12,86
1966	0,39	0,27	0,23	0,21	1,02	0,3	0,43	0,26	0,16	0,12	0,11	0,09	3,59
1967	0,09	5,29	0,45	0,4	0,93	0,86	0,53	0,42	0,34	0,27	0,22	0,2	10
1968	0,17	0,33	0,29	0,56	1,49	1,41	1,26	0,86	0,66	0,45	0,4	0,37	8,25
1969	5,44	1,07	0,83	4,48	1,02	0,84	0,68	0,44	0,41	0,33	0,3	0,28	16,12
1970	0,28	0,23	0,28	0,23	0,2	1,11	1,61	4,97	0,98	0,79	0,46	0,46	11,6
1971	6,97	1,79	8,08	2,38	1,77	2,21	1,36	1,3	0,99	0,81	0,69	1,59	29,94
1972	1,03	4,02	1,07	0,86	0,69	1	0,6	0,49	1,05	0,49	0,39	0,36	12,05
1973	0,28	0,24	0,33	0,2	0,34	4,12	2,59	0,94	0,76	0,61	0,54	0,41	11,36
1974	0,34	0,27	0,23	0,2	0,46	1,39	0,36	1,22	0,58	0,4	0,31	0,32	6,08
1975	0,23	0,22	4,51	0,59	0,8	0,5	1	0,93	0,57	0,75	1,13	0,52	11,75
1976	0,57	0,37	0,93	2,47	0,83	0,65	0,52	1,51	0,68	0,51	0,4	0,43	9,87
1977	1,79	0,7	1,2	0,65	1,15	0,59	0,58	0,73	0,48	0,36	0,28	0,22	8,73
1978	0,19	0,12	0,15	0,32	0,27	0,16	0,17	0,14	0,14	0,11	0,11	0,17	2,05
1979	0,21	0,13	0,11	0,72	2,26	0,38	0,33	0,73	0,38	0,29	0,24	0,19	5,97
1980	0,1	0,39	0,18	0,11	0,1	0,09	6,88	0,58	0,39	0,35	0,32	0,26	9,75
1981	0,21	0,19	0,18	0,18	0,11	0,51	0,29	0,16	0,11	0,09	0,1	0,09	2,22
1982	5,61	0,87	0,52	0,36	0,34	0,29	0,24	0,22	0,2	0,18	0,17	0,1	9,1
1983	0,1	0,34	0,21	0,12	0,17	0,22	0,12	0,74	0,32	0,26	0,22	0,11	2,93
1984	0,11	5,92	0,63	0,56	0,94	0,45	0,37	0,46	0,34	0,29	0,25	0,22	10,54
1985	0,2	0,29	0,21	0,17	0,3	0,13	0,16	0,11	0,11	0,11	0,09	0,14	2,02
1986	2,61	0,3	0,27	3,09	2,07	0,79	0,64	0,51	0,39	0,33	0,27	0,24	11,51
1987	0,63	9,59	2,84	4,57	1,68	1,29	2,03	1,57	5,07	1,45	1,19	0,97	32,88
1988	1,58	2,11	0,99	0,82	1,84	1,55	1,24	0,92	0,75	0,61	0,5	1,47	14,38
1989	0,62	6,12	17,28	3,06	1,73	2,13	1,42	1,16	0,94	0,77	0,63	0,54	36,4
1990	1,02	0,81	0,51	2,49	5,07	2,8	5,12	1,47	1,19	0,96	0,77	0,63	22,84
1991	0,53	0,43	0,54	0,37	1,01	0,46	0,35	0,31	0,62	0,32	0,25	0,2	5,39
1992	0,21	0,11	0,37	0,25	0,63	0,42	0,27	0,21	0,16	0,12	0,08	0,08	2,91
1993	0,84	0,28	0,17	0,13	0,09	0,08	0,11	0,08	0,08	0,08	0,08	0,1	2,12
1994	1,72	0,61	0,49	0,39	0,28	0,27	0,04	0,12	0,09	1,06	2,94	0,23	8,24
1995	0,15	0,17	0,45	0,7	0,82	0,4	0,2	0,7	0,13	0,19	0,11	0,62	4,64
1996	0,17	0,5	0,8	5,24	1,77	0,88	1,18	0,68	1,5	0,11	0,38	0,38	13,59
1997	0,78	0,51	0,85	0,78	1,59	0,43	0,31	0,67	0,39	0	0,18	0,18	6,67
1998	0,44	0,36	0,94	0,77	0,45	0,55	0,31	0,31	0,07	0,05	0,23	1,84	6,32
1999	0,68	0,58	0,48	0,56	0,42	0,48	0,43	0,53	0,1	0,01	0,05	0,17	4,49
2000	2,1	0,61	0,76	1,02	0,69	0,7	0,51	0,4	0,09	0,09	0,11	0,23	7,31
2001	0,71	0,61	0,7	1,21	0,72	0,72	0,99	1,44	0,43	0,38	0,32	0,51	8,74
2002	0,5	0,45	0,64	0,5	0,56	0,65	0,74	0,92	0,22	0,19	0,12	0,35	5,84
2003	0,55	0,51	0,51	0,43	0,47	1,07	1,29	2,16	0,62	0,24	0,14	0,36	8,35
2004	0,35	0,4	0,73	0,41	0,5	0,38	0,36	0,12	0,11	0,18	0,09	0,27	3,9
2005	0,28	0,53	0,36	0,71	0,76	0,64	0,35	0,18	0,16	0,03	0,05	0,23	4,28
2006	0,22	0,64	0,4	0,52	0,62	0,49	1,37	0,8	0,3	0,12	0,14	0,27	5,89
2007	0,69	0,45	0,59	0,56	0,73	0,77	0,19	0,5	0,81	0,17	0,07	0,73	6,26
2008	2,12	1,37	1,35	1,06	0,93	1,18	1,04	0,47	0,2	0,06	0,09	0,64	10,51

Forata													
AÑO	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	TOTAL
Estadísticos Periodo 1940/08													
Media	0,98	0,89	1,14	0,89	0,98	0,86	0,96	0,76	0,50	0,34	0,33	0,40	9,04
Máximo	8,25	9,59	17,28	5,24	5,07	8,05	8,48	4,97	5,07	1,45	2,94	2,47	36,40
Mínimo	0,07	0,07	0,07	0,08	0,09	0,08	0,04	0,07	0,07	0,00	0,05	0,08	1,08
Des. Típica	1,62	1,62	2,36	1,09	1,04	1,13	1,47	0,87	0,65	0,30	0,40	0,44	7,26
Sesgo	2,96	3,68	5,31	2,36	2,16	4,39	3,57	3,10	5,23	1,43	4,45	2,86	1,83
Estadísticos Periodo 1980/08													
Media	0,89	1,24	1,21	1,07	0,94	0,72	0,98	0,64	0,55	0,30	0,34	0,42	9,31
Máximo	5,61	9,59	17,28	5,24	5,07	2,80	6,88	2,16	5,07	1,45	2,94	1,84	36,40
Mínimo	0,10	0,11	0,17	0,11	0,09	0,08	0,04	0,08	0,07	0,00	0,05	0,08	2,02
Des. Típica	1,13	2,17	3,13	1,32	0,98	0,60	1,49	0,51	0,94	0,35	0,56	0,41	8,31
Sesgo	2,94	2,96	5,17	2,11	2,88	2,01	3,10	1,32	4,27	2,00	3,96	2,21	2,23

Tabla 30. Estadísticos básicos para la serie de aportaciones Forata

Bellús													
AÑO	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	TOTAL
1940	0,47	0,4	0,34	1,56	0,57	0,48	0,43	0,43	0,35	0,29	0,24	4,94	10,5
1941	0,87	0,73	1,12	0,94	1,6	1,19	1,09	0,88	0,74	0,63	0,54	0,6	10,93
1942	0,46	1,85	0,68	0,57	9,31	2,11	1,46	1,22	1,05	0,92	0,78	0,72	21,13
1943	8,94	1,61	7,94	1,8	1,57	1,35	1,15	0,99	0,85	0,72	0,62	0,54	28,08
1944	0,46	0,41	9,59	1,2	1,15	0,95	0,81	0,7	0,59	0,51	0,43	0,36	17,16
1945	0,31	0,71	0,38	2,29	0,69	0,65	6,11	1,75	1,23	1,05	0,9	0,76	16,83
1946	0,67	2,02	8,85	2,8	1,86	1,73	1,46	2,24	1,35	1,15	1,01	1,14	26,28
1947	2,88	1,13	0,97	0,83	14,12	1,63	2,03	3,62	1,69	1,44	1,23	1,04	32,61
1948	8,76	1,61	3,93	7,69	16,33	8,9	5,22	3,71	2,97	2,55	2,18	1,9	65,75
1949	1,7	1,4	10,18	15,97	3,48	2,5	2,13	2,25	1,74	1,49	1,27	1,22	45,33
1950	1,02	0,86	0,74	0,63	0,53	2,39	5,27	2,13	1,43	1,22	1,05	0,9	18,17
1951	1,1	0,81	3,54	1,33	1,15	0,97	1,12	0,82	0,7	0,59	0,51	0,44	13,08
1952	0,38	0,33	0,28	0,23	0,21	6,98	0,96	0,79	0,75	0,63	0,53	0,45	12,52
1953	8,28	24,72	2,28	1,97	2,3	4,12	13,08	2,64	2,28	1,95	1,67	1,42	66,71
1954	1,21	1,02	1,46	1,86	1,02	1,02	0,81	0,69	0,59	0,5	0,45	4,11	14,74
1955	0,69	1,85	1,04	7,56	2,82	1,64	1,45	1,24	1,05	0,9	0,76	0,65	21,65
1956	5,83	2,57	1,33	2,92	1,42	1,22	1,13	1,62	1,06	0,9	0,76	0,65	21,41
1957	6,85	3,55	4,45	4,05	2,07	1,77	2,23	1,58	1,41	1,19	1,01	0,86	31,02
1958	29,59	5,31	4,41	2,73	16,7	3,8	2,96	11,06	3,12	2,67	2,27	2,72	87,34
1959	2,75	2,01	1,71	3,79	1,82	1,8	1,45	1,25	3,62	1,39	1,17	1	23,76
1960	0,95	0,77	2	0,89	0,75	0,64	0,54	0,52	0,43	0,37	0,31	0,26	8,43
1961	1,4	1,79	0,71	0,61	0,53	1,64	0,73	1,5	0,82	0,7	0,59	0,52	11,54
1962	1,04	0,79	0,59	0,68	0,53	0,45	0,39	0,33	0,28	0,24	0,2	1,34	6,86
1963	0,47	0,4	5,52	3,63	1,36	1,35	1,12	0,95	0,81	0,7	0,6	0,51	17,42
1964	0,59	0,46	15,08	1,84	1,71	1,35	1,25	1,05	0,9	0,77	0,66	0,56	26,22
1965	10,52	1,34	1,43	1,11	0,95	0,81	0,69	0,59	0,58	0,47	0,4	0,34	19,23
1966	7,66	1,02	0,87	0,74	3,18	1,02	3,92	1,24	1,31	1,01	0,86	0,77	23,6
1967	0,64	5,45	1,15	1,25	1,28	3,11	1,37	1,39	1,13	0,97	0,83	0,71	19,28
1968	0,6	0,52	0,46	1,04	0,58	0,52	3,75	0,9	0,77	0,66	0,59	0,57	10,96
1969	15,63	1,81	1,52	1,32	1,12	0,99	0,84	0,72	0,61	0,52	0,44	0,37	25,89
1970	0,82	0,44	1,38	0,58	0,5	3,9	1,83	1,63	1,15	0,98	0,84	0,8	14,85
1971	14,33	3,03	7,57	2,87	2,53	2,39	1,99	1,72	1,48	1,26	1,18	1,59	41,94
1972	6,95	14,24	6,28	4,16	2,76	12,1	3,06	2,62	2,31	1,96	1,67	1,42	59,53
1973	1,26	1,07	14,16	1,82	5,48	4,67	6,21	2,62	2,24	1,91	1,63	1,38	44,45
1974	2,16	1,26	1,07	0,91	0,77	4,73	1,24	1,4	1,14	0,95	0,81	0,68	17,12
1975	0,6	0,53	9,51	1,22	1,35	1,04	1,44	2,83	1,24	1,06	0,9	0,77	22,49
1976	0,68	0,57	0,61	8,35	1,22	1,03	0,99	5,94	1,44	1,23	1,05	0,94	24,05
1977	0,89	0,79	0,95	0,67	0,57	0,49	0,55	0,65	0,48	0,41	0,35	0,29	7,09
1978	0,25	0,47	0,28	1,06	0,44	0,37	0,32	0,28	0,24	0,2	0,17	0,18	4,26
1979	0,26	0,17	0,15	6,36	8,52	1,76	4,38	2,19	1,72	1,47	1,26	1,08	29,32
1980	0,92	0,95	1,24	0,79	0,7	0,59	3,4	0,96	0,82	0,7	0,6	0,51	12,18
1981	0,43	0,36	0,3	0,57	0,35	3,93	1,03	1,12	0,82	0,7	0,59	0,5	10,7
1982	18,59	8,73	2,01	1,71	1,58	1,32	1,12	0,95	0,86	0,72	0,65	0,55	38,79
1983	0,47	0,5	0,39	0,32	0,35	0,31	0,26	0,47	0,31	0,26	0,21	0,18	4,03
1984	0,15	4,28	0,68	0,62	1,06	0,65	0,55	0,53	0,44	0,37	0,31	0,26	9,9
1985	0,85	2,31	1,91	0,87	0,74	0,63	0,55	0,47	0,4	0,38	0,31	14,28	23,7
1986	4,82	7,37	2,14	4,16	3,34	2,18	1,86	1,65	1,4	1,2	1,02	0,87	32,01
1987	0,8	24,85	2,83	2,88	4,25	2,22	1,98	1,77	3,16	1,68	1,43	1,23	49,08
1988	1,07	1,31	0,94	2,42	1,54	6,88	1,81	1,78	1,5	1,27	1,07	12,34	33,93
1989	1,84	1,91	6,28	16,38	2,89	3,06	3,15	4,46	2,48	2,12	1,81	1,55	47,93
1990	6,19	1,86	2,93	24,25	5,56	6,72	3,41	2,88	2,46	2,1	1,79	1,53	61,68

Bellús													
AÑO	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	TOTAL
1991	2,63	1,43	1,23	1,12	4,27	2,31	1,45	5,35	2,75	1,78	1,51	1,28	27,11
1992	1,15	0,96	4,68	1,33	35,21	3,45	2,59	2,2	1,88	1,6	1,37	1,17	57,59
1993	2,35	5,71	1,82	1,62	1,35	1,15	1,13	0,92	0,78	0,66	0,57	0,7	18,76
1994	1,08	0,65	0,55	0,46	0,4	1,79	0,58	0,49	0,42	0,35	0,32	0,27	7,36
1995	0,26	0,21	0,53	0,79	0,6	0,79	0,59	0,89	0,59	0,5	0,42	3,53	9,7
1996	0,9	1,04	1,26	3,49	1,27	1,08	3,98	1,35	1,23	1,03	0,88	7,32	24,83
1997	1,5	1,27	4,12	1,81	3,62	3,36	3,17	3,47	0,83	0,19	0,22	0,6	24,16
1998	0,5	0,82	1,59	0,51	0,37	1,22	0,5	0,18	0,07	0,24	0,24	0,16	6,4
1999	0,06	0,5	0,38	0,7	0,28	0,43	0,25	0,28	0,08	0,01	0,11	0,2	3,28
2000	1,45	0,2	0,35	0,57	1,32	0,23	0,77	0,31	0	0	0	0,67	5,87
2001	0,25	0,57	1,33	0,76	0,16	0,66	1,45	6,89	0,83	0,6	0,87	0,09	14,46
2002	0,35	0,48	0,62	0,56	1,03	0,37	3,05	1,37	0,22	0,05	0,21	1	9,31
2003	1,33	3,42	1,38	1,49	1,39	2,46	4,52	3,97	1,86	1,31	0,49	0,62	24,24
2004	0,32	0,94	16,57	4,22	3,06	3,03	2,06	0,87	0,26	0,06	0,45	1,59	33,43
2005	0,98	1,27	1,2	1,78	1,8	1,16	1,07	1,02	0,68	0,1	0,08	0,59	11,73
2006	0,57	1,14	1,06	2,19	1,07	0,91	2,06	0,63	0,03	0	0,12	3,44	13,22
2007	28,06	6,37	5,82	4,47	1,74	1,3	0,79	2,17	2,9	0,66	0,12	1,29	55,69
2008	34,58	15,08	6,6	8,38	3,69	4,52	3,32	3,06	1,81	1,1	0,71	15,94	98,79
Estadísticos Periodo 1940/08													
Media	3,85	2,73	3,03	2,83	2,93	2,18	2,05	1,81	1,18	0,90	0,77	1,68	25,93
Máximo	34,58	24,85	16,57	24,25	35,21	12,10	13,08	11,06	3,62	2,67	2,27	15,94	98,79
Mínimo	0,06	0,17	0,15	0,23	0,16	0,23	0,25	0,18	0,00	0,00	0,00	0,09	3,28
Des. Típica	6,95	4,75	3,69	4,02	5,17	2,15	1,97	1,77	0,85	0,62	0,52	2,95	19,72
Sesgo	2,95	3,52	2,00	3,46	4,40	2,37	3,01	2,84	0,98	0,79	0,90	3,72	1,60
Estadísticos Periodo 1980/08													
Media	3,95	3,33	2,51	3,15	2,93	2,02	1,81	1,81	1,10	0,75	0,64	2,56	26,55
Máximo	34,58	24,85	16,57	24,25	35,21	6,88	4,52	6,89	3,16	2,12	1,81	15,94	98,79
Mínimo	0,06	0,20	0,30	0,32	0,16	0,23	0,25	0,18	0,00	0,00	0,00	0,09	3,28
Des. Típica	8,39	5,29	3,25	5,17	6,37	1,77	1,23	1,66	0,94	0,65	0,53	4,29	22,12
Sesgo	2,94	2,99	3,19	3,23	4,96	1,46	0,57	1,56	0,83	0,74	0,95	2,37	1,49

Tabla 31. Estadísticos básicos para la serie de aportaciones Bellús

Alarcón-Molinar													
AÑO	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	TOTAL
1940	1,7	2,56	3,32	0,52	10,59	7,47	3,25	2,61	2,4	2,17	2,84	3,06	42,49
1941	3,02	2,63	2,56	2,31	2,55	2,47	2,61	3,66	2,41	2,2	2,5	2,7	31,62
1942	3,48	3,11	3,04	2,38	3,06	3,47	2,7	3,22	4,36	4,35	4,43	5,3	42,9
1943	8,41	6,46	6,05	5,16	5,99	6,11	6,26	5,97	5,7	7,76	5,9	6,93	76,7
1944	4,66	4,29	6,48	7,63	6,84	5,09	3,01	3,09	3,37	3,37	3,11	3,38	54,32
1945	4,33	4,02	4,16	4,77	3,09	4,61	2,4	8,98	3,21	1,44	0,89	2,73	44,63
1946	3,47	3,99	4,05	4,25	9,28	15,45	6,63	7,33	5,05	5,95	7,52	6,24	79,21
1947	4,65	4,03	4,62	5,24	5,39	5,3	5,24	5,73	4,46	3,72	4,55	2,83	55,76
1948	4,13	4,94	9,38	7,13	11,19	8,47	6,64	6,45	6,41	4,59	4,56	5,96	79,85
1949	6,14	6,02	5,58	6,48	5,62	5,4	4,13	5,36	3,87	4,62	4,79	4,65	62,66
1950	5,86	4,54	5,49	5,75	4,73	5,74	7,07	6,82	3,72	2,74	3,05	3,93	59,44
1951	3,99	4,25	4,53	5,83	5,61	5,91	5,67	5,62	4,78	5,45	5,54	4,76	61,94
1952	6,15	5,31	5,89	5,15	4,95	5,46	4,7	5,39	4,82	5,33	5,07	4,85	63,07
1953	4,2	4,15	4,59	4,86	4,68	4,44	4,45	3,29	4,16	5,02	5,12	3,96	52,92
1954	4,5	4,51	4,8	4,97	4,32	5,27	3,86	5	4,56	4,47	5,74	4,39	56,39
1955	4,95	4,66	4,68	4,82	4,49	4,66	4,25	3,96	3,92	4,04	4,4	4,53	53,36
1956	5,31	5,31	4,31	5,17	4,5	4,04	3,85	4,81	4	4,25	4,38	4,36	54,29
1957	4,96	4,09	4,22	4,46	3,63	4,35	3,48	3,77	3,8	3,79	4,13	3,83	48,51
1958	4,33	4,09	3,86	4,07	3,75	4,58	3,7	4,41	3,6	3,95	4,48	4,81	49,63
1959	4,46	4,6	4,25	4,39	4,51	3,9	5,61	4,52	4,34	4,56	5,22	5,19	55,55
1960	6,23	4,83	7,2	7,71	5,05	6,41	5,15	6,21	5,33	5,6	5,62	6	71,34
1961	5,66	5,71	5,74	5,65	4,79	5,75	1,98	5,66	5,46	5,56	5,37	5,25	62,58
1962	5,91	6,24	6,81	6,78	5,65	5,35	3,6	5,63	5,3	5,87	5,66	8,79	71,59
1963	5,39	9,44	1,95	7,25	6,72	4,74	4,53	5,42	8,25	7,9	8,64	6,27	76,5
1964	5,51	5,14	7,22	7,7	5,81	7,11	4,73	5,11	5,42	5,9	6,81	5,8	72,26
1965	5,61	6,37	6,51	6,19	6,14	8,73	8,61	7,62	6,21	4,63	4,79	4,77	76,18
1966	8,48	8,03	8,12	8,12	7,57	7,96	6,56	6,72	7,53	6,54	7,69	7,36	90,68
1967	6,11	6,29	6,89	6,7	6,7	6,51	5,24	10,41	5,83	2,52	3,97	4,3	71,47
1968	6,9	6,98	6,63	6,38	5,61	6,39	5,87	5,32	4,62	5,54	5,77	5,32	71,33
1969	6,23	5,55	5,58	6,86	5,04	6,56	5,18	5,7	5,83	1,64	6,23	5,63	66,03
1970	5,89	6,18	6,11	6,3	5,57	6,85	6,6	7,36	6,06	4,8	5,88	6,27	73,87
1971	6,28	5,65	7,26	6,88	6,82	7,26	6,51	6,54	6,53	6,6	6,59	7,42	80,34
1972	7,18	7,31	7,07	7,19	6,25	7,24	6,69	7,86	6,98	6,77	6,62	6,24	83,4

Alarcón-Molinar													
AÑO	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	TOTAL
1973	6,93	6,75	7,46	7,74	6,84	7,64	6,87	9,71	5,57	3,27	7,08	5,77	81,63
1974	6,35	6,31	7,65	6,83	6,97	7,42	6,26	6,17	5,92	6,58	6,91	6,37	79,74
1975	6,74	6,42	7,26	6,77	6,16	6,22	5,82	6,8	5,59	6,2	6,41	6,03	76,42
1976	6,4	5,91	6,1	6,34	5,96	6,23	5,05	6,41	5,38	4,92	6,41	5,27	70,38
1977	6,01	5,77	4,88	5,89	5,29	6,71	6,31	6,69	6,28	6,86	6,45	5,72	72,86
1978	3,65	6,26	5,74	5,53	5,46	5,65	6,79	6,47	5,88	4,06	4,63	4,62	64,74
1979	4,29	3,51	4,15	4,87	4,84	4,52	3,7	5,33	5,01	4,7	4,64	3,51	53,07
1980	3,54	5	5,3	4,71	4,43	4,63	5,21	4,82	5,26	4,69	5,16	4,4	57,15
1981	4,2	4,69	4,53	5,79	4,82	5,09	5,05	4,35	4,42	3,86	3,72	3,47	53,99
1982	22,86	5,67	6,32	5,69	5,7	4,85	5,95	2,54	0	2,8	5,33	4,74	72,45
1983	4,3	4,81	5,01	5,18	4,86	5,22	4,46	6,65	5,29	4,93	4,11	4,06	58,88
1984	4,87	4,95	4,39	4,82	4,39	4,34	5,09	5,63	4,89	4,7	3,86	4,44	56,37
1985	4	4,29	4,38	4,39	4,21	4,26	5,5	5,87	5,31	4,4	4,23	4,93	55,77
1986	3,66	4	4,04	3,74	3,79	4,04	4,82	5,49	3,07	5,08	3,9	3,42	49,05
1987	4,42	3,66	3,64	3,67	3,49	3,72	4,15	5,42	5,43	5,13	3,8	2,95	49,48
1988	3,01	2,93	3,24	4,27	4,23	3,87	5,23	4,62	4,65	2,34	1,81	5,17	45,37
1989	3,91	3,86	4,03	4,2	5,32	4,52	5,38	5,42	4,64	3,91	3,75	4,33	53,27
1990	4,29	4,08	4,19	4,32	4,19	4,62	5,94	5,28	5,36	4,63	4,21	3,56	54,67
1991	3,95	2,81	4,32	3,31	4,72	4,32	4,61	2,74	6,79	3,38	3,01	4,13	48,09
1992	4,85	3,82	3,65	3,7	4,53	4,13	3,12	5,07	3,86	3,36	5,47	4,29	49,85
1993	4,25	3,93	3,97	4,03	3,9	4,19	3,9	2,99	3	4,96	4,57	4,56	48,25
1994	3,88	3,28	3,58	3,67	3,43	3,57	4,11	2,55	2,91	4,61	4,76	4,43	44,78
1995	4,12	3,26	3,01	2,49	2,5	2,58	2,12	2,86	1,62	2,83	2,5	2,75	32,64
1996	2,93	2,96	3,41	3,64	3,25	3,54	3,89	4,15	5,05	3,99	0,77	3,22	40,8
1997	3,68	3,44	3,58	4,22	3,82	2,97	3,07	4,93	3,5	2,07	2,73	3,07	41,08
1998	2,54	2,24	5,06	4,28	3,08	4,47	2,8	3,57	3,45	3,37	3,27	3,95	42,08
1999	3,59	3,12	3,25	4,12	3,85	3,65	3,11	3,5	1,95	2,53	2,59	2,17	37,43
2000	3,76	3,26	3,51	3,55	3,74	3,3	1,69	3,82	2,84	2,08	1,3	1,96	34,81
2001	3,58	3,14	3,37	3,38	3,47	3,53	4,36	5,25	4,57	6,05	4,66	3,69	49,05
2002	3,53	3,51	4,29	4,67	4,88	4,04	4,69	4,48	3,9	1,24	2,3	3,48	45,01
2003	3,13	3,3	3,29	3,49	3,43	3,65	4,39	4,93	4,46	2,01	4,42	3,87	44,37
2004	1,2	3,41	2,92	3,36	3,41	3,49	2,23	1,11	2,78	3,78	3,25	3,41	34,35
2005	3,38	3,16	3,32	3,48	3,3	3,21	3,02	3,13	3,42	2,87	3,24	3,24	38,77
2006	3,16	3,35	3,51	3,65	3,75	3,58	3,44	3,2	3,14	2,9	3,04	3,15	39,87
2007	3,36	3,54	3,62	3,83	3,72	3,77	3,63	3,3	3,47	3,26	2,99	3,06	41,55
2008	3,68	3,82	4,02	4,21	4,25	4,07	4,03	3,89	3,56	4,02	3,78	3,52	46,85
Estadísticos Periodo 1940/08													
Media	4,93	4,63	4,88	5,03	4,99	5,20	4,65	5,14	4,56	4,29	4,54	4,53	57,36
Máximo	22,86	9,44	9,38	8,12	11,19	15,45	8,61	10,41	8,25	7,90	8,64	8,79	90,68
Mínimo	1,20	2,24	1,95	0,52	2,50	2,47	1,69	1,11	0,00	1,24	0,77	1,96	31,62
Des. Típica	2,61	1,43	1,54	1,54	1,64	1,92	1,45	1,73	1,44	1,51	1,62	1,34	14,56
Sesgo	4,87	0,82	0,66	-0,04	1,55	2,43	0,13	0,50	-0,25	0,14	0,00	0,62	0,28
Estadísticos Periodo 1980/08													
Media	4,33	3,70	3,96	4,06	4,02	3,97	4,10	4,19	3,88	3,65	3,54	3,70	47,11
Máximo	22,86	5,67	6,32	5,79	5,70	5,22	5,95	6,65	6,79	6,05	5,47	5,17	72,45
Mínimo	1,20	2,24	2,92	2,49	2,50	2,58	1,69	1,11	0,00	1,24	0,77	1,96	32,64
Des. Típica	3,64	0,76	0,76	0,72	0,71	0,62	1,13	1,26	1,38	1,16	1,15	0,78	8,66
Sesgo	5,04	0,78	1,27	0,61	0,35	0,00	-0,33	-0,31	-0,56	-0,07	-0,48	-0,23	0,70

Tabla 32. Estadísticos básicos para la serie de aportaciones Alarcón-Molinar

Como consecuencia de esta variabilidad en los recursos, para la estimación del recurso disponible adicional llevada a cabo en este trabajo ha considerado necesario distinguir dos serie claramente diferenciadas; por una parte, la serie larga que abarca el periodo 1940/41-2008/09; y la serie corta, que abarca el periodo 1980/81-2008/09. De forma adicional, podría haberse considerado, también, el periodo 1940/41-1979/80. Pero, dado que el estudio que nos ocupa trata con aspectos relacionados con la gestión futura del sistema, no se espera que las aportaciones futuras sean similares al primer periodo sino más bien al segundo. Por lo que el análisis resultaría irrelevante.

II.2 Serie larga (1940/41-2008/09)

II.2.1 Estadísticos básicos

En las figuras siguientes se muestran los estadísticos básicos de las series mensuales de aportaciones obtenidas por restitución al régimen natural para el periodo 1940/41-2008/09. En ellas se puede ver el carácter no estacionario de las series, siendo las aportaciones de Madrigueras y Alarcón-Molinar las más regulares.

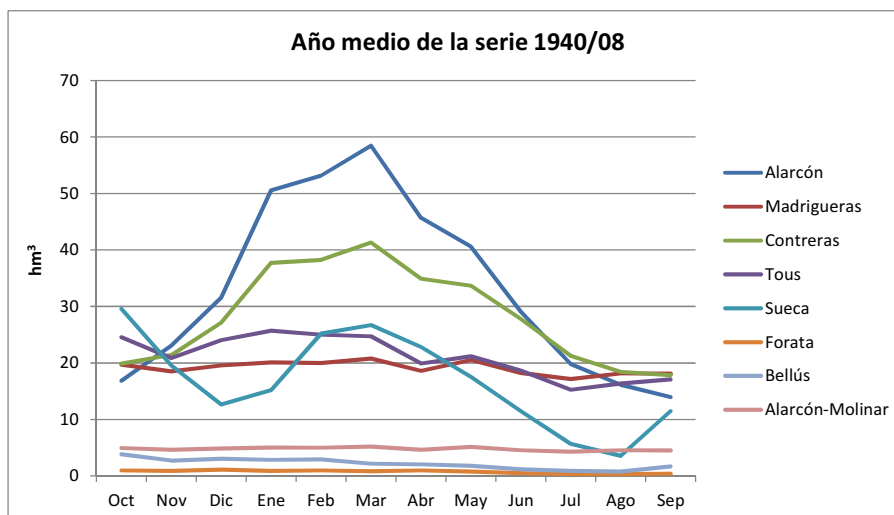


Figura 22. Medias mensuales de la serie histórica para el periodo 1940/08

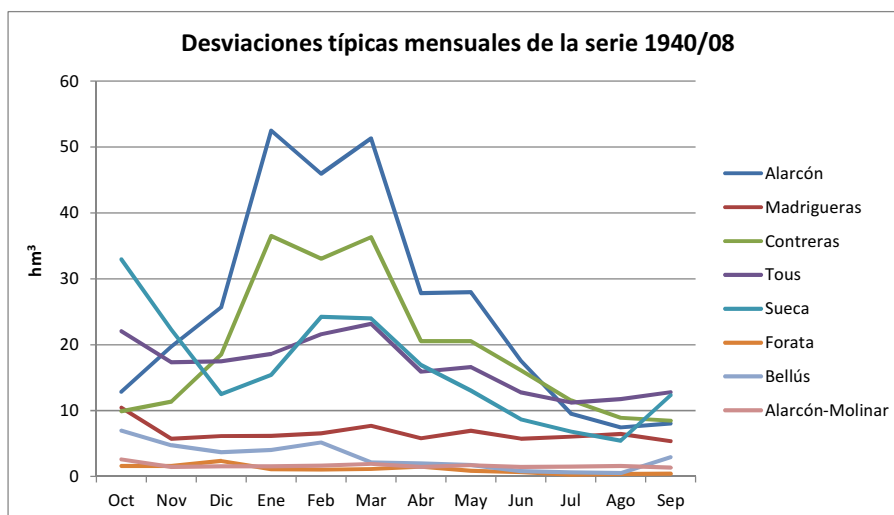


Figura 23. Desviaciones típicas mensuales de la serie histórica para el periodo 1940/08

En la Figura 24 se representan los sesgos mensuales junto con los límites de normalidad. Estos límites se obtienen como:

$$\begin{cases} \left[-3.9601N^{-0.4598}, +3.9601N^{-0.4598} \right] & \text{para } N < 150 \\ \left[-1.96\sqrt{\frac{6}{N}}, 1.96\sqrt{\frac{6}{N}} \right] & \text{para } N \geq 150 \end{cases}$$

Donde N es el número de años de la serie (aun cuando ésta sea mensual). En el caso de la serie larga, que es la que nos ocupa, este límite se encuentra en [-0,565; 0,565]. Se comprueba que dichos sesgos no entran dentro de los límites por lo que los datos no pueden considerarse normales.

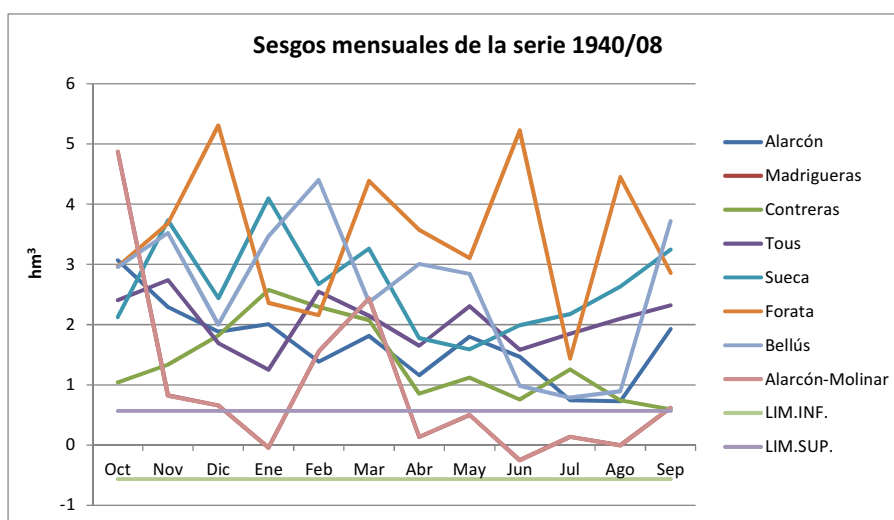


Figura 24. Sesgos mensuales de la serie histórica para el periodo 1940/08

II.2.2 Normalización de las series

Esta fase consiste en transformar las series de caudales originales mediante distintos tipos de funciones con el fin de que adopten una distribución de probabilidad normal. Tal y como se ha visto en la Figura 24 los sesgos no se encuentran distribuidos normalmente.

Cuando las series son mensuales, como es el caso, se tiene la posibilidad de aplicar funciones normalizadoras diferentes para cada uno de los meses, aunque hay que tener en cuenta que con ello se puede incrementar el número de parámetros del modelo.

Las funciones de normalización empleadas para cada una de las series son:

- Alarcón $\rightarrow X = \ln(Q + 1)$ para los meses de septiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero; $X = \sqrt{Q}$ para los meses de febrero, marzo, abril, junio, julio, agosto; $X = Q$ para el mes de mayo.
- Madrigueras $\rightarrow X = Q$ para todos los meses.
- Contreras $\rightarrow X = \ln(Q + 1)$ para todos los meses.
- Tous $\rightarrow X = \sqrt{Q}$ para todos los meses.
- Sueca $\rightarrow X = \ln(Q + 1)$ para todos los meses
- Forata $\rightarrow X = \ln(Q + 1)$ para los meses de septiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, abril, mayo; $X = \sqrt{Q}$ para los meses de junio, julio, agosto.
- Bellús $\rightarrow X = \ln(Q + 1)$ para todos los meses
- Alarcón-Molinar $\rightarrow X = Q$ para todos los meses.

En la Figura 25 se presentan los coeficientes de sesgo mensuales para las series normalizadas junto con los límites de normalidad. Se puede ver que las series ya transformadas presentan valores del coeficiente de sesgo que encajan (en buena parte de los meses del año) dentro del intervalo de normalidad. Hay que anotar que forzar excesivamente las series a que tengan sesgos cercanos a cero, especialmente cuando el sesgo de la serie original es alto, puede conducir en algunas ocasiones a aberraciones en la fase de generación.

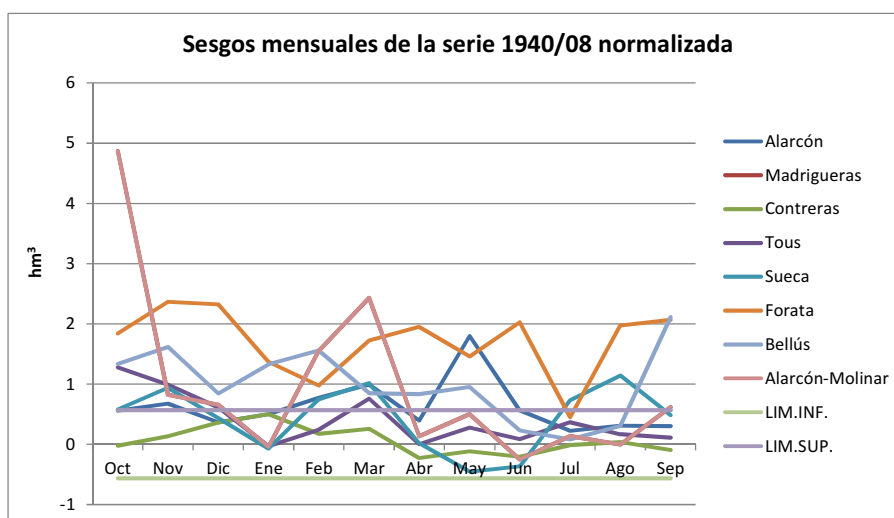


Figura 25. Sesgos mensuales de la serie histórica normalizada para el periodo 1940/08

II.2.3 Ajuste en series de Fourier

Cuando se analizan series mensuales de caudales, es normal encontrar que la variación de sus medias y desviaciones típicas mensuales a lo largo del año presentan periodicidades; es decir, su representación gráfica puede asemejarse de algún modo a funciones de tipo sinusoidal. Asumiendo que se aceptan como buenas las transformaciones consideradas, el siguiente paso consiste en transformar las series en series no periódicas (restando la media y dividiendo por la varianza). Esta transformación implica el cálculo de 12 medias y 12 desviaciones típicas para cada una de las series. Un recurso muy utilizado es el de ajustar a cada serie de 12 medias y 12 desviaciones típicas una serie de Fourier con un solo parámetro.

Las siguientes figuras muestran para cada una de las series las medias de la muestra y las calculadas mediante un ajuste de Fourier.



Figura 26. Ajuste de Fourier para la media en el periodo 1940/08

II.2.4 Tipificación de las series y correlaciones

Después de tener las series de caudales normalizadas se procede a tipificarlas, de esta manera, se pueden evaluar las correlaciones entre las distintas series, las cuales sirven esencialmente para establecer el tipo de modelación, a partir de las matrices de correlación cruzadas y de las funciones de autocorrelación.

El cálculo de las matrices de correlación cruzada se hace con el fin de:

- a) Conocer la interdependencia que pueda existir entre las series y decidir si la modelación debe ser o no multivariada
- b) Seleccionar los grupos de estaciones en un esquema de desagregación espacial
- c) Calcular las matrices de parámetros de los modelos estocásticos

A continuación se muestran las matrices de correlación para desfases temporales de 0 a 3 meses:

K = 0								
	Alarcón	Madrigueras	Contreras	Tous	Sueca	Forata	Bellús	Alarcón-Molinar
Alarcón	1	0,201	0,773	0,067	-0,011	0,261	-0,016	0,201
Madrigueras	0,201	1	0,381	0,184	0,061	0,215	0,133	1
Contreras	0,773	0,381	1	0,023	0,055	0,403	0,096	0,381
Tous	0,067	0,184	0,023	1	0,156	0,2	0,241	0,184
Sueca	-0,011	0,061	0,055	0,156	1	0,485	0,574	0,061
Forata	0,261	0,215	0,403	0,2	0,485	1	0,491	0,215
Bellús	-0,016	0,133	0,096	0,241	0,574	0,491	1	0,133
Alarcón-Molinar	0,201	1	0,381	0,184	0,061	0,215	0,133	1

Tabla 33. Matriz de correlación de las series 1940/08 para k=0

K = 1								
	Alarcón	Madrigueras	Contreras	Tous	Sueca	Forata	Bellús	Alarcón-Molinar
Alarcón	0,711	0,182	0,624	0,023	-0,032	0,211	-0,035	0,182
Madrigueras	0,161	0,62	0,342	0,188	-0,004	0,162	0,125	0,62
Contreras	0,649	0,347	0,845	0,026	0,01	0,354	0,062	0,347
Tous	0,063	0,208	0,028	0,564	0,071	0,09	0,134	0,208
Sueca	-0,032	-0,008	0,003	0,099	0,585	0,288	0,35	-0,008
Forata	0,169	0,133	0,295	0,071	0,247	0,531	0,26	0,133
Bellús	-0,006	0,08	0,061	0,167	0,325	0,263	0,517	0,08
Alarcón-Molinar	0,161	0,62	0,342	0,188	-0,004	0,162	0,125	0,62

Tabla 34. Matriz de correlación de las series 1940/08 para k=1

K = 2								
	Alarcón	Madrigueras	Contreras	Tous	Sueca	Forata	Bellús	Alarcón-Molinar
Alarcón	0,525	0,183	0,502	0,012	-0,056	0,132	-0,044	0,183
Madrigueras	0,163	0,552	0,312	0,195	-0,037	0,118	0,082	0,552
Contreras	0,547	0,33	0,736	0,008	-0,019	0,289	0,043	0,33
Tous	0,033	0,171	0,02	0,437	0,03	0,016	0,066	0,171
Sueca	-0,057	-0,02	-0,019	0,071	0,425	0,267	0,317	-0,02
Forata	0,119	0,114	0,242	0,047	0,24	0,422	0,211	0,114

K = 2								
	Alarcón	Madrigueras	Contreras	Tous	Sueca	Forata	Bellús	Alarcón-Molinar
Bellús	-0,046	0,074	0,032	0,148	0,322	0,192	0,418	0,074
Alarcón-Molinar	0,163	0,552	0,312	0,195	-0,037	0,118	0,082	0,552

Tabla 35. Matriz de correlación de las series 1940/08 para k=2

K = 3								
	Alarcón	Madrigueras	Contreras	Tous	Sueca	Forata	Bellús	Alarcón-Molinar
Alarcón	0,418	0,179	0,435	0,033	-0,044	0,123	-0,013	0,179
Madrigueras	0,141	0,477	0,283	0,171	-0,045	0,071	0,058	0,477
Contreras	0,485	0,314	0,673	0,009	-0,003	0,285	0,082	0,314
Tous	0,072	0,169	0,046	0,375	0,021	0,016	0,051	0,169
Sueca	-0,069	-0,005	-0,025	0,055	0,347	0,24	0,297	-0,005
Forata	0,094	0,118	0,221	0,04	0,224	0,38	0,179	0,118
Bellús	-0,038	0,077	0,046	0,12	0,319	0,172	0,374	0,077
Alarcón-Molinar	0,141	0,477	0,283	0,171	-0,045	0,071	0,058	0,477

Tabla 36. Matriz de correlación de las series 1940/08 para k=3

Como puede apreciarse en las tablas algunos coeficientes de correlación son bastante altos, como los que se dan entre Alarcón y Contreras y los de autocorrelación de las mismas series.

La siguiente figura muestra los coeficientes de autocorrelación para cada una de las series junto con los límites de Anderson que permiten considerar si un coeficiente de correlación puede considerarse nulo. Estos límites se obtienen como:

$$\left[\frac{-1 - 1.96\sqrt{N-k-1}}{N-k}, \frac{-1 + 1.96\sqrt{N-k-1}}{N-k} \right]$$

Puede comprobarse que todas las series muestran una alta correlación, especialmente Contreras y Alarcón-Molinar.

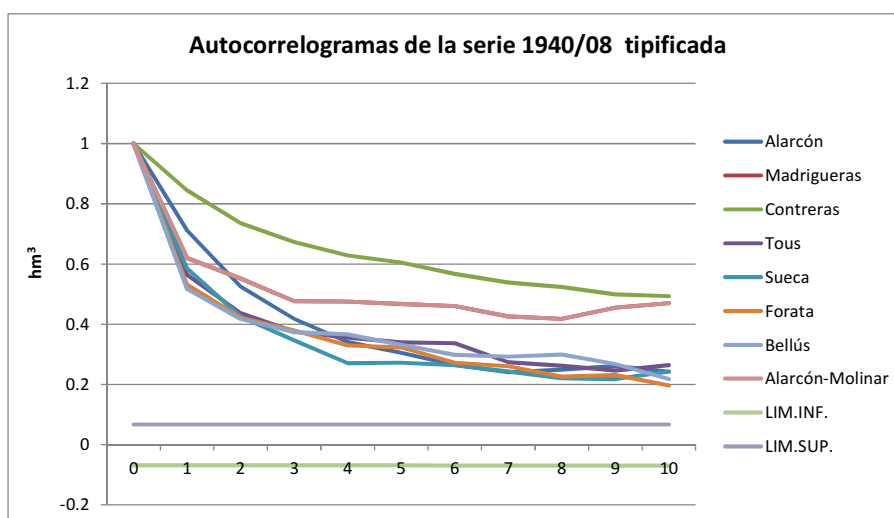


Figura 27. Autocorrelograma de las series 1940/08 tipificada

II.2.5 Modelo tipo AR(1)

El objetivo del modelo estocástico debe ser el reproducir las correlaciones observadas en el punto anterior tanto entre las diferentes series como de cada serie consigo misma para diferentes desfases temporales.

Se ha optado por utilizar un modelo autorregresivo puro AR(1). Este tipo de modelos representan el caudal del intervalo de tiempo t como una función del caudal del mes anterior t-1 y una variable aleatoria independiente y normalmente distribuida de media cero y varianza unitaria, ϵ .

$$\{Z\}_t = [\Phi]_1 \{Z\}_{t-1} + [\Theta]_0 \{\epsilon\}_t$$

Con estos modelos se han generado 100 series sintéticas con una longitud de 69 años. En la siguiente figura se muestran las aportaciones del año medio generadas a partir del modelo estocástico junto con las aportaciones medias originales.

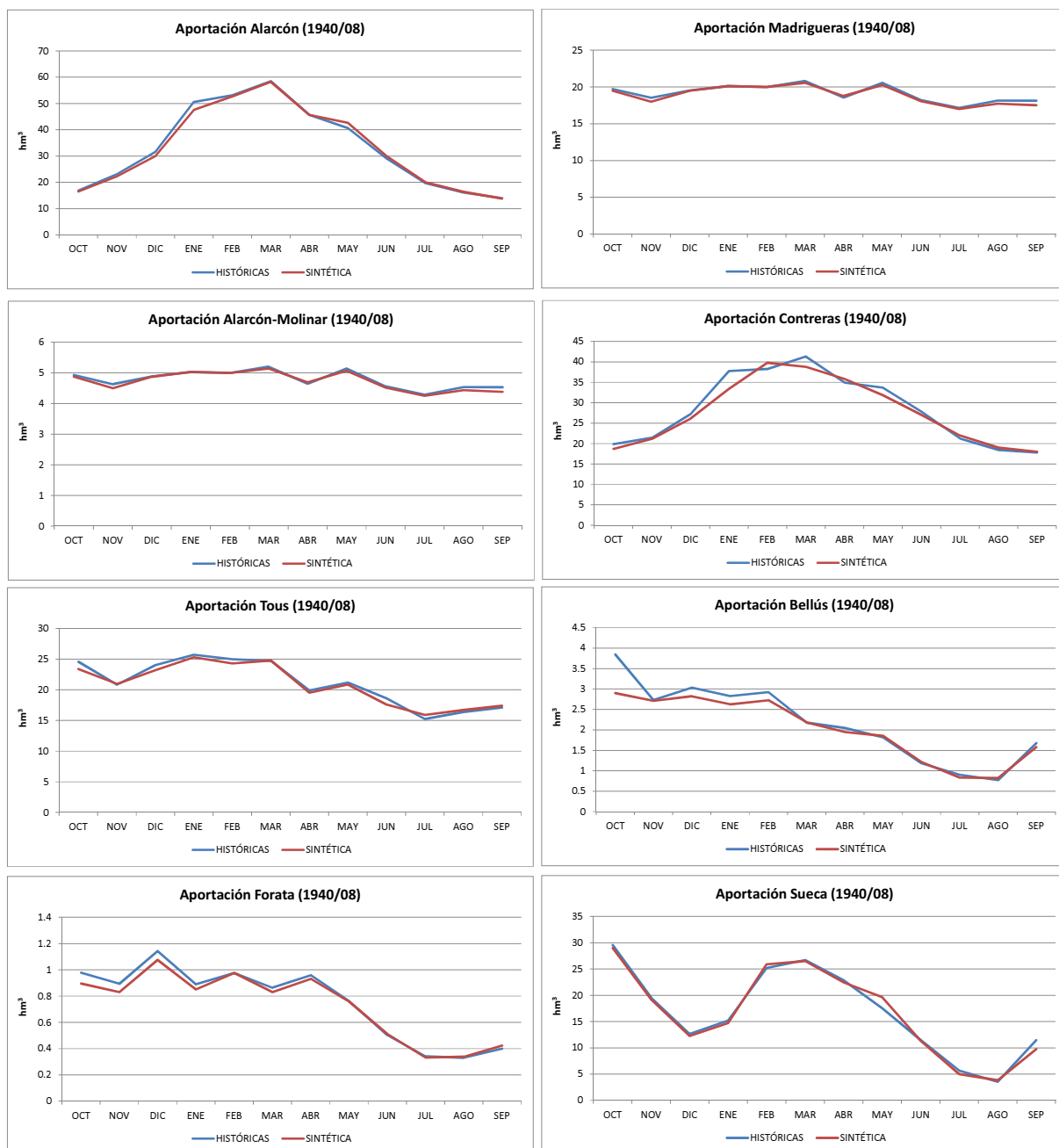


Figura 28. Aportaciones mensuales medias para la serie 1940/08

II.3 Serie corta (1980/81-2008/09)

En este punto se van a repetir los análisis realizados en el apartado anterior pero tomando como datos iniciales las series de aportaciones del periodo 1980/81-2008/09.

II.3.1 Estadísticos básicos

En las figuras siguientes se muestran los estadísticos básicos de las series mensuales de aportaciones obtenidas por restitución al régimen natural para el

periodo 1980/81-2008/09. En ellas se puede ver el carácter no estacionario de las series, siendo la aportación de Alarcón-Molinar la más regular.

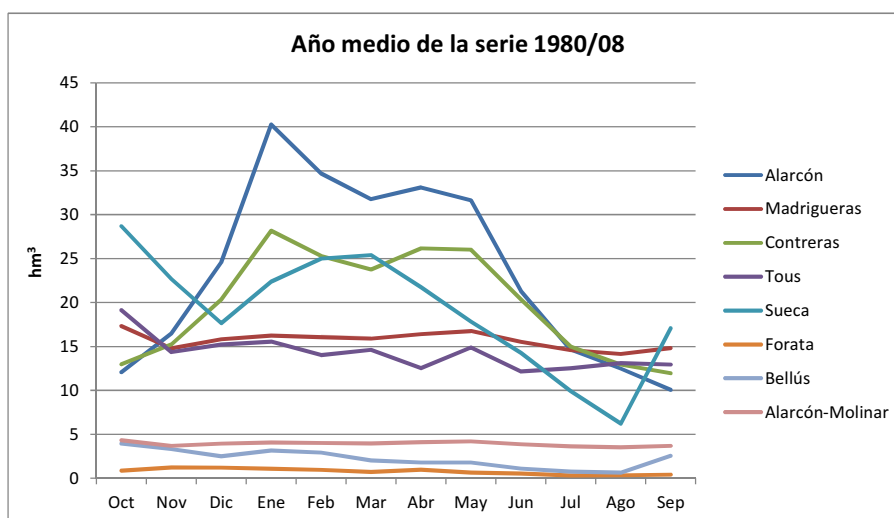


Figura 29. Medias mensuales de la serie histórica para el periodo 1980/08

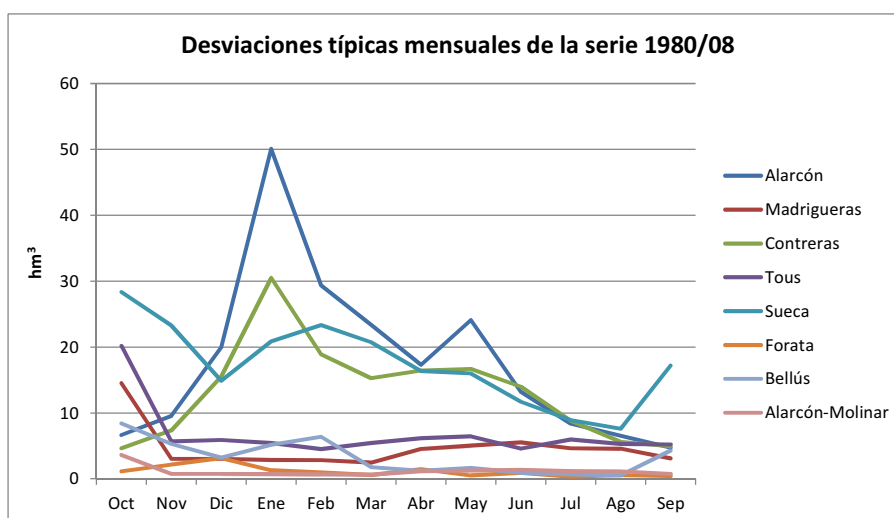


Figura 30. Desviaciones típicas mensuales de la serie histórica para el periodo 1980/08

En la Figura 24 se representan los sesgos mensuales junto con los límites de normalidad. En el caso de la serie larga, que es la que nos ocupa, este límite se encuentra en $[-0,842; 0,842]$. Se comprueba que dichos sesgos no entran dentro de los límites por lo que los datos no pueden considerarse normales.

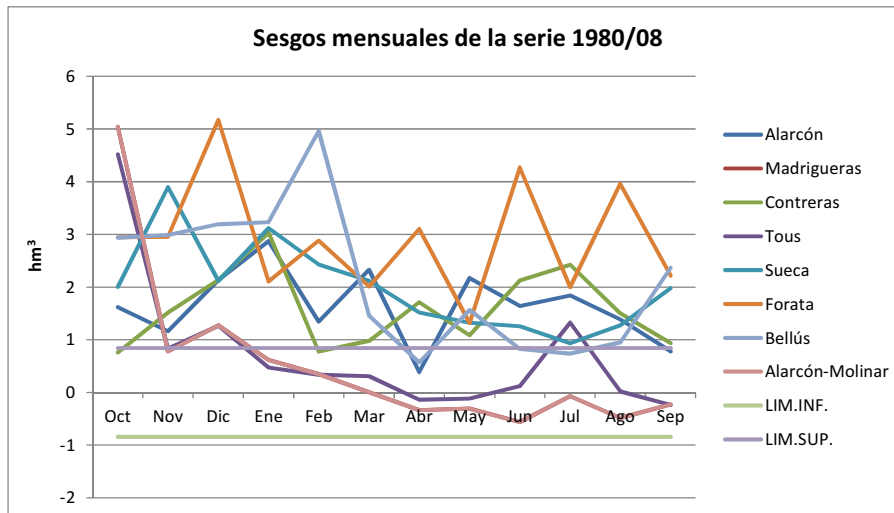


Figura 31. Sesgos mensuales de la serie histórica para el periodo 1980/08

II.3.2 Normalización de las series

Esta fase consiste en transformar las series de caudales originales mediante distintos tipos de funciones con el fin de que adopten una distribución de probabilidad normal. Las funciones de normalización empleadas para cada una de las series son:

- Alarcón $\rightarrow X = \ln(Q + 1)$ para todos los meses exceptuando el mes de enero; $X = \sqrt{Q}$ para el mes de enero.
- Madrigueras $\rightarrow X = Q$ para todos los meses.
- Contreras $\rightarrow X = \ln(Q + 1)$ para los meses de octubre, noviembre, diciembre, febrero, marzo, abril, mayo, agosto; $X = \sqrt{Q}$ para los meses de enero, junio, julio y septiembre.
- Tous $\rightarrow X = \sqrt{Q}$ para todos los meses.
- Sueca $\rightarrow X = \ln(Q + 1)$ para todos los meses.
- Forata $\rightarrow X = \ln(Q + 1)$ para los meses de septiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, abril, mayo; $X = \sqrt{Q}$ para los meses de junio, julio, agosto.
- Bellús $\rightarrow X = \ln(Q + 1)$ para todos los meses
- Alarcón-Molinar $\rightarrow X = Q$ para todos los meses.

En la Figura 32 se presentan los coeficientes de sesgo mensuales para las series normalizadas junto con los límites de normalidad. Al igual que sucedía con las series

del periodo 1940/08, se puede ver que las series ya transformadas presentan valores del coeficiente de sesgo que encajan de manera aproximada dentro del intervalo de normalidad.

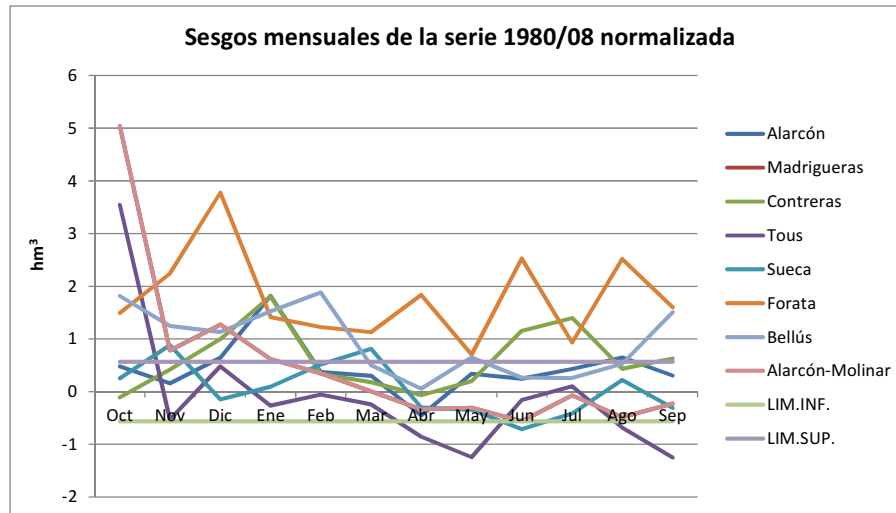


Figura 32. Sesgos mensuales de la serie histórica normalizada para el periodo 1980/08

II.3.3 Ajuste en series de Fourier

Asumiendo que se aceptan como buenas las transformaciones consideradas, el siguiente paso consiste en transformar las series en series no periódicas. Para ello se realizará un ajuste mediante series de Fourier.

Las siguientes figuras muestran para cada una de las series las medias de la muestra y las calculadas mediante un ajuste de Fourier.

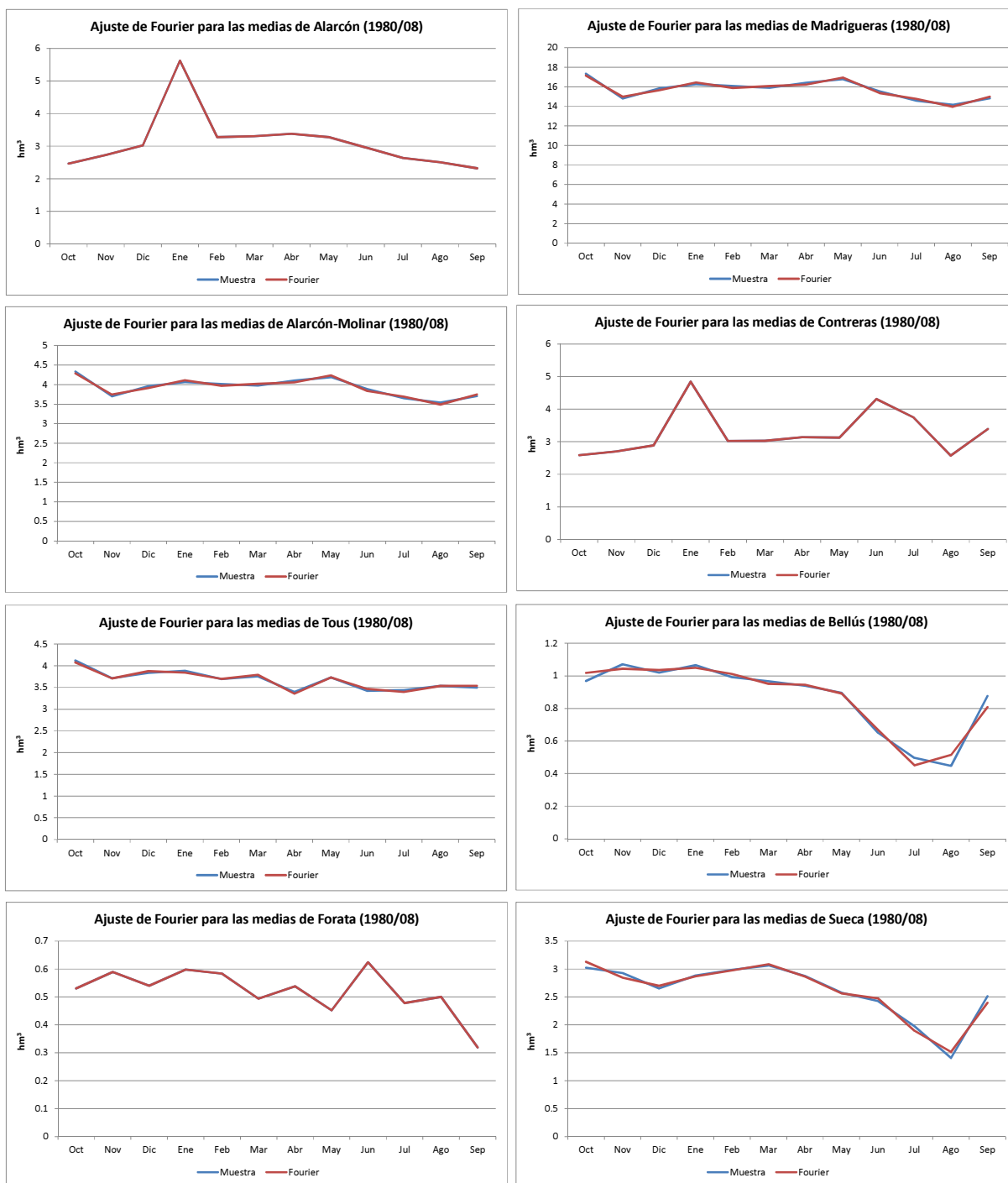


Figura 33. Ajuste de Fourier para la media de la serie 1980/08

II.3.4 Tipificación de las series y correlaciones

Para evaluar las propiedades de dependencia espacial y temporal de las series se calculan los coeficientes de autocorrelación de cada serie y de correlación cruzada para cada dos series. A continuación se muestran las matrices de correlación para desfases temporales de 0 a 3 meses:

K = 0								
	Alarcón	Madrigueras	Contreras	Tous	Sueca	Forata	Bellús	Alarcón-Molinar
Alarcón	1	-0,121	0,725	-0,059	0,138	0,294	0,018	-0,121
Madrigueras	-0,121	1	0,111	-0,01	0,081	0,188	0,192	1
Contreras	0,725	0,111	1	-0,066	0,213	0,507	0,266	0,111
Tous	-0,059	-0,01	-0,066	1	0,358	0,272	0,449	-0,01
Sueca	0,138	0,081	0,213	0,358	1	0,421	0,536	0,08
Forata	0,294	0,188	0,507	0,272	0,421	1	0,514	0,187
Bellús	0,018	0,192	0,266	0,449	0,536	0,514	1	0,192
Alarcón-Molinar	-0,121	1	0,111	-0,01	0,08	0,187	0,192	1

Tabla 37. Matriz de correlación de las series 1980/08 para k=0

K = 1								
	Alarcón	Madrigueras	Contreras	Tous	Sueca	Forata	Bellús	Alarcón-Molinar
Alarcón	0,725	-0,101	0,541	-0,112	0,127	0,264	-0,03	-0,101
Madrigueras	-0,157	0,551	0,05	-0,049	-0,057	0,097	0,158	0,551
Contreras	0,597	0,068	0,804	-0,11	0,128	0,437	0,183	0,069
Tous	-0,099	-0,136	-0,156	0,403	0,219	0,1	0,252	-0,135
Sueca	0,116	-0,075	0,13	0,273	0,567	0,254	0,341	-0,076
Forata	0,205	0,051	0,349	0,105	0,184	0,534	0,309	0,051
Bellús	0,017	0,082	0,201	0,369	0,343	0,341	0,567	0,082
Alarcón-Molinar	-0,156	0,551	0,05	-0,049	-0,057	0,097	0,158	0,551

Tabla 38. Matriz de correlación de las series 1980/08 para k=1

K = 2								
	Alarcón	Madrigueras	Contreras	Tous	Sueca	Forata	Bellús	Alarcón-Molinar
Alarcón	0,508	-0,098	0,377	-0,143	0,089	0,153	-0,045	-0,098
Madrigueras	-0,144	0,444	0,059	0,018	-0,071	0,091	0,115	0,444
Contreras	0,462	0,059	0,655	-0,162	0,096	0,343	0,137	0,059
Tous	-0,121	-0,042	-0,158	0,356	0,249	0,003	0,22	-0,043
Sueca	0,066	-0,087	0,096	0,21	0,415	0,223	0,325	-0,087
Forata	0,124	0,001	0,257	0,045	0,184	0,373	0,249	0
Bellús	-0,024	0,069	0,144	0,285	0,345	0,226	0,45	0,069
Alarcón-Molinar	-0,144	0,444	0,059	0,018	-0,072	0,091	0,115	0,444

Tabla 39. Matriz de correlación de las series 1980/08 para k=2

K = 3								
	Alarcón	Madrigueras	Contreras	Tous	Sueca	Forata	Bellús	Alarcón-Molinar
Alarcón	0,372	-0,09	0,311	-0,127	0,111	0,153	0,024	-0,09
Madrigueras	-0,176	0,379	0,021	0,057	-0,045	0,045	0,083	0,378
Contreras	0,38	0,094	0,593	-0,16	0,129	0,336	0,201	0,094
Tous	-0,075	-0,02	-0,104	0,282	0,259	0,006	0,22	-0,02
Sueca	0,023	-0,044	0,078	0,234	0,328	0,21	0,311	-0,044
Forata	0,086	0,009	0,25	0,021	0,174	0,337	0,199	0,009

K = 3								
	Alarcón	Madrigueras	Contreras	Tous	Sueca	Forata	Bellús	Alarcón-Molinar
Bellús	-0.014	0.085	0.173	0.251	0.346	0.225	0.388	0.084
Alarcón-Molinar	-0.176	0.378	0.021	0.057	-0.046	0.045	0.083	0.378

Tabla 40. Matriz de correlación de las series 1980/08 para k=3

Como puede apreciarse en las tablas algunos coeficientes de correlación son bastante altos, como los que se dan entre Alarcón y Contreras y los de autocorrelación de las mismas series.

La siguiente figura muestra los coeficientes de autocorrelación para cada una de las series junto con los límites de Anderson. Puede comprobarse que todas las series muestran una alta correlación, especialmente Contreras y Alarcón-Molinar.

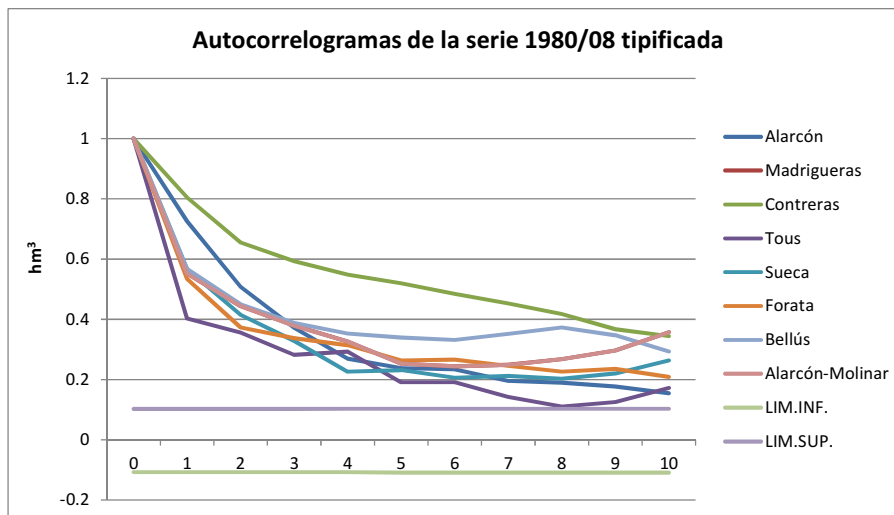


Figura 34. Autocorrelograma de las series 1980/08 tipificada

II.3.5 Modelo tipo AR(1)

En este trabajo se han considerado los modelos autorregresivos puros más simples, AR(1). Estos modelos representan el caudal del intervalo de tiempo t como una función del caudal del mes anterior t-1 y una variable aleatoria independiente y normalmente distribuida de media cero y varianza unitaria, ϵ .

$$\{Z\}_t = [\Phi]_1 \{Z\}_{t-1} + [\Theta]_0 \{\epsilon\}_t$$

Con estos modelos se han generado 100 series sintéticas con una longitud de 29 años. En la siguiente figura se muestran las aportaciones del año medio generadas a partir del modelo estocástico junto con las aportaciones medias originales.

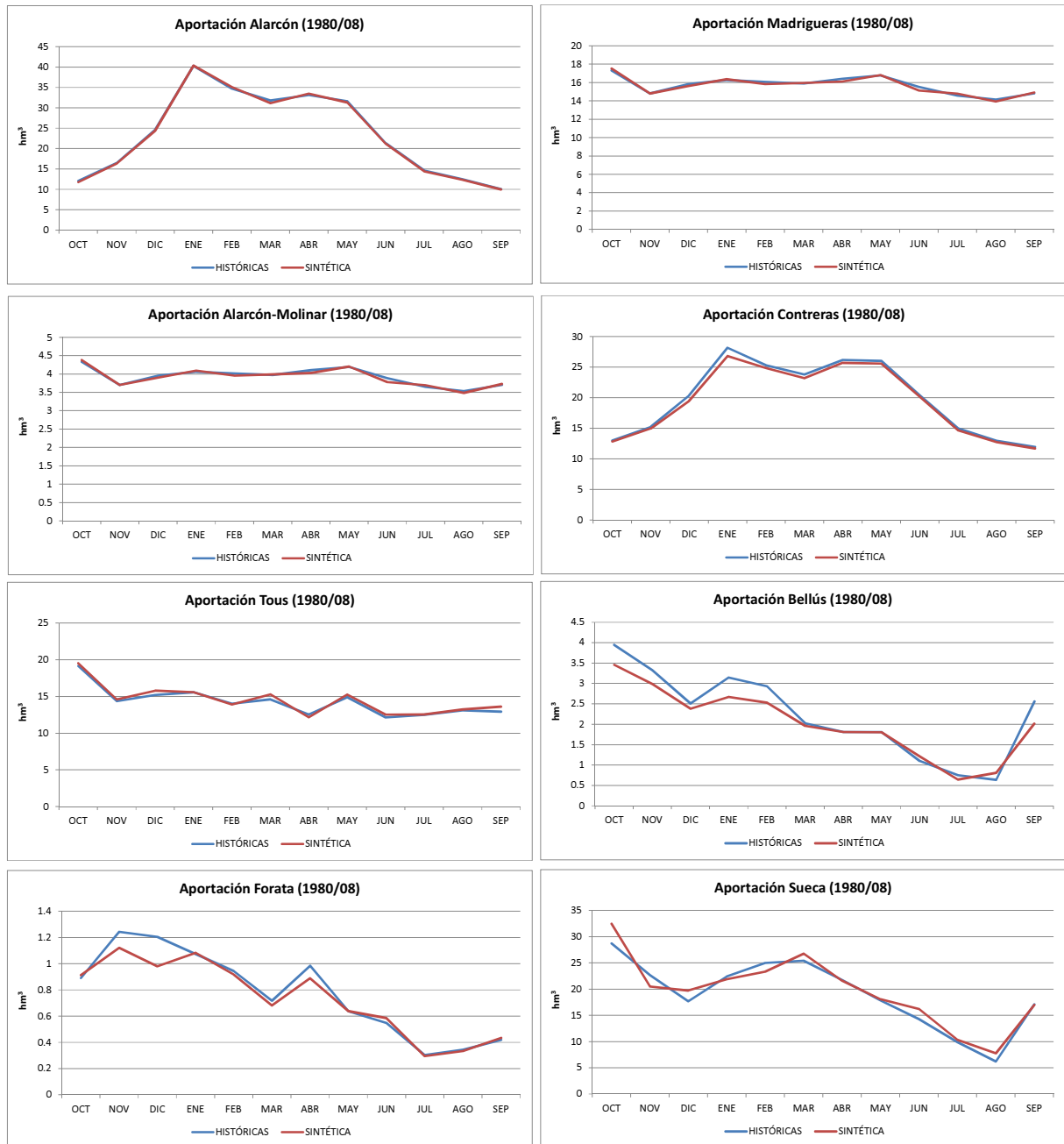


Figura 35. Aportaciones mensuales medias para la serie 1980/08