

EL SISTEMA DE CABECERA DEL TAJO Y EL TRASVASE TAJO-SEGURA

Francisco Cabezas

Madrid, diciembre de 2013

INDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN.....	13
2.	EL SISTEMA DE CABECERA DEL TAJO.....	15
2.1	Introducción	15
2.2	Antecedentes. Esquema básico de cabecera	16
2.3	Requerimientos ambientales.....	18
2.4	Demandas.....	19
2.4.1	Cuenca del Tajo	19
2.4.2	Cuenca del Segura.....	23
2.4.3	Cuencas del Guadiana-Júcar.....	26
2.5	Requerimientos totales	27
2.6	Embalses	28
2.7	Evaporación y pérdidas en los embalses.....	29
2.8	Conducciones.....	32
2.9	Aportaciones	32
2.10	Prioridades y reglas de gestión.....	40
2.10.1	Reglas estándares basadas en prioridad	40
2.10.2	Regla de explotación vigente.....	41
3.	DESEMBALSES DE REFERENCIA.....	45
3.1	Introducción	45
3.2	El concepto de desembalse de referencia.....	45
3.3	Cálculo de desembalses	46
3.4	Contraste con la evolución observada.....	51
3.5	Conclusiones	53
4.	CÁLCULO DE LAS RESERVAS DE CABECERA.....	55
4.1	Introducción	55
4.2	Reserva calculada mediante APSx.....	55
4.3	Reserva calculada mediante PL.....	56
4.4	Reserva calculada mediante simulaciones iteradas	58
4.5	Sensibilidad de la reserva a los caudales mínimos	59
4.6	Conclusiones	60
5.	MEJORAS AMBIENTALES EN CABECERA DEL TAJO.....	63
5.1	Introducción	63
5.2	Análisis de caudales.....	64
5.2.1	Caudales en Aranjuez	64
5.2.1.1	Series registradas	64
5.2.1.2	Caudales generadores	69
5.2.1.3	Propuesta de mejora ambiental.....	69
5.2.2	Caudales en Talavera de la Reina.....	70
5.2.2.1	Introducción	70
5.2.2.2	Estaciones de aforo	72
5.2.2.3	Embalse de Azután	76
5.2.2.4	Contraste de series en Talavera	79

5.2.3	Efectos sobre las reservas	87
5.2.4	Síntesis de resultados. Propuesta de mejora.....	89
5.2.5	Mejoras de eficiencia y optimización de la explotación.....	90
5.3	Conclusión	90
6.	LA DEFINICIÓN DE CIRCUNSTANCIAS HIDROLÓGICAS EXCEPCIONALES.....	93
6.1	Introducción	93
6.2	Criterios y procedimientos de cálculo.....	93
6.3	Resultados obtenidos	96
7.	LOS EFECTOS SOBRE EL TRASVASE TAJO-SEGURA-GUADIANA.....	101
7.1	Introducción	101
7.2	Hipótesis de contraste.....	101
7.3	Efecto del desembalse de referencia sobre los volúmenes trasvasables	102
7.3.1	Desembalse de referencia histórico	103
7.3.2	Desembalse de referencia 365	107
7.3.3	Desembalse de referencia 425	111
7.3.4	Efecto del periodo temporal elegido	115
7.4	Efecto de la reserva sobre los volúmenes trasvasables.....	116
7.5	Efecto de la curva de Consejo de Ministros.....	120
7.6	Conclusiones	121
8.	LA REGLA DE EXPLOTACIÓN	123
8.1	Introducción	123
8.2	Condiciones necesarias. Dominio factible básico.....	123
8.3	Indicadores objetivo.....	125
8.4	Análisis previos en el dominio factible.....	127
8.5	Análisis de sensibilidad	132
8.5.1	Series de aportaciones empleadas	132
8.5.2	Definición del nivel 1	135
8.5.3	Volumen trasvasable en nivel 3.....	137
8.5.4	Margen de discrecionalidad en nivel 3.....	138
8.5.5	Curva de definición de condiciones excepcionales	139
8.5.6	Situaciones vigente y propuesta	141
8.5.7	Conclusión.....	144
8.6	Análisis detallado en el dominio extendido	145
8.6.1	Dominio de búsqueda	145
8.6.2	Resultados obtenidos	145
8.7	Contraste con series sintéticas.....	148
8.7.1	Introducción	148
8.7.2	Modelo propuesto	148
8.7.3	Incorporación de las precipitaciones	155
8.7.4	Resultados obtenidos	156
8.7.4.1	Series generadas.....	156
8.7.4.2	Variabilidad hidrológica y sensibilidad de parámetros	157
8.7.4.3	Contraste de la situación vigente y la nueva propuesta	161
8.7.4.4	Sensibilidad de la reserva	164
8.8	Aplicación en horizontes plurimensuales	165
8.8.1	Introducción	165
8.8.2	Mecanismo propuesto.....	165
8.9	Análisis finales. Escenarios singulares	169
8.9.1	Introducción	169
8.9.2	Límites extremos de los indicadores básicos	170
8.9.3	Efecto del volumen trasvasable en nivel 2	171
8.9.3.1	Análisis de sensibilidad	171
8.9.3.2	Contraste con series sintéticas	174
8.9.3.3	Conclusiones.....	177

9.	LA DISTRIBUCIÓN POR USOS	179
9.1	Introducción	179
9.2	Situación actual y alternativas	179
9.3	Sistema de cuentas	188

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa pluviométrico de la cuenca del Tajo.....	16
Figura 2. Esquema de la cabecera del Tajo.....	18
Figura 3. Asignaciones anuales a los distintos usos (años hidrológicos).....	24
Figura 4. Evaporaciones mensuales en los embalses de cabecera (mm/mes).....	29
Figura 5. Comparación de series anuales SIMPA y restituida.....	37
Figura 6. Evolución de aportaciones en cabecera. Medias.....	38
Figura 7. Evolución de aportaciones en cabecera. Medianas.....	38
Figura 8. Desembalses anuales requeridos (hm ³) y valores propuestos.....	47
Figura 9. Desembalses mensuales requeridos (hm ³).....	48
Figura 10. Desembalses anuales de referencia según la demanda de abastecimiento (hm ³ /año).....	49
Figura 11. Desembalses mensuales requeridos según la demanda anual de abastecimiento (hm ³).....	50
Figura 12. Serie de desembalses anuales de la cabecera del Tajo (hm ³ /año).....	51
Figura 13. Desembalses mensuales registrados en 1991-2011 y valores de referencia (hm ³).....	52
Figura 14. Diferencias en los desembalses mensuales medios y de referencia (hm ³).....	53
Figura 15. Reservas mensuales requeridas (hm ³).....	57
Figura 16. Garantías conjuntas del Tajo según la reserva de cabecera.....	58
Figura 17. Garantías conjuntas del Tajo según la reserva de cabecera y el mínimo en Aranjuez.....	60
Figura 18. Caudales diarios en Aranjuez (3011), periodo 1912-1929.....	65
Figura 19. Caudales diarios en Aranjuez (3011), periodo 1954-1960.....	66
Figura 20. Caudales diarios en Aranjuez (3011), periodo 1961-1985.....	67
Figura 21. Caudales diarios en La Flamenca (3023), periodo 1912-1931.....	68
Figura 22. Volúmenes anuales de crecida diaria media en Aranjuez (hm ³).....	69
Figura 23. Caudales diarios en Las Barracas (3914), periodo 1912-1932.....	72
Figura 24. Caudales diarios en Talavera (3015), periodo 1912-1932.....	73
Figura 25. Caudales diarios en Talavera (3015), periodo 1942-1990.....	74
Figura 26. Caudales diarios en Azután (3203), periodo 1970-1986.....	75
Figura 27. Entradas diarias a Azután, criterio Y comienzo del día.....	77
Figura 28. Entradas diarias a Azután, criterio Z final del día.....	77
Figura 29. Entradas diarias a Azután en 1992, ambos criterios.....	78
Figura 30. Entradas diarias a Azután obtenidas por balance (E3203), periodo 1972-2009.....	79
Figura 31. Flujos diarios en Azután (Q3203 aforos, E3203 balance), periodo 1970-2009.....	80
Figura 32. Flujos diarios en Azután (Q3203 aforos, E3203 balance), detalle 1981-1985.....	80
Figura 33. Caudales diarios en Talavera (Q3015 aforos, E3203 balance), periodo común 1972-1989.....	81
Figura 34. Caudales diarios en Talavera (Q3015 aforos, E3203 balance), detalle 1975-1976.....	82
Figura 35. Caudales diarios en Talavera (Q3015 aforos, E3203 balance), detalle 1981-1982.....	82
Figura 36. Histograma de caudales de la serie E3203 inferiores a 40 m ³ /s.....	83
Figura 37. Serie diaria de déficit de caudales mínimos en Talavera (hm ³).....	84
Figura 38. Serie mensual de déficit de caudales mínimos en Talavera (hm ³).....	84
Figura 39. Serie anual de déficit de caudales mínimos en Talavera (hm ³).....	85
Figura 40. Déficit por meses y medias de cada mes (hm ³).....	85
Figura 41. Contraste de caudales diarios en Aranjuez y Talavera.....	86
Figura 42. Volúmenes de embalse requeridos (hm ³).....	87
Figura 43. Reserva máxima correspondiente a cada nivel de trasvase mensual en situación de nivel 3 o alerta (hm ³).....	96
Figura 44. Suministros anuales a los regadíos en destino (años hidrológicos).....	98

Figura 45. Curvas de Consejo de Ministros correspondientes a cada nivel de trasvase mensual en situación de nivel 3	99
Figura 46. Desplazamientos de las curvas correspondientes a cada nivel de trasvase mensual en nivel 3.....	99
Figura 47. Trasvases anuales en origen (años hidrológicos). Hipótesis DMedHis.....	103
Figura 48. Existencias embalsadas mensuales. Hipótesis DMedHis	104
Figura 49. Serie de diferencias de las existencias embalsadas mensuales. Hipótesis DMedHis.....	105
Figura 50. Trasvases mensuales en origen. Hipótesis DMedHis.....	106
Figura 51. Porcentajes de presentación de niveles. Hipótesis DMedHis	107
Figura 52. Trasvases anuales en origen (años hidrológicos). Hipótesis D365 (referencia).....	108
Figura 53. Existencias embalsadas mensuales. Hipótesis D365 (referencia)	109
Figura 54. Serie de diferencias de las existencias embalsadas mensuales. Hipótesis D365 (referencia).....	110
Figura 55. Trasvases mensuales en origen. Hipótesis D365 (referencia).....	110
Figura 56. Porcentajes de presentación de niveles. Hipótesis D365	111
Figura 57. Trasvases anuales en origen (años hidrológicos). Hipótesis D425.....	112
Figura 58. Existencias embalsadas mensuales. Hipótesis D425.....	112
Figura 59. Serie de diferencias de las existencias embalsadas mensuales. Hipótesis D425.....	113
Figura 60. Trasvases mensuales en origen. Hipótesis D425.....	114
Figura 61. Porcentajes de presentación de niveles. Hipótesis D425	114
Figura 62. Trasvases anuales en origen (años hidrológicos). Serie completa.....	115
Figura 63. Efectos de la reserva sobre diferentes indicadores de explotación del trasvase.....	118
Figura 64. Derivada de la curva de reserva-volumen trasvasado medio anual	119
Figura 65. Efectos de la elevación de la curva de Consejo de Ministros sobre diferentes indicadores de explotación del trasvase	120
Figura 66. Histogramas acumulados de existencias mensuales embalsadas y aportaciones acumuladas en 12 meses	125
Figura 67. Probabilidad de presentación del nivel 3.....	128
Figura 68. Trasvase mínimo anual.....	129
Figura 69. Índice de irregularidad	130
Figura 70. Trasvase medio anual	131
Figura 71. Probabilidad de presentación del nivel 3. Serie completa.....	132
Figura 72. Trasvase mínimo anual. Serie completa	133
Figura 73. Índice de irregularidad. Serie completa	133
Figura 74. Trasvase medio anual. Serie completa.....	134
Figura 75. Vertido medio anual. (hm ³ /año).....	134
Figura 76. Indicadores resultantes según los parámetros de definición del nivel 1	136
Figura 77. Indicadores resultantes según el trasvasable mensual en nivel 3.....	137
Figura 78. Indicadores resultantes según el trasvasable mensual en nivel 3.....	140
Figura 79. Trasvases mensuales en origen. Parámetros vigentes y propuestos.....	142
Figura 80. Trasvases anuales en origen. Parámetros vigentes y propuestos	143
Figura 81. Existencias mensuales embalsadas. Parámetros vigentes y propuestos	143
Figura 82. Porcentajes de presentación de niveles con parámetros vigentes y propuestos	144
Figura 83. Indicadores de ejecución detallada	146
Figura 84. Parametrizaciones compatibles con la solución de compromiso	147
Figura 85. Cuantiles de datos mensuales originales vs distribución normal	149
Figura 86. Cuantiles de datos mensuales log-transformados vs distribución normal	150
Figura 87. Serie desestacionalizada y estandarizada Z.....	151
Figura 88. FAC y FACP empíricas de z.....	151
Figura 89. Valores observados, calculados y residuos del modelo AR(1).....	153
Figura 90. FAC y FACP empíricas de los residuos	154
Figura 91. Aportaciones estandarizadas frente a precipitaciones del mes anterior estandarizadas.....	155
Figura 92. Media y desviación típica de las series histórica y sintética	156
Figura 93. Coeficiente de sesgo y autocorrelación de las series histórica y sintética.....	157
Figura 94. Simulaciones con series sintéticas y u1 variable.....	158

Figura 95. Simulaciones con series sintéticas y u2 variable.....	159
Figura 96. Simulaciones con series sintéticas y u3 variable.....	160
Figura 97. Simulaciones con series sintéticas de la parametrización vigente y la nueva propuesta	163
Figura 98. Reservas obtenidas mediante series sintéticas.....	165
Figura 99. Previsiones mensuales.....	169
Figura 100. Indicadores resultantes según el trasvasable mensual en nivel 2.....	172
Figura 101. Trasvases anuales en origen. Parámetros vigentes, propuestos y con n2 38.....	173
Figura 102. Trasvases anuales en origen. Parámetros vigentes fijados con n2 variable.....	174
Figura 103. Efectos del nivel 2. Series sintéticas.....	175
Figura 104. Socorros o adquisiciones adicionales para MCT (hm ³ /año en origen).....	181
Figura 105. Resultados para distribución proporcional nominal con mínimo mensual para MCT.....	182
Figura 106. Resultados para distribución proporcional 25/75 con mínimo mensual para MCT.....	184
Figura 107. Efectos del trasvasable en nivel 2 sobre la distribución por usos.....	185
Figura 108. Socorros o adquisiciones adicionales para MCT (hm ³ /año en origen).....	186
Figura 109. Suministros para regadío y abastecimientos en origen (hm ³ /año)	187

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Demandas consuntivas propias de la cuenca del Tajo asociadas a su cabecera	21
Tabla 2. Distribución de volúmenes máximos de trasvase en destino	23
Tabla 3. Asignación de volúmenes trasvasables al Segura considerando las menores pérdidas.....	24
Tabla 4. Asignación de volúmenes trasvasables al Segura considerando reasignación de menores pérdidas	25
Tabla 5. Distribución estacional de las demandas de trasvase para regadíos en la cuenca del Segura.....	26
Tabla 6. Distribución estacional de las demandas de trasvase para las Tablas de Daimiel.....	27
Tabla 7. Demandas consuntivas propias de la cuenca del Tajo asociadas a su cabecera	27
Tabla 8. Volúmenes de embalse.....	28
Tabla 9. Evaporación de tanque y Piche en embalses de cabecera	30
Tabla 10. Distribución mensual porcentual de la evaporación.....	31
Tabla 11. Evaporación en azudes del tramo Bolarque-Aranjuez	32
Tabla 12. Aportaciones empleadas en estudios previos.....	33
Tabla 13. Serie de entradas a Bolarque-CHT.....	36
Tabla 14. Determinación de volumen trasvasable según la regla vigente.....	42
Tabla 15. Existencias a comienzos de mes definitorias de la situación hidrológica excepcional según la regla vigente.....	42
Tabla 16. Desembalses mensuales de referencia (m ³ /s)	50
Tabla 17. Desembalses mensuales de referencia (hm ³).....	50
Tabla 18. Existencias a comienzos de mes definitorias de la reserva mínima.....	57
Tabla 19. Evaporaciones mensuales en Azután (mm)	76
Tabla 20. Situación hidrológica excepcional. Supuestos de 18 y 20 máximos mensuales.....	100
Tabla 21. Situación hidrológica excepcional. Embalses requeridos a comienzo de cada mes.....	123
Tabla 22. Transición de las curvas definitorias de la situación hidrológica excepcional.....	124
Tabla 23. Indicadores de explotación de la regla en situación actual.....	127
Tabla 24. Indicadores de explotación de la regla en situación actual y propuesta.....	131
Tabla 25. Indicadores de explotación para nivel 3 fijo y estacional.....	139
Tabla 26. Indicadores de explotación según la curva de nivel 3 adoptada.....	141
Tabla 27. Dominio de búsqueda refinado	145
Tabla 28. Propuesta de solución de compromiso basada en filtros.....	147
Tabla 29. Estadísticos mensuales de la serie log-transformada.....	152
Tabla 30. Parámetros mensuales para diferentes cuantiles.....	153
Tabla 31. Parámetros mensuales para aplicación plurimensual de la regla	166
Tabla 32. Dominio para optimización de indicadores individuales	170
Tabla 33. Asignación de volúmenes trasvasables al Segura antes del Memorándum	180
Tabla 34. Distribución por usos antes del Memorándum	180
Tabla 35. Asignación de volúmenes trasvasables al Segura tras la reasignación de menores pérdidas	181
Tabla 36. Distribución por usos antes del Memorándum	181

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento tiene por objeto presentar de forma sintética los datos, hipótesis, procedimientos y resultados obtenidos en el análisis del sistema de recursos hídricos de cabecera del Tajo, y sus efectos sobre el trasvase desde el Tajo al Segura y Guadiana.

Procediendo de forma sistemática, en primer lugar se aborda el estudio de las necesidades de cabecera del Tajo (toda la cuenca aguas arriba de Aranjuez), y el correspondiente desembalse de referencia, desde Bolarque, necesario para su completa atención sin ninguna restricción y con plena garantía volumétrica y temporal. Ello requiere el análisis de demandas, retornos, modulaciones, infraestructuras, aportaciones y requerimientos ambientales, y la integración de todo ello en un modelo de simulación del sistema de recursos hídricos.

Establecido el desembalse de referencia, equivalente a una demanda agregada conjunta propia del Tajo, asociada a Bolarque, en una segunda fase se obtienen las reservas necesarias en los embalses de regulación de cabecera –Entrepeñas y Buendía- para atender este desembalse, garantizando así plenamente la atención de todas las demandas y requerimientos ambientales de la cuenca de cabecera. Esta reserva constituye el umbral bajo el cual no es posible autorizar ningún trasvase sin afectar a las garantías del Tajo, y todas las existencias almacenadas bajo el mismo se destinan a asegurar sin restricciones los suministros propios de la cuenca de cabecera.

Para todas estas determinaciones se parte básicamente de los datos ofrecidos en los borradores de Normativa del Plan y otros textos relacionados elaborados por la Confederación Hidrográfica del Tajo.

Determinados los desembalses de referencia y las reservas, una tercera fase del análisis consiste en introducir distintas mejoras ambientales para el Tajo, no contempladas en el actual borrador de Normativa del Plan, cuantificar sus efectos, y evaluar el impacto de su introducción sobre los desembalses y reservas anteriormente obtenidos.

Fijados los desembalses y reservas finales, en una cuarta fase se estudia la definición de las condiciones hidrológicas excepcionales bajo las cuales las decisiones de trasvase se remiten al Consejo de Ministros.

Con todo ello se dispone de la información básica necesaria para la planificación hidrológica en estos dos aspectos fundamentales: la definición de excedentes trasvasables o umbral de no trasvase, y las condiciones hidrológicas singulares que definen la excepcionalidad hidrológica, condicionando al órgano decisor respecto a volúmenes máximos trasvasables.

En una quinta fase se analiza el impacto de todo ello sobre las posibilidades de trasvase desde cabecera, contrastando la nueva situación con la preexistente, que es la vigente en la actualidad, antes de la aplicación del Memorándum.

La culminación técnica del proceso viene dada, en una sexta fase, por el estudio y actualización de las vigentes reglas de explotación y el diseño, en su caso, de un protocolo para su aplicación automática plurimensual.

Finalmente, ya resuelto el problema de los volúmenes totales trasvasables mes a mes, en una séptima fase se aborda la importante cuestión de la distribución de recursos trasvasados por usos, revisando la situación actual y proponiendo posibles mejoras de la regulación vigente.

Como se ha apuntado, la caracterización y modelación del sistema de cabecera del Tajo es una cuestión de fundamental relevancia no solo para la propia cuenca del Tajo, sino también para las cuencas del Segura, Guadiana, y Cuenca Mediterránea Andaluza, susceptibles de recibir recursos de esta cabecera, y del Júcar, por cuyo ámbito circulan y podrían almacenarse y utilizarse los caudales movilizados. Garantizar la coherencia de todos estos planes bajo una perspectiva integrada es de fundamental importancia para avanzar eficazmente en futuras revisiones del proceso planificador.

2. EL SISTEMA DE CABECERA DEL TAJO

2.1 INTRODUCCIÓN

Como se ha indicado, el paso previo a todos los análisis técnicos del comportamiento de la cabecera del Tajo es la caracterización de su sistema de recursos hídricos, construyendo un esquema de modelación coherente e integrado. No obstante, antes de proceder a estas tareas es interesante recordar algunas características propias de la cuenca del Tajo que permiten entender mejor su funcionamiento general y centrar adecuadamente los análisis específicos de la cabecera dentro del contexto general de la cuenca.

Así, desde el punto de vista de los usos de la cuenca cabe recordar que los primeros aprovechamientos se centraron en la atención de las necesidades de Madrid, constituyendo desde sus inicios una unidad autónoma con fuentes de suministro separadas tanto para abastecimientos (Lozoya, alto Jarama), como riego (Aranjuez, Henares, Talavera) o energía (Bolarque y Burguillo), lo que dio lugar a un aprovechamiento relativamente intenso en el centro de la cuenca –Madrid- y poco activo en sus extremos, con abundantes recursos no aprovechados hasta épocas relativamente recientes.

Desde el punto de vista de los recursos, puede constatarse una fuerte irregularidad inter e intraanual de las aportaciones del Tajo en su curso medio, puesta de manifiesto p.e. en los estudios del sistema del Tajo realizados en el marco de los análisis del Plan Hidrológico Nacional de 2000 (PHN-2000), y como puede hablarse de una segunda cabecera del río, ya identificada desde antiguo, mucho más abundante en agua que la primera, y que se asienta en los afluentes del curso medio en la margen derecha.

La simple inspección del mapa pluviométrico de la cuenca, mostrado en la figura, permite apreciar este efecto de cabecera intermedia o doble cabecera: la hidrográfica en sentido estricto, siguiendo la red fluvial, en el Alto Tajo, y la pluviométrica en la margen derecha de su curso alto-medio, en la que cabe a su vez distinguir diferentes subcabeceras vinculadas a los afluentes principales Jarama, Alberche, Tiétar y Alagón, cada uno de ellos con un volumen de recursos hídricos naturales generados similar o mayor al de la cabecera del Tajo.

La diversidad de cabeceras o áreas generadoras de recursos, sumada a la relativa separación y especialización de aprovechamientos configuró una situación de inconexión y separación de usos y territorios, gestionados de forma independiente, que podría explicar el hecho de que la Confederación Hidrográfica del Tajo se constituyese en 1953, muy tardíamente en relación a otras Confederaciones Hidrográficas, donde la necesidad de un organismo global armonizador fue percibida mucho antes. A la necesidad de integración contribuyó también, sin duda, la posibilidad esperada de emprender en un futuro próximo la gran obra hidráulica del trasvase Tajo-Segura, planteado 30 años antes, y que requería tanto la regulación de la cabecera, también planteada en el Plan de 1933, como un organismo unitario de cuenca competente para su gestión.

La regulación de cabecera del Tajo se proyectó inicialmente mediante 10 pantanos (5 en el Tajo, 1 en el Gallo, 3 en el Guadiela y 1 en el Escabas), con una capacidad total de unos 2.000 hm³. Entre estos 10 ya se contaban Entrepeñas en el Tajo y Buendía en el Guadiela, a los que quedaría finalmente reducida la lista, si bien con capacidades muy superiores a las inicialmente contempladas (380 hm³ Entrepeñas y 600 Buendía), de forma que su capacidad

final resultó similar a los 2000 previstos, y conectados mediante un túnel que les da la funcionalidad de un embalse único.

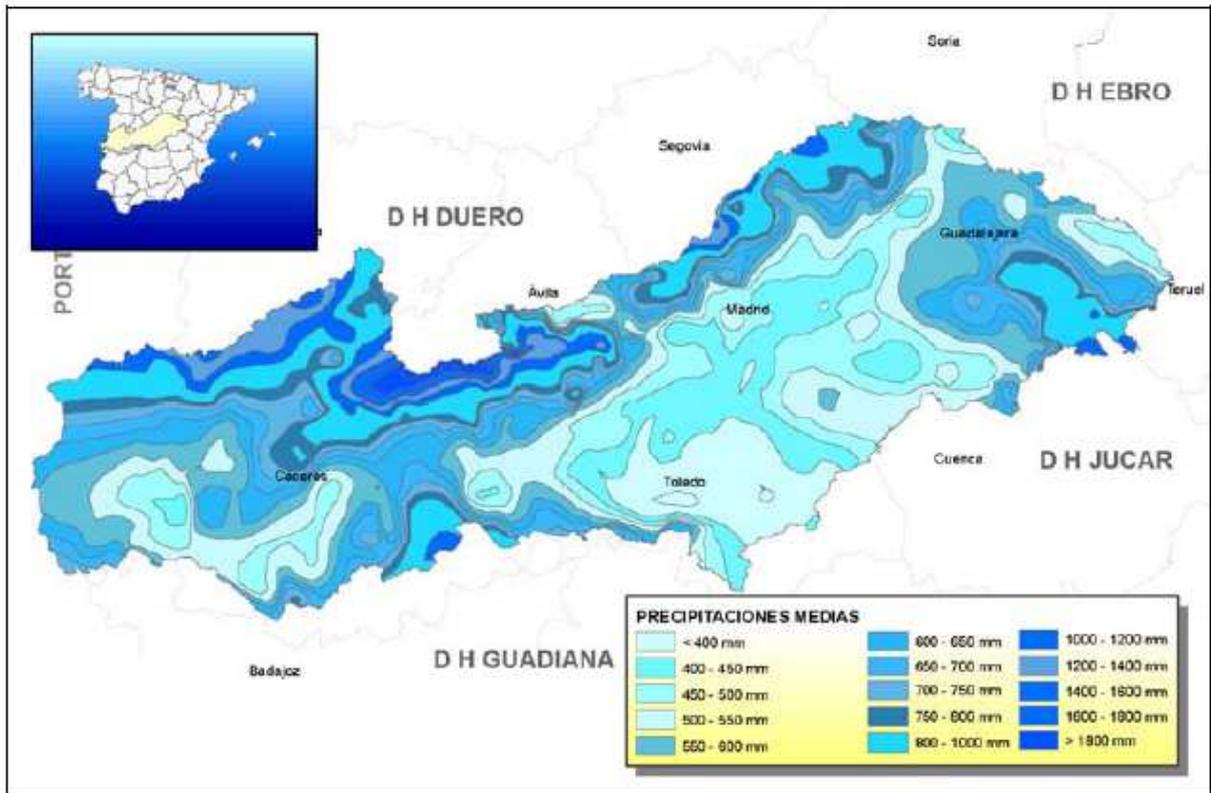


Figura 1. Mapa pluviométrico de la cuenca del Tajo

No obstante, a pesar de esta regulación unitaria de la cabecera, sus efectos sobre el régimen del río aguas abajo son limitados dada la importancia de las aportaciones que se van incorporando a lo largo de su curso por los afluentes de la margen derecha, similares o mayores que la propia cabecera del Tajo como ya se ha señalado.

Estas circunstancias históricas e hidrológicas son relevantes para entender situaciones actuales, a veces conflictivas, como la separación hidrológica de la cabecera respecto al curso medio y bajo, cuestión importante que será abordada con detalle en posteriores capítulos.

2.2 ANTECEDENTES. ESQUEMA BÁSICO DE CABECERA

Conforme a las determinaciones y datos recogidos en el Plan Hidrológico de la cuenca del Tajo y sus posteriores borradores y documentos de revisión, el sistema de explotación básico de la cabecera, entendiendo por tal, como se indicó, toda la cuenca fluvial del río y sus afluentes hasta Aranjuez, es el representado en el esquema adjunto, en el que se incluyen las infraestructuras fundamentales (presas representadas con triángulos, azudes de derivación con triángulos pequeños, canales con líneas rojas), las demandas existentes (cuadrados) con sus puntos de retorno (flechas circulares), los tramos fluviales (líneas azules o verdes) y las aportaciones consideradas (flechas gruesas).

Se han incluido también los elementos básicos asociados al acueducto Tajo-Segura en las cuencas del Guadiana, Júcar y Segura, y que pueden alimentarse desde el sistema de cabecera, aunque estos elementos son completamente irrelevantes para la determinación de los

desembalses de referencia y el umbral de reservas, y solo se utilizarán, una vez que éste haya sido fijado, para estimar las posibilidades de transferencia resultantes.

El antecedente primero de este esquema propuesto es el desarrollado en 1998 por el Ministerio de Medio Ambiente, cuya descripción inicial puede verse en la publicación *Tres casos de planificación hidrológica* (MIMAM, 2000). Tomando este antecedente como punto de partida, se ha complementado y actualizado con las determinaciones del vigente plan hidrológico del Tajo de 1998 y con sus documentos asociados y borradores posteriores de revisión. Como referencia básica se ha adoptado el borrador del documento de Normativa, actualmente en proceso de consulta pública.

En los siguientes epígrafes se describe con detalle este sistema comenzando por los requerimientos ambientales, considerados como restricciones previas al sistema de usos, a los que seguirán las demandas consuntivas y no consuntivas afectadas, según sus clases. Tras la síntesis de requerimientos totales se examinan los embalses y las aportaciones del sistema, concluyendo finalmente con los criterios de explotación. Tras ello pueden obtenerse los desembalses de referencia necesarios y seguir los procedimientos técnicos anteriormente descritos para el cálculo del umbral de reservas.

Dado que existen distintas fuentes de datos en distintas fechas, para evitar confusiones y seguir un planteamiento sistemático se expondrá en primer lugar la situación correspondiente a la vigente planificación hidrológica, aprobada por el R.D.1664/1998, que es la que tiene valor normativo, y que denominaremos *situación vigente*. Tras ello se señalarán las modificaciones producidas desde esa fecha, junto con las indicaciones de los documentos de actualización de la planificación hidrológica disponibles hasta hoy. Ello dará lugar a diferentes supuestos o alternativas tal y como se mostrará, tomando como referencia fundamental el ya indicado documento borrador de Normativa.

Ha de señalarse, en todo caso, que la actualización de la planificación es un proceso en desarrollo, por lo que no se dispondrá de cifras consolidadas en tanto en cuanto no se concluya y se apruebe finalmente el nuevo Plan Hidrológico de la cuenca del Tajo. Los resultados obtenidos en este informe pueden experimentar alguna variación si las desviaciones de estas cifras finales son significativas, pero no cabe esperar que estas posibles variaciones resulten determinantes a los efectos que se persiguen.

Con estas consideraciones, el esquema del sistema de explotación de cabecera adoptado es el mostrado en la figura y descrito con detalle en los epígrafes que siguen.

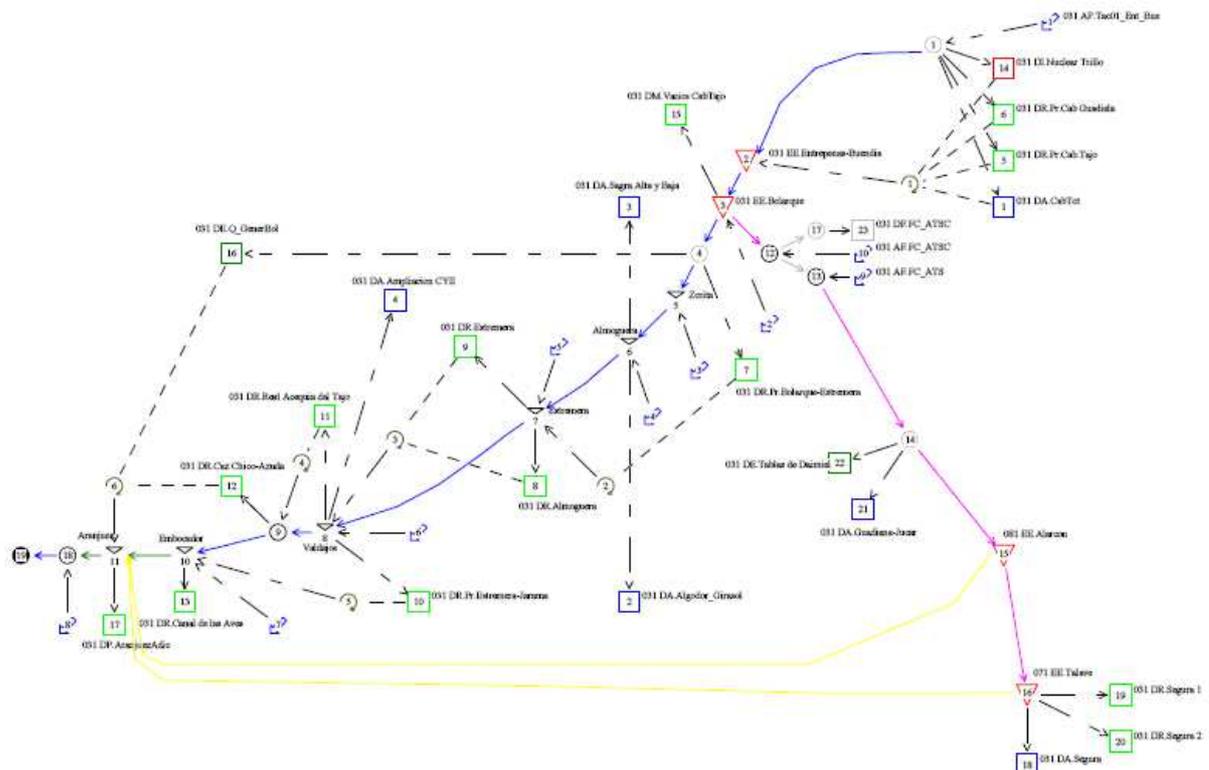


Figura 2. Esquema de la cabecera del Tajo

2.3 REQUERIMIENTOS AMBIENTALES

El vigente Plan Hidrológico de la cuenca del Tajo, recogiendo normas legales anteriores (Disposición Adicional primera de la Ley 52/1980) fijó un caudal mínimo permanente para el río Tajo en Aranjuez de seis metros cúbicos por segundo.

Este caudal supone un volumen mínimo anual de 189 hm^3 , distribuido de forma constante a lo largo del año, y que, conforme a la legislación de aguas, debe ser considerado no como una demanda ordinaria sino como una restricción previa del sistema de utilización, con carácter prioritario sobre cualquier demanda de cualquier naturaleza. Esta es la situación actualmente vigente, que es la que consideraremos en el presente análisis, y que se introduce en el modelo de forma segura forzando un flujo mínimo de $6 \text{ m}^3/\text{s}$ en los tramos aguas arriba y aguas abajo del azud de Aranjuez, cuyas aportaciones incrementales desde el Embocador se suponen incorporadas aguas abajo.

Con posterioridad, diferentes documentos han sugerido de forma provisional otras magnitudes de caudal mínimo, con distintas modulaciones mensuales y trimestrales, cuya consideración puede resultar de interés para otros objetivos pero que no procede introducir en este análisis, en el que nos limitamos a adoptar la cuantía vigente, que es asimismo coincidente con la propuesta del borrador de Normativa del Plan, actualmente en proceso de tramitación.

Respecto a la introducción de estos caudales en el sistema de recursos hídricos, aunque en la explotación puede admitirse de forma temporal –situaciones de sequía- la preferencia de los abastecimientos sobre los requerimientos ambientales, desde la perspectiva de la planificación

debe fijarse, como se señaló, la preeminencia ambiental de forma absoluta y sin excepciones, y así se ha considerado en este análisis.

2.4 DEMANDAS

Para determinar las demandas del sistema se adoptan inicialmente las unidades del vigente plan hidrológico, actualizando sus magnitudes conforme a los datos más recientes tomados básicamente del borrador de Plan actualmente en tramitación (Normativa y Documento 4, Modelo del Eje del Tajo).

Aunque no es necesario para determinar los desembalses de referencia y el umbral de reservas no trasvasables resultante, a efectos de la completa caracterización del sistema se considerarán de forma sistemática todas las demandas pertinentes tanto de cabecera del Tajo como del Guadiana y Segura. Estas demandas no se emplean por ahora pero se utilizarán en capítulos posteriores, al analizar el comportamiento del sistema conjunto.

Ha de señalarse que en este documento se entiende por demanda el concepto clásico asimilado a un requerimiento de recursos para satisfacer un uso, y jurídicamente materializado mediante un título concesional, legal, o de titularidad privada, o por una asignación o reserva para usos futuros. Pese a su carácter normativo, no se seguirá la definición reglamentaria de demanda (art.3.k RPH), que proporciona una interpretación económica de este concepto, correcta en un contexto teórico y útil para determinados fines, pero extravagante dentro del sistema de derecho de aguas español, no basado en los equilibrios de oferta y demanda propios del libre mercado, sino en la asignación pública mediante mecanismos concesionales.

2.4.1 Cuenca del Tajo

Las demandas consuntivas propias asociadas a la cabecera y consideradas en el esquema son las incluidas en la tabla adjunta, en la que se indican las cuantías totales anuales, su distribución estacional, y el porcentaje estimado de retornos incorporados al propio sistema de cabecera.

Las principales diferencias con respecto al modelo inicial, descrito en la mencionada publicación del MIMAM *Tres Casos de Planificación Hidrológica*, son las siguientes:

La consideración explícita de las demandas de cabecera, aguas arriba de los embalses. Las de abastecimiento urbano son poco significativas y quedaron entonces embebidas, a efectos prácticos, en los volúmenes requeridos por los regadíos y la reducción de aportaciones a los embalses. Ahora se introducen expresamente y se fijan en 6.67 hm³/año, incluyendo los núcleos aguas arriba de Entrepeñas-Buendía (3.34 hm³/año), los núcleos ribereños (2.29 hm³/año), y la Mancomunidad del Guadiela (1.04 hm³/año), caudales todos que supondremos continuos y con detracción aguas arriba de los embalses.

Los 29 hm³/año antes asignados a regadíos no regulados aguas arriba de los embalses se desagregan ahora en 7.16 hm³/año para el Alto Tajo y 11.55 hm³/año para el Guadiela, ambos con retornos que se suponen nulos, y la distribución estacional dada, igual a la de entonces. Si se añade el abastecimiento el total actual es de 25.38 hm³/año, magnitud similar, aunque algo inferior, a la anterior.

La central nuclear de Trillo demanda actualmente 37.8 hm³/año frente a los 47 anteriores, y tiene un retorno del 45.8 % frente al 36 % anterior. Con ello el consumo actual sería de unos 21 hm³/año. Cabe señalar que esta magnitud no coincide con los consumos de agua declarados

por la propia central, que son del orden de 17 hm³/año. Adoptando las cifras del borrador de Plan se queda, en todo caso, del lado de la seguridad.

La central nuclear José Cabrera, situada en Almonacid de Zorita y en funcionamiento desde 1968, inició su parada y desmantelamiento el 30 de abril de 2005, quedando definitivamente fuera de servicio. Ello supone la eliminación en el esquema de su correspondiente demanda.

Todas las demandas de regadío entre Bolarque y Aranjuez mantienen valores muy similares a los anteriores, con alguna ligerísima reducción por efecto de las modernizaciones emprendidas, modernizaciones que también han acarreado una reducción de los retornos previstos. Con la adición expresa de Almoguera, y la consideración conjunta en Estremera del Canal más el no modernizado más el exceso de suministro por falta de regulación, sus valores totales anuales, distribuciones mensuales y retornos supuestos utilizables en el sistema son los ofrecidos en la tabla.

Por otra parte, se introducen 3 nuevas demandas de abastecimiento correspondientes a las asignaciones para las Mancomunidades de Algodor y Girasol, con 27.39 hm³/año (23.57 y 3.82 respectivamente), al abastecimiento a la Sagra Alta y Baja, con 16.45 hm³/año (10.65 y 5.80 respectivamente), y a la concesión otorgada al Canal de Isabel II de hasta 60 hm³/año, con toma en el azud de Valdajos. El expediente de esta concesión se inicia en diciembre de 2009, otorgándose finalmente en enero de 2011 tras haber sido inaugurada dos meses antes la planta de tratamiento.

Las dos primeras demandas no han alcanzado sus valores nominales y previsiblemente no lo harán en el futuro inmediato, dada la contención generalizada experimentada por las demandas urbanas en los últimos años. Las previsiones de crecimiento en que se basaron estas asignaciones distan mucho de haberse cumplido, y en los propios documentos del Plan se indican valores reales claramente inferiores a éstos (p.e. 20 hm³/año para Algodor-Girasol). No obstante, puesto que son relativamente reducidas se ha optado por adoptar el máximo nominal, considerando la diferencia respecto a la realidad (p.e. los 7.39 de Algodor-Girasol equivalentes aproximadamente a 0.25 m³/s continuos todo el año, o todo el margen de la Sagra, que dispone además de recursos subterráneos alternativos) como un margen adicional de seguridad en los cálculos.

Cabe señalar además que una parte de los municipios asociados en la Mancomunidad del Algodor se encuentra en el ámbito territorial del Guadiana, por lo que el suministro a estos municipios sería realmente un trasvase intercuenca, suscitando otros problemas adicionales en los que ahora no entraremos. Cabe apuntar únicamente que podría interpretarse como una parte del trasvase total para abastecimiento Tajo-Guadiana, que en lugar de servirse por la conocida como *tubería manchega* se sirve a través de esta Mancomunidad. Sería conveniente en todo caso deslindar esta situación y acotar sus magnitudes relativas.

La concesión del Canal es mucho más significativa y presenta un menor desarrollo. La toma no está aún construida en el punto concesional de Valdajos, captando provisionalmente desde el canal de las Aves, a 11 km de Valdajos, con destino a la planta potabilizadora de Colmenar de Oreja, recientemente terminada (se inauguró en noviembre de 2010). Como en el caso anterior, la paralización de numerosos desarrollos urbanísticos en el área sur de Madrid y la contención del desarrollo residencial, industrial y de servicios, experimentada no solo en Madrid sino de forma general en toda España, ha hecho que las previsiones de demanda de agua hayan experimentado importantes desviaciones a la baja.

En efecto, como muestran las recientes estadísticas de consumo de agua gestionada por el Canal de Isabel II, las demandas de abastecimiento urbano en el área de Madrid no solo no

están creciendo sino que se han estabilizado e incluso disminuyen ligeramente en los últimos años, lo que advierte respecto a la necesaria prudencia a la hora de proyectar consumos para el próximo futuro.

Además, los recursos captados en Valdajos o el Canal de las Aves presentan una salinidad relativamente elevada por lo que esta planta potabilizadora ha requerido incorporar tratamientos avanzados como ultrafiltración y desalación mediante ósmosis inversa. Se trata en definitiva de un recurso costoso, que por ello será empleado como último recurso, cuya explotación se está iniciando y que a corto plazo (horizonte 2015 del Plan), y pese a su integración en el sistema general de abastecimiento del Canal, probablemente no sea consumido en las cuantías máximas de la concesión otorgada, máxime considerando la bonanza hidrológica actual. De hecho, las captaciones más recientes realmente producidas apenas alcanzan el 25% de esta cuantía nominal. En consecuencia, y a los efectos de analizar la situación en la fecha objetivo de 2015, se ha sugerido tomar como contraste para análisis de sensibilidad valores porcentuales variables, y no solamente los 60 nominales totales cuya completa movilización en el horizonte 2015 es, como se ha señalado, sumamente improbable.

Se supone, del lado de la seguridad, que los retornos de estas 3 unidades de demanda urbana e industrial no se incorporan al sistema.

Por último se añade una nueva unidad de demanda, colgando directamente de los embalses, para incluir pequeñas demandas varias, tales como los riegos no regulados en todo el tramo Bolarque-Jarama (1.73 hm³/año), Barajas de Melo (4.06), la previsión para necesidades de la ganadería (1.03), usos industriales no conectados a redes (0.05), evaporaciones de los distintos azudes entre Bolarque y Aranjuez, considerados simplifadamente como demandas (3.37) o, en su caso, la posible materialización de la reserva para riegos futuros, tal y como se comentará más adelante. El valor total resultante por estas demandas varias y evaporaciones es de 10.24 hm³/año.

Con todo ello, las demandas resultantes propias asociadas a la cabecera son las mostradas en la tabla.

	DEM. (hm ³)	DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA DEMANDA (%)												RET. (%)
		OC	NV	DC	EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG	ST	
Abast.Cabecera (Total)	6.67	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	80
Abast.Manc.Algodor-Girasol	27.39	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	0
Abast.Sagra Alta y Baja	16.45	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	0
Abast.ampl.CYII-Valdajos	60.00	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	0
Reg.Pr.Cab.Tajo	7.16	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	7.0	17.0	32.0	26.0	11.0	0
Reg.Pr.Cab.Guadiela	11.55	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	3.0	7.0	17.0	31.0	26.0	11.0	0
Reg.Pr.Bolarque-Estrem.	11.22	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	3.0	7.0	17.0	31.0	26.0	11.0	5
Reg.Almoguera (Illana-Leg.)	10.19	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	3.0	7.0	17.0	31.0	26.0	11.0	10
Reg.Estremera	18.86	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	3.0	6.0	15.0	31.0	24.0	14.0	21
Reg.Pr.Estremera-Jarama	29.30	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	3.0	7.0	17.0	31.0	26.0	11.0	5
Reg.Real Acequia del Tajo	23.32	4.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	4.0	10.0	17.0	27.0	21.0	13.0	20
Reg.Caz Chico-Azuda	16.81	4.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	4.0	10.0	17.0	27.0	21.0	13.0	20
Reg.Canal de las Aves	42.86	4.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	4.0	10.0	17.0	27.0	21.0	13.0	0
Central Nuclear de Trillo	37.80	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	45.8
Dem.Varios cabecera	10.24	4.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	4.0	10.0	17.0	27.0	21.0	13.0	0

Tabla 1. Demandas consuntivas propias de la cuenca del Tajo asociadas a su cabecera

Puede comprobarse que la suma de todas las demandas consuntivas propias de la cuenca del Tajo y asociadas a su cabecera asciende a unos 330 hm³/año (462 hm³/año en el modelo inicial, que equivalen a 237 con la supresión de Zorita), no debiendo confundirse este dato con el desembalse necesario para su atención, tal y como se comentará más adelante, dada la

existencia de aportaciones intermedias, exiguas pero no nulas, de los retornos aprovechables aguas abajo indicados en el esquema (unos 38 hm³/año), y del requerimiento medioambiental de Aranjuez.

Como se observa, el incremento de unos 100 hm³/año brutos respecto al Plan de 1998 se debe a los nuevos requerimientos para el abastecimiento urbano (claramente superiores a las necesidades reales, como se señaló), manteniéndose prácticamente iguales las demandas de regadío.

Todo lo descrito correspondería a la situación ordinaria o de diseño del sistema de cabecera. No obstante, es razonable suponer que, como prevé el propio Plan, en situaciones de sequía declarada tanto las demandas como los caudales mínimos puedan experimentar reducciones respecto a sus valores ordinarios (v., p.e., el art. 15 del borrador de Normativa), lo que daría lugar a un escenario de requerimientos diferente. Por el momento no se ha desarrollado técnicamente este supuesto, si bien debe tenerse presente para futuros refinamientos.

Además de estas asignaciones para las distintas demandas, el artículo 19 del vigente Plan Hidrológico del Tajo estableció dos reservas con cargo a los recursos de cabecera.

Conforme a la primera, en la cabecera del Tajo, embalses de Entrepeñas y Buendía, se reservaron 60 hm³ anuales a nombre del Organismo de cuenca para atender demandas en la cuenca del Tajo de cualquier uso privativo no consideradas en el Plan y que puedan beneficiarse de los recursos regulados.

En la segunda reserva, también en la cabecera del Tajo, embalses de Entrepeñas y Buendía, se reservaron 200 hm³ anuales para atender, además de los regadíos incluidos en el cuadro de asignaciones y los declarados de interés general que dependen de estos recursos, otros regadíos públicos potenciales como son los regadíos de El Guadiela que afecta a Albendea, Villar del Infantado, San Pedro de Palmiches, Canalejas y Castejón, los regadíos de Albalate que afectan a la comarca de Priego, Albalate de Nogueras, Cañamares y Villaconejos de Trabaque, los regadíos de Ercávica, que afectan a Alcohujate, Cañaveruelas y Villalba del Rey, los regadíos de Tarancón, y los de los pueblos ribereños de Entrepeñas y Buendía.

La primera de estas reservas fue anulada por Sentencia de la Sala Tercera del Tribunal Supremo de 16 de mayo de 2003 (BOE del 14 de julio,) por la que se ratificó el artículo 23 de las Determinaciones de Contenido Normativo del Plan Hidrológico del Tajo y se anuló el párrafo en el que se establecía la reserva.

La segunda reserva se sustituye en el artículo 23.4 del borrador de Normativa por otra de 15 hm³/año en el sistema integrado de la cuenca alta, para regadíos de interés general y, específicamente, para La Sagra-Torrijos y Castrejón Margen Izquierda.

La zona regable de Castrejón Margen Izquierda asciende a unas 5500 has de las que están transformadas 4900. Suponiendo una dotación de referencia de 8000 m³/h/año (Anexo 7, tabla 3), la demanda total sería de unos 5 hm³/año, por lo que la reserva correspondiente a La Sagra-Torrijos sería de 10 hm³/año, que podrían imputarse en el futuro, a efectos de cómputo, al sistema integrado de la cuenca alta.

En consecuencia, ha de considerarse la existencia de una reserva única total de 15 hm³/año, que puede considerarse parcialmente vinculada al sistema de cabecera (unos 10 hm³/año), si bien su concreción real se producirá, en su caso, en el futuro, a medida que se desarrollen los aprovechamientos y se otorguen las correspondientes concesiones administrativas. Dado que, como el propio borrador del Plan señala, estas nuevas transformaciones no estarán

materializadas antes del año horizonte de 2015, no procede su consideración actual en el presente análisis.

2.4.2 Cuenca del Segura

Como ya se ha indicado, las demandas de la cuenca del Segura y las del Guadiana-Júcar o Cuenca Mediterránea Andaluza que son atendidas total o parcialmente con recursos trasvasados, son completamente irrelevantes para la determinación del desembalse de referencia y el umbral de recursos trasvasables, viniendo condicionados este desembalse y umbral única y exclusivamente por las aportaciones a los embalses y las demandas propias de la cabecera del Tajo, que son las que se deben garantizar. No obstante, se incluye una breve descripción de estas demandas externas que permite tanto completar el esquema y adquirir una perspectiva de conjunto como introducir algunos elementos que serán desarrollados posteriormente.

Tras diversos antecedentes e incidencias previas (ver p.e. la Memoria del Plan Hidrológico del Segura de 1998), la ley 52/1980, de 16 de octubre, estableció finalmente en su Disposición Adicional primera la distribución de los volúmenes trasvasados en la primera fase de explotación del ATS (600 hm³/año en origen del acueducto), definiendo también la asignación entre uso de riego y de abastecimiento. La asignación legal de volúmenes máximos hoy vigente es la mostrada en la tabla, en la que puede verse que el total en destino (tomas directas en los canales del postrasvase) se eleva a 510 hm³/año, estimándose las pérdidas totales en 90 hm³/año, que es el 15% del volumen de 600 en origen.

Zona	hm ³ /año
Para regadíos:	
Vega alta y media del Segura	65
Regadíos de Mula y su comarca	8
Lorca y valle del Guadalentín	65
Riegos de Levante, margen izquierda y derecha, vegas bajas del Segura y saladares de Alicante	125
Campos de Cartagena	122
Valle del Almanzora en Almería	15
Total regadíos	400
Para abastecimientos	110
Total en destino	510

Tabla 2. Distribución de volúmenes máximos de trasvase en destino

Posteriormente se apreció que las pérdidas realmente existentes no eran del 15% (90 hm³/año) supuesto inicialmente, sino del 10% (60 hm³/año), con lo que surge un 5% adicional disponible por menores pérdidas (30 hm³/año), que siempre se han venido adscribiendo en su totalidad al abastecimiento urbano a cargo de la Mancomunidad de Canales del Taibilla (MCT, extendida por las provincias de Murcia y Alicante) y de Almería, dadas la prioridad de este uso, el agotamiento de todas sus asignaciones, y la inexistencia de fuentes alternativas que pudiesen satisfacerlo.

La asignación total de las menores pérdidas al uso de abastecimiento, junto con el criterio seguido de satisfacer prioritariamente sus necesidades sea cual sea el volumen trasvasado, ha hecho que este uso haya recibido históricamente unos suministros muy estables, al margen de las crisis hidrológicas, tal y como se muestra en la figura.

En ella puede verse que es el uso de regadío el que ha venido soportando toda la irregularidad hidrológica, con valores anuales totales trasvasados oscilantes entre los 250 y 600 hm³.

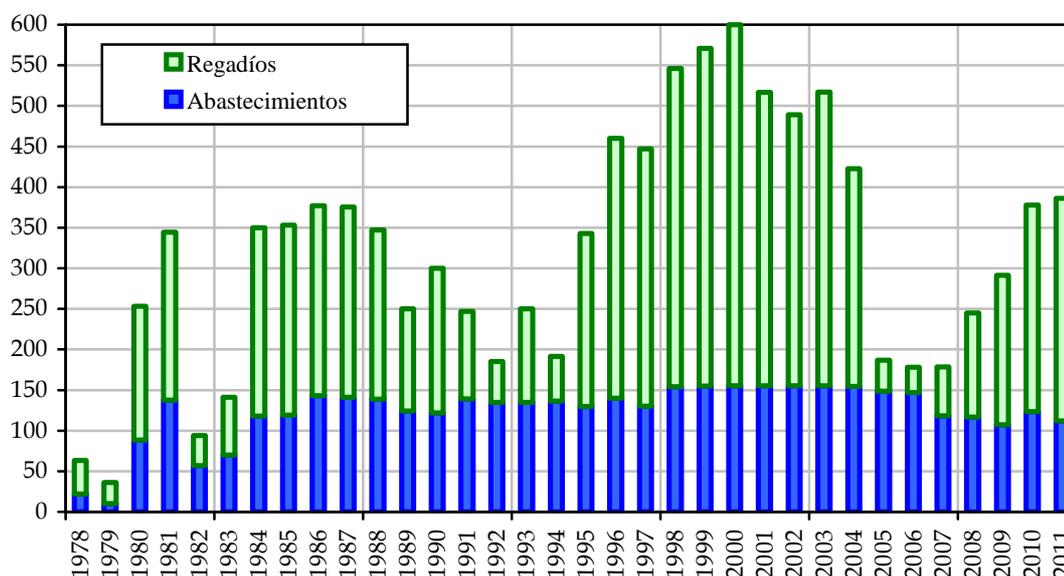


Figura 3. Asignaciones anuales a los distintos usos (años hidrológicos)

Aplicando los criterios de reparto proporcional de agua entre Murcia (40%), Alicante (30%) y Almería (30%), establecido en la Disposición Adicional primera de la Ley 52/1980 para los posibles recursos excedentarios adicionales como consecuencia del incremento de disponibilidades por menores pérdidas, que se adscriben totalmente al abastecimiento, se obtiene la tabla adjunta de asignaciones en la cuenca del Segura-Almería, en origen y destino, vinculadas a la cabecera del Tajo.

Uso	Volumen máximo en destino (hm ³ /año)			Volumen Máximo en origen (hm ³ /año)
	Máximo asignado en destino	Incremento por menores pérdidas	Volumen máximo total en destino	
Abastecimiento MCT	110	21 ⁽¹⁾	131	145.5
Abastecimiento Almería	0	9	9	10
Total abastecimiento	110	30	140	155.5
Regadío	400	0	400	444.5
Total	510	30	540	600

(1) 12 hm³/año (40% de los 30 adicionales) para Murcia, y 9 hm³/año (30%) para Alicante, ambos agregados y asignados a la MCT. Los 9 de Almería serían el 30% restante.

Tabla 3. Asignación de volúmenes trasvasables al Segura considerando las menores pérdidas

Lo hasta ahora expuesto corresponde al estado actual técnico-jurídico de la cuestión. En estas circunstancias cabría dar un paso más, analizando la posibilidad de que el criterio de asignación de menores pérdidas se modifique de forma que el destinatario exclusivo de las menores pérdidas dejase de ser el abastecimiento, lo que resulta razonable considerando que en la actualidad la MCT dispone de la fuente alternativa de la desalación, antes inexistente, y se proceda a su aplicación al regadío, manteniendo la situación singular de Almería dado que

la empresa pública distribuidora Gestión de Aguas del Levante Almeriense S.A., GALASA, cuenta con el trasvase como recurso mayoritario para abastecimiento. Esta reordenación daría lugar a las nuevas asignaciones mostradas en la tabla.

Uso	Volumen máximo en destino (hm ³ /año)			Volumen Máximo en origen (hm ³ /año)
	Máximo asignado en destino	Incremento por menores pérdidas	Volumen máximo total en destino	
Abastecimiento MCT	110	0	110	122.22...
Abastecimiento Almería	0	9	9	10
Total abastecimiento	110	9	119	132.22...
Regadío	400	21	421	467.77...
Total	510	30	540	600

Tabla 4. Asignación de volúmenes trasvasables al Segura considerando reasignación de menores pérdidas

Puede verse que este nuevo criterio supondría un incremento de las disponibilidades máximas para riego de 21 hm³/año en destino.

Las asignaciones mostradas en ambos casos son las máximas legales pero los volúmenes anualmente aportados han sido casi siempre inferiores a estos máximos. Para determinar la asignación correspondiente a cada uso para un volumen trasvasado cualquiera, se requiere adoptar un criterio adicional sobre la distribución de ese total trasvasado.

Como ya se apuntó, tradicionalmente este criterio ha sido el de cubrir toda la asignación del abastecimiento hasta su máximo legal, y aplicar el volumen restante al regadío, lo que explica la gran irregularidad de suministros soportada por este uso y mostrada en la anterior figura. Pero, al igual que el criterio de asignación de menores pérdidas, y con el mismo fundamento, este criterio de reparto puede también ser revisado introduciendo un principio de proporcionalidad relativa, con la obligada cautela de preservar un valor mínimo para abastecimientos si los volúmenes trasvasados fuesen muy reducidos.

Como combinación de los dos criterios sobre asignación de menores pérdidas (abastecimiento/regadío) y los dos criterios sobre distribución (bloque/proporcionalidad) surgen cuatro diferentes escenarios básicos sobre asignaciones de las aguas trasvasadas a los distintos usos. El análisis de estos escenarios permite diseñar reglas objetivas de reparto según la disponibilidad de agua en cada momento.

No es el presente epígrafe sobre demandas el lugar adecuado para abordar este fundamental problema. Lo haremos posteriormente, al analizar las reglas de explotación y sus posibles efectos sobre las cuencas receptoras.

En cuanto a la distribución estacional de las demandas de trasvase en el Segura, se supone un suministro continuo todo el año para los abastecimientos, y una modulación estacional media para riegos conforme a las determinaciones del Plan Hidrológico de la cuenca del Segura, tal y como se muestra en la tabla.

	DEM.	DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA DEMANDA (%)												RET.
	(hm ³)	OC	NV	DC	EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG	ST	(%)
Regadío trasv. Segura	400/421	5.2	6.5	6.1	6.6	8.8	5.7	8.6	6.8	11.9	12.8	12.2	8.8	0

Tabla 5. Distribución estacional de las demandas de trasvase para regadíos en la cuenca del Segura

Por otra parte, en los estudios previos conducentes a la formulación del Plan Hidrológico del Tajo de 1998 y a la regla de explotación del ATS, se estimó razonable considerar que el total de 400 hm³/año en destino para regadío se dividiese operativamente en dos niveles, de forma que se diferenciase un riego mínimo de socorro de 60 hm³, tal que no alcanzar ese riego supone una situación crítica asimilable a la definición de las condiciones hidrológicas excepcionales previstas en la normativa del ATS, y cuyo efecto principal es la obligada remisión al Consejo de Ministros de las decisiones de trasvase. Con este criterio se determinaron las curvas de condiciones excepcionales que finalmente adoptó la vigente planificación hidrológica del Tajo de 1998 en su artículo 23. Estas condiciones suponen, en origen, una demanda de socorro de unos 67 hm³/año (60 en destino), y una segunda demanda ordinaria hasta completar la asignación total prevista para este uso.

Nótese que puesto que las circunstancias actuales son diferentes de aquellas, básicamente por la disponibilidad de nuevos recursos desalados para abastecimiento y por la reducción de aportaciones experimentada desde 1980 (el llamado *efecto 80*, al que se aludirá posteriormente), es razonable que estos criterios se modifiquen convenientemente adaptándolos a esta nueva realidad. Posteriormente se abordará esta cuestión.

2.4.3 Cuencas del Guadiana-Júcar

Con posterioridad a las leyes básicas reguladoras del trasvase Tajo-Segura se promulgaron otras disposiciones que posibilitaron el trasvase de aguas de la cabecera del Tajo no solo a la cuenca del Segura sino también a la del Guadiana.

Los volúmenes trasvasables a esta cuenca están regulados por el Real Decreto-Ley 8/1995, de 4 de agosto, que en su artículo 1 estableció que el volumen medio anual derivable del ATS para el abastecimiento de la cuenca alta del Guadiana, computado sobre un periodo máximo de 10 años, no será mayor de 50 hm³. En esta cuantía máxima se incluyen las dotaciones previstas para el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel en la Ley 13/1987, de 17 de julio, y en los Reales Decretos-leyes 6/1990, de 28 de diciembre y 5/1993, de 16 de abril, que prorrogaron sus efectos (hasta 20 hm³/año en promedio, con 30 hm³/año como máximo). Todas estas disposiciones quedaron derogadas por el RDL 8/1995, y las dotaciones previstas pasaron a tener carácter estable y permanente.

En definitiva, existe en estos momentos una transferencia autorizada de 50 hm³/año desde la cabecera del Tajo hasta el Guadiana, con el doble destino para el agua trasvasada de abastecimiento urbano de los núcleos de la cuenca alta del Guadiana, y suministro con finalidad ambiental a las Tablas de Daimiel.

Ha de señalarse que, así como el aporte a las Tablas se ha producido de manera regular cuando se estimaba necesario y las disponibilidades hídricas lo permitían, la demanda de abastecimiento urbano prevista para el Guadiana no se ha materializado aún y no será posible hacerlo antes del año de referencia de 2015, por lo que, a los solos efectos de este análisis, es razonable considerar una demanda total máxima para ese horizonte de 20 hm³/año.

Por otra parte, el art.2 del RDL 8/1995 previó una reserva de 3 hm³/año para abastecimiento de los núcleos de población inmediatos al trazado del acueducto Tajo-Segura, en las cuencas

de los ríos Guadiana y Júcar. Aunque el mismo artículo señala que ello no implica la modificación del volumen máximo trasvasable autorizado por la normativa reguladora del acueducto Tajo-Segura, es obvio que debe considerarse como una demanda adicional, atendida desde cabecera del Tajo, que puede a efectos prácticos acumularse a la de abastecimientos del alto Guadiana.

Respecto a la estacionalidad de estas demandas, la de abastecimiento se supone constante a lo largo del año, y la medioambiental se ha estimado, con un criterio puramente empírico, promediando los suministros mensuales a las Tablas de Daimiel en aquellos años en que ha habido aportes. Los resultados finalmente obtenidos los mostrados en la tabla.

	DEM.	DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA DEMANDA (%)											RET.	
	(hm ³)	OC	NV	DC	EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG	ST	(%)
Tablas de Daimiel	20	0	0	0	2.2	14.3	27.9	20.7	22.4	10.3	2.2	0	0	0

Tabla 6. Distribución estacional de las demandas de trasvase para las Tablas de Daimiel

2.5 REQUERIMIENTOS TOTALES

Considerando lo expuesto, la síntesis de todos los requerimientos consuntivos asociados a la cabecera del Tajo en situación vigente de asignaciones en el Segura (sin modificación de las asignaciones por menores pérdidas ni riegos de socorro), con sus necesidades en origen (en el punto de derivación) y sus retornos útiles, aprovechables en el propio sistema, es la mostrada en la tabla.

	DEM.	DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA DEMANDA (%)											RET.	
	(hm ³)	OC	NV	DC	EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG	ST	(%)
Abast.Cabecera (Total)	6.67	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	80
Abast.Manc.Algodor-Girasol	27.39	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	0
Abast.Sagra Alta y Baja	16.45	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	0
Abast.ampl.CYII-Valdajos	60.00	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	0
Abast. urb. Segura	140.00	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	0
Abast. urb. Guadiana-Júcar	33.00	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	0
Reg.Pr.Cab.Tajo	7.16	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	7.0	17.0	32.0	26.0	11.0	0
Reg.Pr.Cab.Guadiela	11.55	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	3.0	7.0	17.0	31.0	26.0	11.0	0
Reg.Pr.Bolarque-Estrem.	11.22	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	3.0	7.0	17.0	31.0	26.0	11.0	5
Reg.Almoguera (Illana-Leg.)	10.19	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	3.0	7.0	17.0	31.0	26.0	11.0	10
Reg.Estremera	18.86	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	3.0	6.0	15.0	31.0	24.0	14.0	21
Reg.Pr.Estremera-Jarama	29.30	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	3.0	7.0	17.0	31.0	26.0	11.0	5
Reg.Real Acequia del Tajo	23.32	4.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	4.0	10.0	17.0	27.0	21.0	13.0	20
Reg.Caz Chico-Azuda	16.81	4.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	4.0	10.0	17.0	27.0	21.0	13.0	20
Reg.Canal de las Aves	42.86	4.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	4.0	10.0	17.0	27.0	21.0	13.0	0
Reg.Segura	400.00	5.2	6.5	6.1	6.6	8.8	5.7	8.6	6.8	11.9	12.8	12.2	8.8	0
Central Nuclear de Trillo	37.80	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	45.8
Dem.Varios cabecera	10.24	4.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	4.0	10.0	17.0	27.0	21.0	13.0	0
Tablas de Daimiel	20.00	0	0	0	2.2	14.3	27.9	20.7	22.4	10.3	2.2	0	0	0

Tabla 7. Demandas consuntivas propias de la cuenca del Tajo asociadas a su cabecera

Como puede verse, la suma de demandas consuntivas totales brutas máximas asociadas a la cabecera del Tajo se cifra en unos 923 hm³/año.

La suma de demandas del Guadiana-Júcar asciende a los 53 hm³/año establecidos en el Real Decreto-Ley 8/1995, y la suma de demandas en el Segura, incluyendo la fracción de Almería en la Cuenca Mediterránea Andaluza, asciende a 540 hm³/año en destino, que se elevan al máximo de 600 en origen si se computan las pérdidas, tal y como se ha indicado.

A estas demandas consuntivas habría que añadir el requerimiento de caudales mínimos en Aranjuez, fijado en 6 m³/s, equivalentes a 189 hm³/año, como se señaló anteriormente.

2.6 EMBALSES

Los volúmenes totales considerados en los embalses de cabecera son de 800, 1638 y 31 hm³ para Entrepeñas, Buendía y Bolarque, respectivamente. Alarcón dispone de un importante volumen de regulación (1100 hm³), que según la Disposición Derogatoria Única de la Ley 10/2001, del Plan Hidrológico Nacional, puede ser empleado para regular el trasvase, pero se supondrá por el momento y a nuestros efectos con embalse útil nulo, debiendo dejar estrictamente entradas por salidas.

Por otra parte, dado el carácter privado hidroeléctrico de Bolarque y su condición, a estos efectos, de azud de derivación del Acueducto Tajo-Segura, que requiere una cota alta tanto para maximizar la producción energética como para esta toma, no debe computarse su capacidad como disponible para la regulación, y se supondrá siempre lleno, con 30 hm³ embalsados, calculándose su evaporación de forma explícita.

El sistema Entrepeñas-Buendía, con ambos embalses conectados mediante túnel, puede ser considerado como un hiperembalse regulador único con capacidad total máxima conjunta de 2438 hm³. De aquí deben detraerse, conforme a los estudios para el Plan Hidrológico del Tajo, 118 hm³ de embalse muerto considerado como no disponible para la regulación, y una cantidad variable mensualmente para resguardos frente a crecidas (80 hm³ permanentes para Entrepeñas, y 88 hm³ en enero y abril y 138 hm³ en febrero y marzo para Buendía).

Con todo ello, las capacidades mensuales de embalse disponible son las ofrecidas en la tabla.

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Vol. Entrepeñas	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
Vol. Buendía	1638	1638	1638	1638	1638	1638	1638	1638	1638	1638	1638	1638
Vol. conjunto total	2438	2438	2438	2438	2438	2438	2438	2438	2438	2438	2438	2438
Resg. Entrepeñas	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Resg. Buendía	0	0	0	88	138	138	88	0	0	0	0	0
Vol. conj. máx. útil	2358	2358	2358	2270	2220	2220	2270	2358	2358	2358	2358	2358
Vol. mínimo	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118

Tabla 8. Volúmenes de embalse

El resto de pequeños azudes de derivación existentes no se consideran en el modelo a efectos de la regulación de caudales aunque sí se incluyen sus pérdidas por evaporación, como se indicó al describir las demandas del modelo y se expondrá con detalle más adelante.

Para las curvas batimétricas se emplearán las mismas utilizadas en los estudios anteriores, asumiendo que no habrán experimentado cambios significativos.

2.7 EVAPORACIÓN Y PÉRDIDAS EN LOS EMBALSES

En cuanto a pérdidas por evaporación en los embalses, los estudios previos realizados para la planificación hidrológica de 1998 consideraron tanto diferentes métodos teóricos de estimación (Blaney-Criddle, Penman, Penman-Monteith, Thornthwaite, Jensen) como medidas de tanque en el entorno de Entrepeñas-Buendía-Bolarque, tal y como se resume en la figura adjunta.

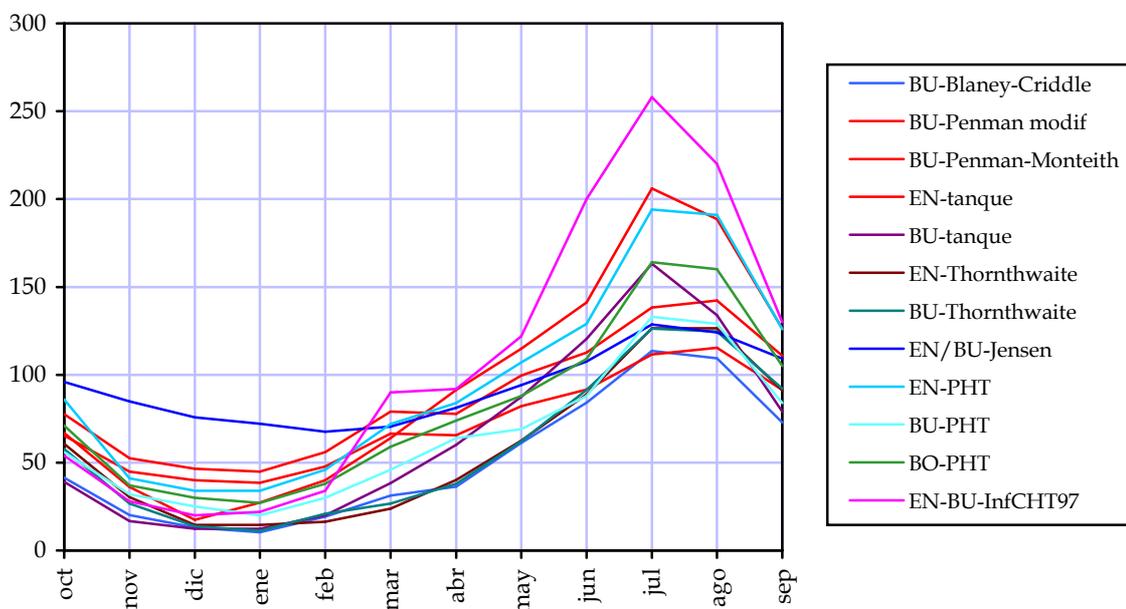


Figura 4. Evaporaciones mensuales en los embalses de cabecera (mm/mes)

Los valores medios globales obtenidos por los distintos métodos fueron del orden de 900 mm/año, y la propuesta del Plan Hidrológico del Tajo recogió finalmente 1144 mm/año para Entrepeñas, 776 para Buendía y 962 para Bolarque. De forma muy conservadora, para determinar las evaporaciones requeridas por la regla de explotación del ATS se supusieron 1346 mm/año, resultantes de la envolvente de los máximos mensuales de todos los métodos utilizados.

En el reciente estudio del Plan Especial de Alerta y Eventual Sequía de la Confederación del Tajo se proponen igualmente 1144 mm/año para Entrepeñas, 776 para Buendía y 962 para Bolarque (Anexo VI, Modelación), coincidentes con los adoptados por el Plan de 1998. La media global ponderada de estos valores es de unos 970 mm/año. Es llamativa la importante diferencia en los valores de Entrepeñas y de Buendía, considerando que son embalses muy próximos, con rasgos climáticos similares.

Otra reciente estimación es la ofrecida por Témez (2007), que aporta valores de 928 mm/año en Entrepeñas y 943 en Buendía, estimados mediante asimilación a la ETo de Penman-Monteith.

Por último, los valores medios de ETP utilizados por el modelo SIMPA para el periodo 1980-2006 son de 887 mm/año en Entrepeñas, 769 en Buendía y 776 en Bolarque. Aunque la ETP no es exactamente igual a la evaporación en lámina libre desde una masa de agua, es usual asimilarlas si no se dispone de otra información adicional.

Como puede verse, los valores anuales de las distintas fuentes oscilan ampliamente entre unos 700 y 1300 mm/año, con un valor medio global próximo a 1000.

Volviendo a la discrepancia señalada entre Entrepeñas y Buendía, la tabla adjunta muestra los datos medios de evaporación registrados en tanque (T) y Piche (P) en estos embalses según los datos oficiales publicados en los Anuarios de aforos.

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
T Entr.	80	45	23	35	52	80	113	142	174	262	238	156	1400
T Buen.	50	22	17	18	25	51	73	106	151	206	168	100	987
P Entr.	102	59	43	38	67	97	111	139	160	257	254	174	1501
P Buen.	77	41	33	33	45	85	96	116	149	216	203	129	1223

Tabla 9. Evaporación de tanque y Piche en embalses de cabecera

Si se aplica un coeficiente de tanque estándar de 0.7, las evaporaciones anuales medias serían de 980 mm/año en Entrepeñas y 691 mm/año en Buendía.

Como puede verse, la cifra de Entrepeñas es concordante con las ofrecidas anteriormente, pero la de Buendía es anómalamente reducida, con datos de tanque inferiores a los esperados, debiendo suponerse que se trata de algún error sistemático de medición que infravalora el dato real.

Por esta vía del contraste básico de datos no es posible ir más allá. Puesto que los datos de tanque han de afectarse por un coeficiente no conocido, con valores del orden de 0.65-0.7, que además varían estacionalmente, y cuya determinación precisa requiere una información climática completa medida in situ, que no suele estar disponible, no es posible deducir con precisión la evaporación del embalse a partir del dato de tanque, y ello sin perjuicio de la representatividad de mediciones en el entorno de la presa, donde suelen ubicarse las estaciones, respecto de la extensión total de la superficie anegada por el embalse. En el caso del Piche, la incertidumbre de medida es aún mayor.

Para afinar estas magnitudes y obtener una mejor estimación, una aproximación no viable cuando se redactó el vigente Plan de 1998 pero que hoy resulta factible sería estimar la evaporación desde las masas de agua utilizando los datos climáticos aportados por las estaciones próximas de las redes hidroclimáticas automáticas como SIAR o AEMET. La información proporcionada por estas redes, no disponible en 1998, cuando se redactó el vigente Plan Hidrológico, permite calcular la evaporación por el método de Penman (combinado del método aerodinámico y del balance energético), considerado como el método estándar de referencia para cálculos de evaporación desde lámina libre si se dispone de datos climáticos completos.

La información requerida, a escala diaria, es la temperatura máxima y mínima del aire, humedad, velocidad del viento, presión atmosférica y radiación solar neta, toda ella facilitada directamente o deducible de la facilitada por estas redes. Aunque las estaciones no están ubicadas en los embalses (las estaciones evaporimétricas de embalse no proporcionan radiación solar), su relativa proximidad y cobertura hace que las estimaciones resultantes puedan considerarse representativas y adecuadas a los fines perseguidos.

Utilizando la red SIAR, las 3 estaciones alrededor de los embalses, a distancias máximas del orden de 15 kms (inferiores a la longitud de sus colas), y con datos completos, son las de Illana (GU06, 8178), Armuña de Tajuña (GU03, 8175) y Villaconejos del Trabaque (CU07, 8158). Estas series diarias se inician entre diciembre de 2000 y mayo de 2001 y se extienden

hasta hoy, siendo en consecuencia bien representativas de la climatología más reciente en el entorno de los embalses.

Realizado el cálculo de evaporación diaria en estos puntos según el método de Penman para el periodo 2000-2012, se obtienen unos valores medios anuales de 1188, 1109 y 910 mm/año respectivamente (media global 1070 mm/año), que son del orden de un 10% inferiores a la estimación de la ETo de Penman-Monteith calculada en las mismas estaciones. La media global de 1070 mm/año es concordante con los casi 1000 resultantes por las estimaciones antes mostradas, máxime considerando que se refiere a una ventana temporal diferente y más reciente.

Por otra parte, se observa que la distribución porcentual estacional es prácticamente la misma en las distintas estaciones y según las distintas fuentes, por lo que se considera fija e independiente del total anual.

En definitiva, y como conclusión de estos análisis, se propone adoptar una evaporación igual para los 3 embalses de cabecera con media anual de 1100 mm/año (valor medio redondeado hacia arriba), y la distribución porcentual mensual dada en la tabla. Estas cifras son posiblemente la mejor estimación disponible en la actualidad.

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Total
Evaporación (%)	5.5	2.7	1.7	2.2	3.5	6.7	9.3	12.2	15.2	17	14.5	9.5	100
Cuantía (mm)	61	30	19	24	39	74	102	134	167	187	160	105	1100

Tabla 10. Distribución mensual porcentual de la evaporación

Por último, una comprobación adicional es la de obtener las evaporaciones empleadas en los balances de la explotación de los embalses en los últimos años, proporcionados por la Comisión Central de Explotación del Acueducto Tajo-Segura en sus Informes de Situación.

A partir de los datos mostrados en estos Informes, y realizando el balance mes a mes de las entradas (aportaciones), salidas (desembalses para el Tajo y el Segura y evaporaciones) y almacenamientos (existencias embalsadas) se obtiene un valor medio, en los últimos 6 años, de 1280 mm/año. Este valor es algo mayor del propuesto y procede, con gran probabilidad, de adoptar valores de tanque en lugar de estimados a partir de las estaciones climáticas. Dado que al no haber estaciones de cola la aportación mensual se deduce del balance de los embalses, y la evaporación se ha tomado del tanque corregido, ligeramente superior a la deducida de Penman, las aportaciones en régimen natural podrían ser ligeramente superiores a las ofrecidas lo que nos deja, en todo caso, del lado de la seguridad.

Otro factor de pérdidas a considerar serían las posibles filtraciones en los embalses, cuya existencia es conocida en Entrepeñas desde antiguo, y que actúan como una pérdida sumándose a la evaporación y distorsionando los cálculos de balance. Su consideración requiere un conocimiento hidrogeológico (funcionamiento conceptual de acuíferos afectados y su relación con los embalses, manantiales, etc.) y cuantitativo (recargas, balances, aforos de manantiales, etc.) del que no disponemos. No obstante, si se producen tales filtraciones aparecerían en su práctica totalidad aguas abajo, recogién dose en Bolarque o surgiendo en el tramo inferior. Si los caudales infiltrados son de cuantía inferior a las necesidades de desembalse desde cabecera, como es el caso, pueden considerarse como una parte forzada del desembalse total requerido, sin alterar en nada los resultados obtenidos.

En efecto, la única diferencia respecto al caso de inexistencia de filtraciones sería que con filtraciones una parte del flujo total demandado aguas abajo es forzada por la carga hidráulica en el vaso y el resto se adapta y se programa, mientras que sin filtraciones todo el caudal demandado ha de ser programado. En ambos casos los cálculos de regulación son exactamente iguales.

Por otra parte, existen a lo largo del cauce diferentes azudes de derivación que producen pequeños almacenamientos irrelevantes a efectos de la regulación mensual pero con láminas de agua permanentes que dan lugar a una evaporación muy reducida pero apreciable.

La tabla adjunta muestra las estimaciones realizadas al respecto en el borrador de Plan del Tajo, Documento auxiliar 4.

	Evaporación hm ³ /mes												Sup. ha	Total hm ³ /año
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep		
Almoguera	0.16	0.08	0.07	0.06	0.09	0.13	0.17	0.20	0.25	0.38	0.37	0.24	229	2.20
Bolarque	0.35	0.18	0.15	0.13	0.19	0.29	0.37	0.43	0.54	0.81	0.79	0.52	510	4.75
Embocador	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	8	0.07
Estremera	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	0.04	0.03	28	0.26
Valdajos	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	0.04	0.03	28	0.27
Zorita	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.05	0.07	0.10	0.09	0.06	61	0.57

Tabla 11. Evaporación en azudes del tramo Bolarque-Aranjuez

Puede verse que excluyendo Bolarque, que se considera de forma explícita en el esquema, el resto de azudes presenta una evaporación total conjunta de 3.37 hm³/año, con distribución similar a la de una demanda de regadío, razón por la que, como ya se señaló, se sugiere unificarlos e integrarlos en una unidad de demanda adicional de Varios, dependiente directamente de los embalses de cabecera.

Puede comprobarse que las evaporaciones unitarias globales de estos azudes son del orden de 930 mm/año, cifra encajada con las magnitudes anteriormente mostradas.

2.8 CONDUCCIONES

Las conducciones consideradas en el sistema son todas naturales (cauces fluviales), excepto el canal del ATS. Este canal tiene una capacidad máxima de diseño de 33 m³/s, equivalentes a unos 1040 hm³/año y 85 hm³/mes. No obstante, se ha comprobado que algunos tramos presentan estrangulamientos respecto a esta capacidad máxima, de forma que una estimación holgada y conservadora de la máxima capacidad del canal, a efectos de su inclusión en los análisis, es de 68 hm³/mes, equivalentes a unos 26 m³/s en régimen continuo.

Nótese que esta es además, y por este motivo, la cantidad considerada en la vigente Regla de Explotación para el trasvase máximo mensual en situación de normalidad (nivel 1).

2.9 APORTACIONES

En los estudios previos para la planificación hidrológica de la cuenca del Tajo se dispuso de una serie de caudales aforados restituidos en Bolarque, extendida desde el año 1912 hasta 1996 (84 años hidrológicos completos), y de series de aportaciones en régimen natural

obtenidas mediante modelos hidrológicos de lluvia-escorrentía (modelo Sacramento aplicado a periodos temporales de 10 días) en distintos puntos intermedios de la cabecera.

Los puntos considerados y los valores medios de sus aportaciones mensuales y total anual (hm^3) son los mostrados en la tabla, donde puede verse que las aportaciones medias estimadas en Bolarque alcanzaban los $1233 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Estación	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOT
ALMOG.	0.6	0.8	1.1	1.6	1.8	1.7	1.4	0.9	0.7	0.5	0.4	0.4	11.8
ARANJUEZ	0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0	0	0	1.1
BOLARQUE	55.6	79.7	109.9	144.5	154.6	181.9	146.4	125.1	89.1	57.5	44.7	44.4	1233.5
EMBOC.	0.5	0.8	1.1	1.6	2	1.8	1.6	1.1	0.7	0.5	0.4	0.4	12.7
ESTREM.	0.3	0.4	0.7	1.1	1.4	1.3	0.9	0.6	0.3	0.2	0.2	0.1	7.5
VALDAJOS	2.4	4.3	6.2	10.1	12.4	10	8.4	6.8	3.4	1.8	1.4	1.3	68.5
ZORITA	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	2.1
TOTAL:	59.6	86.3	119.3	159.3	172.8	197.3	159.1	134.8	94.3	60.6	47.1	46.8	1337.2

Tabla 12. Aportaciones empleadas en estudios previos

Dada su importancia fundamental, es oportuno recordar que el aforo de caudales circulantes por Bolarque ha sido históricamente problemático, habiéndose señalado dudas sobre la fiabilidad de sus datos desde los primeros trabajos de planificación hidrológica.

En efecto, el Plan Nacional de Lorenzo Pardo de 1933 incluyó una evaluación de los recursos hídricos peninsulares basada en los registros de aforos disponibles desde la primera o segunda década del siglo, con longitudes máximas de las series del orden de 20 años. Las dificultades para la realización de tal estudio (número de series mayor de 1000, huecos de las series y registros incompletos, escasa fiabilidad de los datos, etc.) se pusieron de manifiesto en el propio Plan, en el que se diseñó un procedimiento simplificado, desarrollado y ejecutado por el Centro de Estudios Hidrográficos, para obtener una idea aproximada de las características hidrológicas de los caudales en estaciones de las distintas cuencas, a excepción del Ebro donde la existencia previa de una oficina estadística en su Confederación Hidrográfica había permitido llevar a cabo estudios detallados de regulación.

En el caso que nos ocupa, los aforos empleados para la cabecera del Tajo fueron los de Bolarque (estación 15), arrojando una aportación media de $1435 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Cuando a partir de 1937 se elabora el Plan General de Obras Públicas, finalmente publicado en 1940 y con una parte dedicada a las Obras Hidráulicas (el conocido como Plan General de Peña Boeuf), no se asumen directamente los resultados de Lorenzo Pardo (y tampoco los de Félix de los Ríos sobre el trasvase del Ebro) argumentando la falta de suficiente conocimiento de los recursos hidráulicos y la necesidad de ampliar estaciones y dar tiempo para aumentar la longitud y representatividad de los registros.

En el caso concreto del trasvase del Tajo, el Plan Peña aplazó la propuesta de Lorenzo Pardo, entre otros motivos, por la escasa fiabilidad que se atribuyó a los datos oficiales de aforo de la División Hidráulica del Tajo frente a los de la central hidroeléctrica de Bolarque, a los que se atribuyó mayor calidad. Es de interés reproducir la argumentación utilizada:

Como los aforos de Bolarque se toman a base de la altura de la lámina de agua sobre la presa, y es para ellos de necesidad vigilar las crecidas, así como de disponer de personal técnico enterado, sus datos tienen más probabilidad de exactitud, que los de la División

Hidráulica, los cuales, por no disponer de limnógrafos, han sido tomados con escala, y el escalero es difícil que pueda dar las duraciones de las crecidas a las distintas alturas, sobre todo las nocturnas. Por eso vamos a tomar como datos más aceptables los de Bolarque. Estos datos (...) nos dan, para veintitrés años, un caudal medio de 1.376 millones de metros cúbicos, en vez de los 1.430 que dice el Sr. Pardo. Esta diferencia está justificada porque nosotros hemos tomado un plazo mayor de años.

Además de los aforos del salto de Bolarque, el Plan Peña también utilizó los aforos entre 1919 y 1933 de la estación de Sacedón, posteriormente denominada como Entrepeñas. Se observó un hecho significativo que permitía cuestionar la serie, y es que en el periodo 1913-1935 la suma de Sacedón+Buendía es sensiblemente menor que Bolarque (33 m³/s frente a 44 m³/s medios), diferencia no justificable por la pequeña intercuenca entre ambos. Analizada la discrepancia, se explicó por dos motivos fundamentales: la consideración de las condiciones de observación, que reconocen como mejores las observaciones en Bolarque, y las condiciones de medida con y sin limnógrafo en Buendía. Se comprobó que en 1935, en que se mide simultáneamente con escala y limnógrafo, las observaciones de escala dan el 75% del caudal observado con limnógrafo, lo que explica la diferencia señalada en este periodo 1913-1935.

A su vez, el estudio de regulación de Entrepeñas y Buendía que en 1940 estaba realizando la División del Tajo, estimaba una aportación regulada de 1.300 hm³, excluyendo los datos de 1936 considerado tan extraordinariamente abundante *como no se recuerda otro, en el cual fueron destruidas gran número de estaciones de aforo, algunas con limnógrafo, a pesar de que éstas se instalan para que no las alcancen las mayores crecidas.*

A la vista de todas estas circunstancias, el Plan de 1940 propuso un *estudio riguroso del Tajo* para fijar los sobrantes de la cabecera, ejecutar previamente los embalses, y disponer de la red nacional de electrificación. *Mientras no estén realizadas estas dos condiciones, no se puede pensar en hacer trasvases, porque la irregularidad de los caudales circulantes en el Tajo no lo permite.*

Cabe recordar igualmente que en los estudios de regulación publicados en 1960 por Becerril aplicando su método de regulación, los volúmenes propuestos fueron de 1247 hm³/año con garantía del 90% y 1155 hm³/año con garantía del 95%. Los datos utilizados fueron los aforos desde octubre de 1913 a septiembre de 1956, con 43 años hidrológicos completos.

Pocos años después, en los estudios realizados por el Centro de Estudios Hidrográficos para el Anteproyecto Tajo-Segura, se concluyó la fiabilidad de los datos de Bolarque en el periodo 1913-1960. Tales contrastes lo fueron respecto a las estaciones de aforo aguas arriba (especialmente Sacedón y Buendía), pues respecto a aguas abajo la fiabilidad de las estaciones no lo permitía, y también mediante estudios de hidrología general de la cuenca.

Por otra parte, en los más recientes estudios de planificación realizados por la Confederación del Tajo se ha venido utilizando una serie mixta de entradas netas a Entrepeñas y Buendía construida a partir de dos fuentes de información distintas: en el periodo 1940/41 a 1957/58 se ha utilizado la serie del modelo SIMPA, minorándola en las demandas netas existentes aguas arriba, mientras que desde 1958/59 se ha utilizado la serie deducida de los balances de Entrepeñas y Buendía. El conjunto sería representativo de las entradas a los embalses de cabecera, pero no del régimen natural, dado que las afecciones aguas arriba ya están incorporadas en los balances.

Si se compara esta serie con la de suma de entradas a Entrepeñas y Buendía, tomada directamente del Anuario de Aforos, los resultados son prácticamente coincidentes excepto en

el año 1997/98, en el que se produce una desviación importante en los meses de diciembre a febrero que sería conveniente investigar.

Además, la CHT dispone de una serie de aportaciones en Entrepeñas y Buendía representativa de las entradas a los embalses, que se ha venido actualizando y manteniendo de forma continua, disponiéndose de un registro completo actualizado hasta hoy. En la tabla adjunta se incluye la más reciente versión de la serie, ofrecida por la Confederación Hidrográfica del Tajo en su Informe de Situación para la Comisión de Explotación del ATS de junio de 2012. Los 3 últimos meses (julio-septiembre de 2012) se extrapolaron en este Informe a los valores de 20, 17 y 17 hm³. En el último Informe de Situación 03/2012 se ofrecen ya los valores reales que han sido 27, 25 y 19 hm³/mes respectivamente.

Año_hid	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
1912-13	26.0	23.6	24.1	31.6	30.0	59.5	122.6	39.9	44.3	31.9	22.2	25.9	481.6
1913-14	112.6	207.4	80.6	64.4	105.1	151.6	95.8	77.1	54.1	41.7	32.2	29.4	1052.0
1914-15	31.3	37.7	204.1	362.9	302.9	322.0	248.5	235.3	137.4	83.9	64.5	64.3	2094.8
1915-16	54.1	83.5	242.0	138.3	185.3	627.7	374.7	187.9	98.3	84.0	64.5	53.6	2193.9
1916-17	48.6	68.9	527.5	204.7	328.5	323.9	268.6	222.0	171.6	89.2	48.9	51.6	2354.0
1917-18	50.6	47.7	45.4	78.9	53.1	51.6	221.9	96.2	59.0	43.5	33.3	39.6	820.8
1918-19	47.3	45.2	46.7	106.8	423.8	388.4	408.9	153.1	115.7	66.6	52.7	61.5	1916.7
1919-20	149.9	334.6	160.1	210.3	177.1	276.5	226.4	130.2	100.0	64.5	48.6	42.4	1920.6
1920-21	59.0	58.2	105.4	92.4	91.3	84.5	57.4	81.9	138.2	55.0	36.6	42.9	902.8
1921-22	45.0	36.1	52.1	89.8	110.7	127.6	193.1	107.4	74.0	46.6	37.9	45.4	965.7
1922-23	56.9	71.5	64.3	87.7	116.6	136.6	126.7	83.9	66.6	64.8	39.6	41.9	957.1
1923-24	36.0	116.7	187.5	143.0	253.0	506.8	375.6	125.5	74.9	51.8	43.6	44.5	1958.9
1924-25	42.7	42.3	83.9	51.2	95.9	133.9	136.5	95.7	94.5	55.6	37.6	31.8	901.6
1925-26	35.1	60.5	272.9	106.0	370.6	156.2	191.5	183.5	74.5	54.6	41.5	40.9	1587.8
1926-27	56.2	320.5	217.9	96.9	98.1	223.4	128.3	102.6	68.0	51.4	35.1	31.5	1429.9
1927-28	35.2	60.8	352.8	165.1	98.7	306.3	370.4	262.1	113.7	72.3	53.8	63.1	1954.3
1928-29	60.6	63.9	51.3	67.0	111.4	105.7	72.0	128.8	78.9	54.5	38.0	41.9	874.0
1929-30	41.1	47.1	92.6	136.5	214.9	261.3	200.2	198.8	256.2	99.4	59.3	47.0	1654.4
1930-31	49.6	45.4	66.1	112.0	51.1	183.3	103.3	63.8	43.5	32.3	27.0	26.9	804.3
1931-32	37.1	97.7	48.5	43.0	40.0	99.1	105.0	100.1	51.5	39.0	31.0	61.5	753.5
1932-33	52.1	58.5	210.5	134.7	105.9	207.4	92.4	71.5	103.2	50.5	36.9	36.3	1159.9
1933-34	43.2	50.5	86.4	138.5	70.6	175.9	254.2	114.9	65.4	45.2	37.9	34.2	1116.9
1934-35	32.9	70.6	234.9	118.3	85.3	240.5	87.3	178.9	135.5	68.3	53.1	40.4	1346.0
1935-36	41.0	58.9	248.1	521.6	593.5	541.3	467.8	360.8	233.1	122.7	84.8	69.8	3343.4
1936-37	76.2	72.0	68.1	163.8	322.5	563.6	298.9	143.3	134.4	75.4	59.5	55.4	2033.1
1937-38	278.3	389.2	253.9	224.3	127.2	103.0	81.5	125.9	70.2	48.2	40.5	42.4	1784.6
1938-39	46.3	40.3	55.9	134.2	93.6	92.8	131.9	63.6	53.4	33.9	33.1	49.6	828.6
1939-40	125.0	170.0	110.4	223.4	314.2	155.3	117.7	173.8	107.8	77.7	58.0	53.1	1686.4
1940-41	60.6	157.5	84.8	656.4	616.0	488.6	309.9	464.1	175.3	112.5	80.2	72.1	3278.0
1941-42	70.7	76.9	71.4	66.7	63.0	143.5	192.6	167.7	77.4	47.7	54.3	54.3	1086.2
1942-43	60.6	105.6	98.7	169.4	174.2	113.6	92.1	85.8	44.6	46.5	35.0	40.0	1066.1
1943-44	41.5	36.0	52.5	45.0	33.4	43.3	86.5	83.7	69.0	36.1	27.5	36.8	591.3
1944-45	32.5	36.0	53.6	50.1	73.6	52.6	44.5	29.8	31.9	25.8	28.1	21.3	479.8
1945-46	23.5	28.3	151.8	78.1	53.5	189.2	218.6	396.0	136.5	66.1	50.0	47.8	1439.4
1946-47	45.9	43.1	45.6	48.5	441.9	748.2	308.6	210.1	108.8	72.2	73.2	63.9	2210.0
1947-48	76.6	57.1	91.0	439.9	264.9	155.8	114.0	135.5	89.7	52.7	43.6	40.1	1560.9
1948-49	43.3	41.0	41.2	44.5	33.8	34.3	27.5	35.8	32.8	23.1	20.9	121.3	499.5
1949-50	69.9	54.0	47.4	47.5	51.5	51.7	40.1	34.9	28.2	17.0	25.7	21.4	489.3
1950-51	22.7	25.5	75.8	125.9	334.6	575.6	170.4	248.6	118.8	71.2	66.1	68.3	1903.5
1951-52	62.6	186.2	99.7	85.2	123.1	143.1	247.8	160.4	83.5	87.5	78.0	64.1	1421.2
1952-53	55.1	46.5	72.9	75.9	61.2	44.5	40.1	33.4	30.8	31.7	21.8	23.1	537.0
1953-54	36.5	36.4	27.7	30.2	39.4	78.5	43.8	86.5	54.7	43.9	36.7	30.8	545.1
1954-55	29.5	24.7	36.6	125.9	229.4	155.3	71.7	50.4	47.1	28.0	32.0	25.9	856.5
1955-56	38.7	47.6	234.2	150.4	80.0	231.8	254.8	264.9	147.1	75.3	62.5	70.7	1658.0
1956-57	63.6	49.6	50.3	49.5	73.2	69.7	61.1	116.8	105.5	53.8	39.2	45.5	777.8
1957-58	59.6	56.9	56.6	76.4	97.0	116.7	166.7	72.9	56.1	41.4	40.8	33.2	874.3
1958-59	34.2	37.6	207.9	123.8	75.7	208.5	120.4	133.8	97.0	57.9	54.5	66.7	1218.0
1959-60	66.3	92.7	419.5	395.7	534.7	451.1	245.9	145.2	147.3	95.2	65.3	66.3	2725.2
1960-61	279.6	311.2	200.8	279.0	165.6	121.4	109.4	85.4	82.2	55.5	60.1	86.0	1836.2
1961-62	67.3	198.6	197.6	336.6	134.4	294.4	137.3	138.9	119.5	68.7	60.0	55.6	1808.9
1962-63	69.1	74.4	76.9	298.4	351.3	291.3	324.0	140.0	98.8	71.3	59.6	71.1	1926.2
1963-64	69.5	329.6	285.6	153.5	328.3	340.3	231.0	122.1	114.0	88.7	69.2	61.8	2193.6
1964-65	59.0	59.8	62.0	77.1	85.4	267.4	102.4	64.1	45.8	32.8	36.1	35.5	927.4
1965-66	88.4	228.9	192.6	516.8	406.3	278.3	278.5	144.7	140.2	81.7	61.8	68.0	2486.2
1966-67	95.6	155.2	100.9	100.1	146.3	162.0	134.9	105.1	67.3	50.1	38.1	37.4	1193.0
1967-68	52.2	74.4	53.7	53.2	131.2	126.5	150.2	109.7	60.8	46.2	45.0	41.9	945.0
1968-69	35.1	39.9	115.1	135.2	171.6	537.9	229.1	250.3	154.3	85.6	60.2	71.2	1885.5
1969-70	65.9	104.0	94.1	478.9	176.9	118.5	102.8	103.1	76.5	56.2	52.7	41.7	1471.3
1970-71	40.5	47.4	45.4	85.5	71.3	98.0	185.4	340.2	307.0	126.1	72.2	64.8	1483.8

1971-72	67.5	54.3	60.8	81.5	308.8	214.2	116.8	81.9	66.0	48.5	39.9	78.9	1219.1
1972-73	74.6	131.9	137.0	167.6	118.2	102.6	75.8	81.5	82.2	59.2	46.3	40.1	1117.0
1973-74	46.1	49.6	56.7	121.7	138.1	145.6	154.7	130.7	73.0	66.1	53.7	42.7	1078.7
1974-75	41.0	41.9	42.9	41.1	49.2	64.4	93.9	98.2	133.6	65.6	53.8	43.6	769.2
1975-76	45.4	44.3	39.5	34.8	49.8	45.5	57.0	49.5	49.8	50.3	46.1	34.9	546.9
1976-77	39.3	68.0	109.9	364.2	343.8	215.9	122.3	98.4	98.9	67.1	54.3	44.3	1626.4
1977-78	50.4	40.5	103.0	97.2	243.4	346.9	166.6	203.2	133.1	80.0	57.3	49.3	1570.9
1978-79	44.4	41.7	80.0	239.9	407.4	244.9	263.3	127.7	139.9	87.9	62.4	60.4	1799.9
1979-80	96.9	108.9	80.0	77.0	71.1	100.4	92.8	121.7	89.9	62.5	50.7	39.3	991.2
1980-81	37.2	41.4	35.1	30.1	32.6	43.0	51.1	76.9	49.2	43.6	36.8	26.1	503.1
1981-82	28.5	20.9	58.0	97.8	47.7	58.2	47.7	49.9	86.9	60.6	45.2	32.0	633.4
1982-83	33.6	42.3	44.7	41.1	32.7	37.8	33.8	51.5	51.1	52.2	37.8	34.9	493.5
1983-84	33.3	27.8	44.8	42.6	47.5	70.5	123.6	221.3	189.9	76.7	65.3	42.7	986.0
1984-85	43.0	97.1	85.0	123.5	184.9	138.1	128.3	96.8	73.9	53.3	38.9	41.5	1104.3
1985-86	36.7	39.1	40.7	53.5	181.6	135.7	106.9	109.5	59.2	44.3	31.4	28.8	867.4
1986-87	32.6	30.3	32.3	61.1	116.3	81.6	141.5	66.5	42.6	49.6	32.9	32.7	720.0
1987-88	43.8	41.9	107.5	137.5	138.1	73.9	103.7	161.6	183.6	144.7	67.1	50.1	1253.5
1988-89	49.5	35.2	42.1	45.6	41.1	68.3	104.1	100.4	122.6	58.8	44.9	35.3	747.9
1989-90	32.4	37.3	119.5	81.2	68.0	53.8	49.8	39.7	33.3	31.0	26.9	37.5	610.4
1990-91	40.9	63.2	63.5	56.0	57.0	151.8	148.7	77.3	50.4	42.2	35.4	36.9	823.3
1991-92	49.1	44.0	50.7	33.0	32.4	31.3	89.5	49.5	47.0	34.7	26.1	23.8	511.1
1992-93	39.2	47.3	63.8	40.1	29.0	30.8	28.7	57.2	46.8	28.1	25.7	24.6	461.3
1993-94	62.2	78.6	42.9	112.2	65.7	62.3	42.9	37.3	26.0	30.4	22.2	19.3	602.0
1994-95	30.7	46.9	30.7	38.5	52.1	46.9	31.0	34.4	37.3	23.6	19.8	12.7	404.6
1995-96	17.2	21.1	98.8	288.6	167.7	79.3	85.4	115.4	58.6	40.4	35.9	31.1	1039.5
1996-97	25.0	51.2	246.5	473.5	159.8	93.4	74.9	63.5	64.8	50.0	40.7	32.1	1375.4
1997-98	29.7	96.0	235.5	149.7	108.3	76.5	81.1	130.9	101.1	50.8	38.0	32.1	1129.7
1998-99	31.4	34.3	36.9	46.2	33.2	45.0	38.1	37.9	29.7	22.4	19.6	29.1	403.8
1999-00	93.1	56.0	54.1	45.8	37.2	36.2	138.4	100.5	41.2	31.9	27.3	25.5	687.2
2000-01	25.7	49.7	136.6	320.1	176.8	355.6	105.5	84.4	51.5	41.2	35.1	36.8	1419.0
2001-02	40.7	30.6	34.3	38.1	29.1	58.2	63.2	59.2	39.3	31.8	26.4	24.2	475.1
2002-03	29.0	64.1	110.9	204.6	116.4	141.7	135.1	108.7	64.0	42.7	38.2	36.1	1091.5
2003-04	52.2	87.4	74.9	51.4	66.6	89.9	136.0	205.8	78.9	52.7	41.3	38.1	975.2
2004-05	40.2	33.9	34.3	33.3	32.1	37.7	35.9	31.2	26.2	22.9	19.4	16.9	364.0
2005-06	23.4	23.0	31.9	31.4	28.0	84.9	51.5	35.8	30.0	25.7	19.4	22.3	407.3
2006-07	34.0	36.1	60.2	31.6	75.9	59.8	110.0	79.2	44.5	32.7	26.7	24.3	615.0
2007-08	22.9	22.0	23.2	27.6	23.1	23.3	109.4	75.6	77.3	36.6	26.3	22.6	489.8
2008-09	27.5	42.2	61.2	92.0	135.8	74.0	79.4	56.9	36.6	27.9	25.9	21.1	680.6
2009-10	21.5	20.3	102.1	235.1	177.7	212.7	168.2	148.7	96.2	66.0	47.4	43.4	1339.2
2010-11	37.4	38.6	85.4	74.8	80.0	115.3	81.0	80.1	62.2	34.4	31.9	26.5	747.7
2011-12	26.2	33.7	28.1	25.2	28.2	30.6	40.4	47.7	28.0	27	25	19	359.2

Tabla 13. Serie de entradas a Bolarque-CHT

Esta serie de Bolarque elaborada por la Confederación no es realmente una serie de régimen natural en sentido estricto pues se ha obtenido en parte adoptando los aforos históricos de estaciones ya en desuso, y en parte por balance de embalses, estimando los caudales entrantes a los embalses de cabecera a partir del cálculo de balance entre existencias y desembalses considerando la evaporación, por lo que ya incorpora el efecto de los consumos y afecciones aguas arriba. Adoptar esta serie en el esquema sin anular las demandas aguas arriba equivaldría, en consecuencia, a sumar dos veces la afección producida.

Por otra parte, esta serie no es totalmente coincidente con la mixta anteriormente mencionada ni con la serie suma de entradas del Anuario, presentando diferencias puntuales en algunos años concretos (mayores de 10 hm³ en 1984/85, 1988/89, 2000/01 y 2005/06) que también convendría dilucidar.

La opción seguida ha sido utilizar la serie CHT-CCE de la tabla para realizar una restitución del régimen natural incluyendo las afecciones por consumos en cabecera. Dada su pequeña magnitud relativa el efecto práctico no es muy importante –especialmente antes de la entrada en funcionamiento de la central de Trillo- pero el mayor rigor de los análisis aconseja su consideración.

Como puede verse en la figura adjunta, donde se representan ambas series anuales, las diferencias de esta serie restituida con la resultante de SIMPA no son sustanciales pero tampoco inapreciables. Aunque en cantidades moderadas, la serie SIMPA es sistemáticamente superior a la restituida y sobre todo en las décadas más recientes, lo que alerta respecto a la

necesaria cautela en su utilización para este tipo de análisis de detalle, no a grandes escalas territoriales.

Como se deduce de lo expuesto, y cabe generalizar a otras cuencas, la disponibilidad de series de aportaciones completas, fiables y validadas es una cuestión básica, no plenamente resuelta pese a los importantes avances producidos, y que debe ser abordada en el próximo futuro, máxime cuando en los planes hidrológicos las asignaciones están alcanzando -si no lo han hecho ya- las disponibilidades totales, y se requiere afinar cada vez más en las magnitudes involucradas.

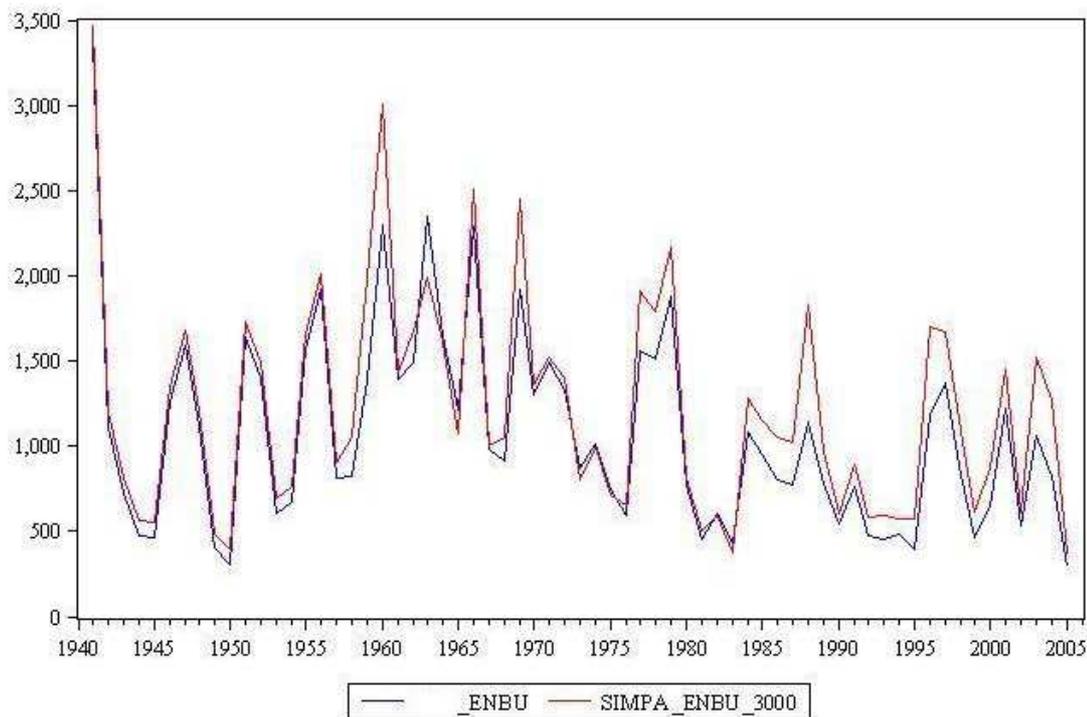


Figura 5. Comparación de series anuales SIMPA y restituida

Un efecto también perceptible en la figura es el de que las aportaciones parecen ser más reducidas en las últimas décadas frente a las observadas a mediados del pasado siglo. Esta reducción podría representarse conceptualmente mediante un salto en los valores medios anuales producido a comienzos de la década de los 80, y que se ha venido en denominar en el Libro Blanco del Agua en España, donde por vez primera se identificó y expuso, el *efecto 80*.

Dado que este efecto se ha observado también en otras estaciones de otras cuencas de España, alejadas de Bolarque, no cabe atribuirlo a errores puntuales de la estación de medida, sino que parece mas bien un fenómeno hidrológico regional cuya extensión y causas no han sido aún bien establecidas.

Para apreciar la importancia de este efecto, la figura adjunta representa la serie anual completa disponible desde 1912, junto con la serie de evolución de las medias calculadas desde el origen hasta cada año, y la de medias móviles de los últimos 10 años hasta cada año. Además, se añaden los niveles medios en los dos periodos, anterior y posterior a 1980.

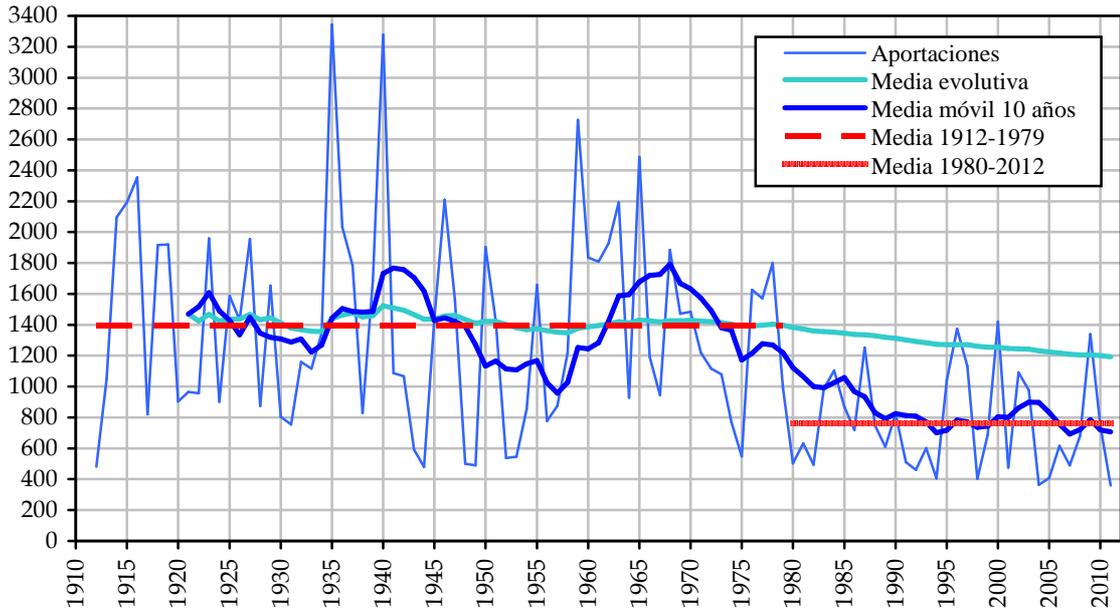


Figura 6. Evolución de aportaciones en cabecera. Medias.

Puede verse como ciertamente las diferencias de los valores medios antes y después de 1980 son muy significativas, del orden de $1400 \text{ hm}^3/\text{año}$ frente a 760 . La falta de homogeneidad en el registro es manifiesta y no puede atribuirse a variabilidad muestral. Consecuentemente, la serie de medias evolutivas (desde 1912 hasta cada momento) muestra un comportamiento relativamente estable hasta 1980 comenzando desde esa fecha un descenso progresivo que se prolonga hasta la actualidad, en que se alcanza el valor aproximado de $1200 \text{ hm}^3/\text{año}$. Asimismo, la serie de medias móviles de 10 años oscila en torno a los $1400 \text{ hm}^3/\text{año}$ medios hasta 1980, siguiendo obviamente las rachas húmedas y secas, y tendiendo después a estabilizarse en torno a los 760 medios de las últimas tres décadas.

Si en lugar de las medias se representan las medianas, el gráfico resultante es el mostrado.

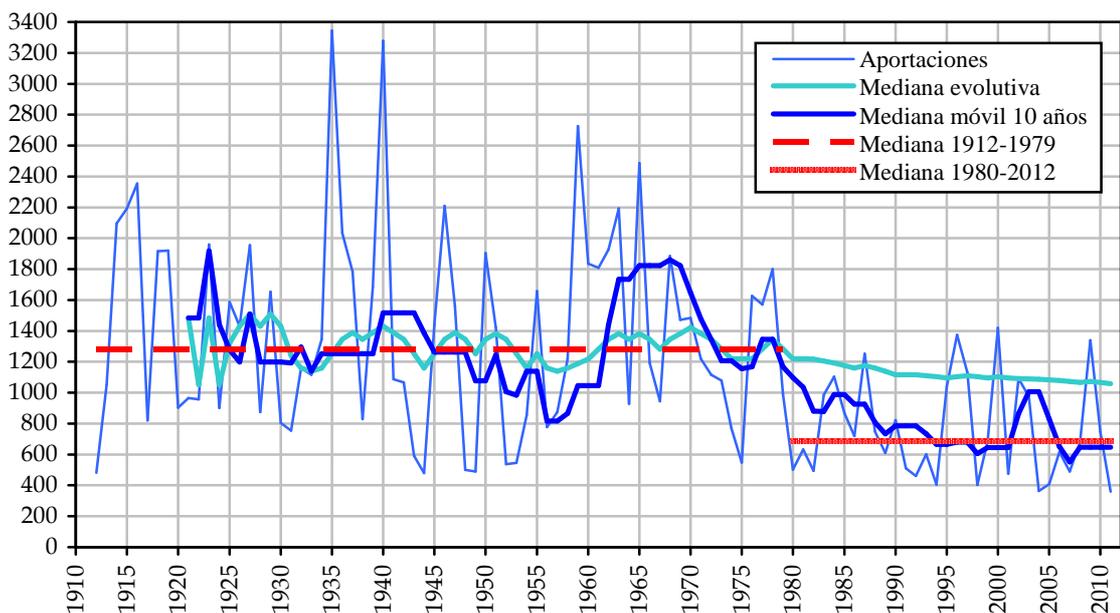


Figura 7. Evolución de aportaciones en cabecera. Medianas

En este gráfico, de mayor robustez que las medias al filtrar los efectos de las puntas extremas, el patrón estructural es similar, con un salto manifiesto en torno a 1980 y mediana desde 1980 hasta 2012 de $684 \text{ hm}^3/\text{año}$, frente a los $1283 \text{ hm}^3/\text{año}$ del periodo anterior a esa fecha.

En definitiva, existe suficiente evidencia como para suponer que las aportaciones actuales en cabecera son inferiores a las registradas en el pasado y establecer el año 1980 como fecha de corte. En tanto en cuanto se investiga el fenómeno y se extiende el registro, observando la evolución futura, parece prudente suponer tal fecha de corte como inicio de la época hidrológica representativa actual, a los meros efectos de la evaluación de disponibilidades hídricas, y sin perjuicio del carácter hoy meramente empírico de esta conjetura.

Las consecuencias de estos hechos sobre las posibilidades de trasvase son sustanciales y, de persistir el fenómeno, podrían llevar a replantear la asignación máxima actual a valores más realistas y sostenibles en el tiempo. El déficit hasta alcanzar estas previsiones habría de ser cubierto, en su caso, mediante nuevas medidas a adoptar en el marco de la planificación hidrológica nacional.

En cuanto a los otros puntos de aportaciones intermedias, en el tramo desde aguas abajo de Bolarque hasta Aranjuez, su valor es relativamente muy reducido y no resulta determinante para el funcionamiento del sistema. Una posibilidad es ignorarlas haciéndolas nulas, pero ello supone despreñar unos recursos que son realmente existentes, introduciendo una distorsión injustificada en los análisis. Por otra parte, si se consideran en su totalidad se está suponiendo que el explotador tiene una capacidad de anticipación tal que le permite ajustar los desembalses desde cabecera conociendo que se van a producir estas aportaciones, lo que resulta no realista en la práctica y puede distorsionar también los resultados en sentido contrario.

La reflexión sobre este problema nos ha conducido a desarrollar el procedimiento que sigue.

Conceptualmente, puede considerarse que las aportaciones intermedias presentan una componente regular, asimilable a un flujo base, muy poco variable interanualmente, y que es susceptible de consideración en la explotación del sistema –desembalses desde Bolarque- a partir del conocimiento y experiencia de funcionamiento del río. Por otra parte, hay otra componente irregular, variable intraanual e interanualmente, asociada a tormentas y puntas de caudal que no resultan predecibles y no pueden considerarse para la programación de los desembalses.

Para la separación de bases y puntas se ha optado por aplicar un truncamiento al nivel del percentil del 20%, variable mes a mes, de forma que los valores por encima de este nivel quedan truncados al nivel, y los inferiores quedan con su mismo valor. Las puntas recortadas pueden finalmente agregarse para formar la serie de salidas del sistema, garantizando así la preservación del balance global.

Se ha comprobado que este criterio proporciona resultados estables y adecuados, con muy reducida variabilidad interanual, proponiéndose usar estas series intermedias truncadas en los análisis del sistema.

El procedimiento seguido ha sido, en definitiva:

1. Restitución de la serie mensual de Bolarque a partir de la serie de entradas a Bolarque ofrecida por la CHT, cubriendo el periodo completo de 100 años 1912-2012.
2. Generación de series SIMPA en todos los puntos intermedios, cubriendo el periodo 1940-2010 (datos de la colección original SIMPA 1940-2005, ampliados al 2010).

3. Aplicación de técnicas de regresión con mantenimiento de la varianza MOVE para el completado de datos mensuales de todas las series intermedias, ampliándolas hasta cubrir también el periodo de 100 años 1912-2012.
4. Truncamiento de las series intermedias mediante el percentil del 20%, variable mes a mes.
5. Formación de la colección completa de series de aportaciones (restituida en cabecera y truncadas intermedias), a utilizar en los análisis del sistema.
6. Formación de la serie agregada de puntas de las aportaciones intermedias y su incorporación al sistema aguas abajo de Aranjuez (aportación final, Aranjuez), con objeto de preservar rigurosamente el balance hídrico con los volúmenes mensuales de salida del sistema.

2.10 PRIORIDADES Y REGLAS DE GESTIÓN

Una vez fijados los elementos físicos del sistema, es necesario definir los criterios de prioridad para la asignación de recursos a las diferentes demandas existentes.

En el caso de la cabecera del Tajo cabe diferenciar entre dos tipos distintos de reglas: los criterios de prioridad para la asignación del agua a las demandas propias, incluyendo los caudales mínimos ambientales, y los criterios de gestión para las demandas externas, correspondientes a los recursos trasvasados.

Las primeras, que podrían denominarse convencionales, obedecen a los criterios estándares empleados para construir esquemas de optimización, en los que las reglas se expresan como prioridades de asignación a las distintas demandas y caudales mínimos, según los diferentes niveles escalonados que se hayan discriminado.

Las segundas se basan en asumir las reglas estándares de prioridad como criterio general, que opera al nivel de la optimización del sistema, pero a las que se superponen de forma explícita las reglas de explotación específicas que regulan la transferencia y que fueron fijadas y aprobadas en 1997 por la Comisión Central de Explotación del Acueducto Tajo-Segura.

Este tipo de reglas complejas de explotación no pueden ser aplicadas de forma directa por los modelos estándares de optimización, por lo que se ha investigado y desarrollado un nuevo procedimiento de cálculo (técnica de las *fuentes calculadas*) que extiende la funcionalidad de estos modelos permitiendo añadir a las simulaciones reglas de explotación más complejas, no basadas en prioridades por bloques.

Seguidamente se describen ambas aproximaciones.

2.10.1 Reglas estándares basadas en prioridad

Conforme a lo dispuesto legalmente, se dará la máxima prioridad a la plena satisfacción de todas las demandas propias de la cuenca del Tajo, sin limitación ni restricción coyuntural alguna de sus valores nominales de demanda, y con una garantía absoluta, tanto temporal como volumétrica, del 100%. Nótese que esta garantía no es la prevista reglamentariamente con carácter general para los distintos usos, sino muy superior tanto para riegos como para

abastecimientos, dando lugar así a una situación ciertamente singular en la planificación hidrológica española.

Sería razonable que en futuras revisiones de esta planificación hidrológica se aborde el asunto reflexionando sobre la idoneidad del planteamiento expuesto e introduciendo en su caso criterios de seguridad más ajustados. El propio Plan Especial de Actuación en Situaciones de Alerta y Eventual Sequía de la Cuenca Hidrográfica del Tajo ya apunta en esa dirección, al no introducir diferencias de tratamiento de estas demandas con el resto de la demarcación.

De cualquier modo, cumplido este requisito inicial de suministro propio plenamente garantizado, se procurará atender la demanda de abastecimientos de las cuencas receptoras en sus cuantías previstas, y con los criterios estándares de garantía basados en fallo mensual y en déficit anuales acumulados.

Una vez satisfecho el abastecimiento, se procurará atender una fracción de regadíos para el Segura considerada como mínimo riego de socorro.

Asimismo se procurará atender el caudal asignado al mantenimiento ecológico de las tablas de Daimiel, en la cantidad total de 20 hm³/año, y con garantía análoga a la del regadío.

Por último, si aún hubiese recursos para ello, se servirá el resto del regadío de la cuenca del Segura, hasta completar su asignación máxima, y con una garantía estándar para regadíos de 50, 75 y 100% para 1, 2, y 10 años.

El volumen total susceptible de trasvase anual no podrá en ningún caso exceder la cifra global máxima legal de 650 hm³/año en origen (620 como referencia de cálculo para 2015), resultante de sumar todas las cantidades anteriores incluyendo las pérdidas de transporte y distribución.

Las reglas de asignación antedichas son las propuestas de forma estándar en los estudios previos, pero debe advertirse que no necesariamente reflejan ni prejuzgan la realidad jurídica de las prioridades de uso de los distintos titulares de derechos legítimos al uso de las aguas de cabecera, cuestión ésta compleja, sometida a distintas interpretaciones legales, y que no procede analizar ahora en este documento técnico.

2.10.2 Regla de explotación vigente

En este caso, las reglas generales son iguales a las anteriores para el conjunto del sistema, con la excepción de la simulación del funcionamiento del Tajo-Segura. Puesto que este funcionamiento está regulado por una Norma de Explotación específica, se ha introducido esta norma específica en el modelo, mediante la técnica de fuentes calculadas, utilizando para ello modelos ampliados desarrollados al efecto.

El detalle de la concepción, construcción y desarrollo de la Regla vigente puede verse en la publicación ya aludida *Tres Casos de Planificación Hidrológica* (MIMAM, 2000). En síntesis, su formulación es la siguiente:

La regla puede ser aplicada a comienzos de cualquier mes, ofreciendo las posibilidades de trasvase para el mes que se inicia y los sucesivos.

Para su aplicación se requieren tan sólo dos datos fundamentales:

- Las existencias totales embalsadas en Entrepeñas-Buendía (E) (hm³)
- Las aportaciones acumuladas de cabecera en los últimos 12 meses (A) (hm³)

Con estos datos, el criterio de operación es servir toda la demanda propia del Tajo (evaluado en un desembalse de hasta 370 hm³/año, con modulación estacional), sin limitación alguna, y estimar los volúmenes trasvasables (hm³/mes), a partir de estos datos, según se muestra en la tabla.

Situación	Condiciones	Vol.trasvasable
Nivel 1. Situación ordinaria	A >= 1000 o E >= 1500	68
Nivel 2. Situación restringida	A < 1000 y E < 1500	38
Nivel 3. Circunst. hidrológicas excepcionales (remisión C.M.)	E < valores mensuales dados en la tabla 2	23
Nivel 4. Ausencia de excedentes	E < 240	0

Tabla 14. Determinación de volumen trasvasable según la regla vigente

OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
456	467	476	493	495	496	504	541	564	554	514	472

Tabla 15. Existencias a comienzos de mes definitivas de la situación hidrológica excepcional según la regla vigente

Nótese que, contra una opinión muy extendida, si el volumen embalsado es inferior a 240 hm³ no podría trasvasarse nada pero puede –y debe- bajarse de esa cantidad si es necesario para asegurar el suministro propio del Tajo. No existirían recursos trasvasables pero sí disponibles. Los análisis realizados mostraron que la necesidad de regulación para atender plenamente esta demanda propia es variable mes a mes, con un máximo de 117 hm³, por lo que, reduciendo adicionalmente por evaporación, se llegaría de los 240 a 118, que es el embalse mínimo según las indicaciones de la Confederación Hidrográfica del Tajo.

Ha de recordarse que existe un precedente de esta situación, pues en el cuatrimestre septiembre-diciembre de 1995, se mantuvieron valores de existencias totales embalsadas entre 120 y 130 hm³ durante los 4 meses, con un mínimo de 122 hm³. El margen entre 118 y 240 asegura plenamente el suministro propio del Tajo, con garantía del 100%, sin restricción alguna.

Como puede verse, esta regla de explotación vigente no condiciona en modo alguno el proceso de determinación de los umbrales de reserva para la definición de excedentes trasvasables. Estos umbrales son previos y dependen exclusivamente de las demandas propias del Tajo y de la hidrología de su cabecera.

La regla de explotación opera modulando los posibles envíos siempre por encima del umbral mínimo y no alterando a éste de ninguna forma. Fijados el desembalse de referencia y el nivel mínimo asociado, la regla afecta tan solo al ritmo con el que se producen los envíos del trasvase, pero no a sus cuantías medias que serán sensiblemente iguales a largo plazo, con la única diferencia marginal debida a las diferentes evaporaciones por diferentes oscilaciones de la lámina de agua. Esta idea, absolutamente básica, no parece haber sido aún bien entendida.

Nótese asimismo que la regla se limita a determinar posibilidades de trasvase total mensual, pero no discrimina por usos. La cuestión ya ha sido planteada anteriormente, en el epígrafe de demandas en la cuenca del Segura, y se desarrollará en capítulos posteriores al analizar las futuras nuevas reglas de explotación.

Expuesta en este capítulo la información y criterios básicos necesarios para abordar el problema, en los capítulos sucesivos se despliega de forma sistemática su análisis técnico, comenzando por la determinación del desembalse de referencia.

3. DESEMBALSES DE REFERENCIA

3.1 INTRODUCCIÓN

El análisis del sistema de explotación descrito se ha llevado a cabo mediante un conjunto de herramientas técnicas constituido por un modelo matemático de optimización de sistemas de recursos hidráulicos (modelo *Optiges* del paquete *Aquatool*, desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia), junto con otras aplicaciones de desarrollo propio para ejecutar distintos cálculos hidrológicos (modelos incluidos en el contenedor *MHAX*), que permiten realizar análisis complejos y obtener diferentes resultados y conclusiones, tal y como se expondrá en los epígrafes que siguen.

En primer lugar, antes de abordar los cálculos, se introducirán algunas reflexiones previas sobre el concepto de desembalse de referencia. Tras ello se abordará la determinación técnica de estos desembalSES desde Bolarque, necesarios para la completa atención de las demandas propias del Tajo asociadas a la cabecera. Conocido el desembalse de referencia, puede realizarse el estudio de regulación y la obtención de la reserva.

3.2 EL CONCEPTO DE DESEMBALSE DE REFERENCIA

Antes de abordar la determinación numérica de los desembalSES de referencia y las siguientes fases de análisis del sistema de cabecera, es oportuno reflexionar sobre la naturaleza conceptual de estos desembalSES y el tratamiento formal que, conforme a ello, cabría atribuirles dentro de nuestro ordenamiento.

Desde una perspectiva técnica, su sentido es claro y sencillo de comprender: es el desembalse para la demanda estacional global agregada que debe atenderse desde cabecera, con destino a la satisfacción de todas las necesidades propias asociadas del Tajo. Desde una perspectiva conceptual su sentido ya no es tan evidente, pero basta reflexionar sobre el objetivo que persigue para entender que tal desembalse no es sino un elemento de mayor transparencia y seguridad, imprescindible para la definición de las condiciones hidrológicas que deben regular la transferencia desde el Tajo al Segura y Guadiana.

Los desembalSES de referencia, utilizados desde antiguo en la práctica planificadora en España, no tienen una función fiscalizadora de la explotación sino que, en su correcta interpretación, sirven como guía indicadora para su seguimiento de forma que, por una parte, permiten garantizar el uso del agua en la cuenca del Tajo conforme a las previsiones de la planificación hidrológica y, por otra, aportan seguridad técnica y jurídica al explotador de cabecera al proporcionar una guía de actuación objetiva, aceptada por todos y plenamente conforme a lo dispuesto en esta planificación.

En un caso simple de embalse que atiende una demanda única, el desembalse de referencia sería precisamente el requerido para satisfacer esa demanda y no requiere definición explícita alguna dada su simplicidad, pero en un caso complejo, con distintas demandas simultáneas con volúmenes totales y modulaciones diferentes, cuyos retornos pueden ser parcialmente aprovechados, con aportaciones intermedias, y con requerimientos ambientales adicionales, la fijación del desembalse dista mucho de ser obvia, siendo usual que se produzca de forma empírica por la experiencia acumulada en la explotación del sistema.

Así ha sucedido con los embalses de la cabecera del Tajo, para los que la Confederación ha ido afinando sus determinaciones de desembalse expresándolas mediante curvas que han ido evolucionando a lo largo del tiempo. Cabe señalar que ya en los años 60, y en fase de diseño del trasvase, se llevó a cabo el estudio de desembalses de referencia considerando la futura creciente demanda de caudales del ATS, y para los que, tras la entrada en operación del trasvase, la explotación se va afinando progresivamente en la década de los 80, alcanzando en los últimos 20 años una gestión muy eficiente y optimizada. A partir de las nuevas determinaciones de la planificación del Tajo, esta explotación puede experimentar cambios, y esto es lo que ahora se estudia y se propone considerar.

Como se verá, tanto la experiencia del pasado, expresadas en las curvas elaboradas por la Comisión de Explotación, como los valores calculados a partir de la más reciente información del borrador de Plan muestran una buena concordancia, por lo que dada la singularidad del caso parece conveniente que este caudal aguas abajo de los embalses, o desembalse de referencia, sea fijado de forma objetiva y con los adecuados márgenes de seguridad.

Ha de reiterarse que estos desembalses nada aportan que no esté ya contenido de forma implícita en la planificación hidrológica de la cuenca, siendo, en definitiva, una forma diferente, más elaborada, de contemplar la misma información, sustanciando y concretando de forma numérica las obligaciones contraídas por la Administración al formular sus asignaciones y otorgar las concesiones de utilización del agua. El Organismo de cuenca no se ve privado de su imprescindible capacidad de actuación, pues debe permanentemente valorar la situación y puede desviarse motivadamente de los objetivos marcados. La fijación de bandas de operación para cubrir incidencias ordinarias de explotación puede cubrir esta circunstancia.

Desde el punto de vista formal se trataría, en definitiva, de una condición más de las múltiples que operan sobre los sistemas de recursos hídricos aunque, desde luego, de una muy singular relevancia obviamente debida a la muy singular relevancia del trasvase Tajo-Segura-Guadiana, cuyas posibilidades de funcionamiento condiciona de forma determinante.

En efecto, modificaciones en estos desembalses se traducen de forma directa en modificaciones de los volúmenes trasvasables medios, a diferencia de lo que sucede con la reserva mínima no trasvasable, cuyo impacto a estos efectos, y en contra de lo que pudiera pensarse, es manifiestamente inferior y poco relevante en la práctica.

En consecuencia, carecería de sentido que la reserva mínima se considere una condición hidrológica de las requeridas por el art. 45.c TRLA para las transferencias entre demarcaciones en la Ley del Plan Hidrológico Nacional, tal y como se hizo en relación a los 240 hm³ hoy vigentes (D.A. 3ª LPHN), y no se considere de igual modo el desembalse de referencia, que es una condición hidrológica mucho más determinante para el funcionamiento de la transferencia y debiera fijarse, con carácter general, para todas las transferencias existentes.

En el caso de la reserva la condición es un almacenamiento, en el caso del desembalse de referencia la condición es un flujo, y ambas constituyen condiciones hidrológicas básicas de la transferencia.

3.3 CÁLCULO DE DESEMBALSES

Tras las consideraciones conceptuales previas sobre los desembalses de referencia, se procede a la determinación numérica de sus valores tal y como se describe seguidamente.

Ejecutando el modelo construido con los datos mostrados en epígrafes anteriores, sin considerar la existencia del trasvase, con aportaciones intermedias truncadas, y asumiendo una capacidad de desembalse ilimitada desde la cabecera (es decir, una disponibilidad infinita de agua, sin ninguna limitación para atender sus demandas), se obtiene una serie mensual de 100 años de desembalses desde Bolarque, que es la necesaria para la plena satisfacción de todas sus demandas nominales, incluyendo en su totalidad la concesión de abastecimiento de 60 hm³/año. Dado que, como se señaló, no es realista suponer el pleno desarrollo esta concesión antes del año horizonte de 2015, posteriormente se realizará un análisis de sensibilidad de esta variable haciéndola variar desde 0 hasta 60 y evaluando su influencia sobre el comportamiento del sistema.

Como supuesto inicial maximalista, con los 60 hm³/año totales incluidos, los desembalses obtenidos cada año oscilan entre un mínimo de 410 y un máximo de 420 hm³/año, con media de 412. Una cifra segura máxima conservadora, bajo la hipótesis de incluir los 60, sería adoptar 425 hm³/año, que es la resultante de sumar todos los máximos correspondientes a cada mes (media de máximos en lugar de máximo de las medias). Dado que la demanda del CYII se supone constante y sin retorno al sistema, no incluir los 60 supondría rebajar este desembalse hasta 365 hm³/año, magnitud indicativa de la situación actual y que se propone adoptar como referencia de base.

Ha de recordarse que estos cálculos han sido realizados con las aportaciones intermedias truncadas. Si se reiteran con los 60 pero asumiendo las aportaciones intermedias completas, sin truncamiento, los desembalses requeridos oscilan entre 279 y 417 hm³/año, con una media de 363. Si se consideran todas nulas, entonces el desembalse es de 435 hm³/año, muy próximo al valor indicado de 425, pese a lo inverosímil de este supuesto.

En la figura adjunta se representan las series anuales de desembalses resultantes tanto con series intermedias truncadas como completas y nulas, y los valores de referencia actual (370 hm³/año, que es similar al propuesto como referencia base de 365 hm³/año), y propuesto en la hipótesis máxima y hoy irreal de 60 (425 hm³/año).

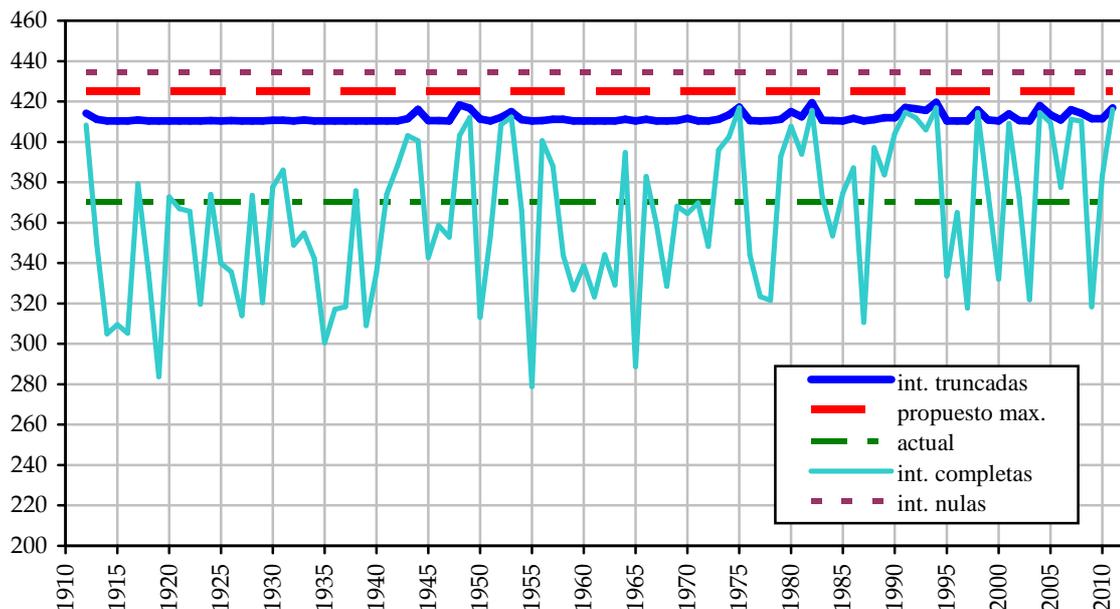


Figura 8. Desembalses anuales requeridos (hm³) y valores propuestos

Puede verse el efecto significativo de la consideración de las aportaciones intermedias, y como el valor propuesto máximo cubre ampliamente todos los casos, siendo un 3 % superior a la media si se consideran las truncadas y un 17 % si se consideran las completas. Si se consideran nulas, es un 2% inferior al resultante. Dado que el aumento desde 365 a 425 se debe, como se indicó, a una demanda constante y que se supone sin retorno al sistema, el valor de referencia de 365 hm³/año da lugar a una reducción constante de 5 hm³/mes sobre el desembalse máximo de 425, por lo que es claro que, bajo este supuesto, la seguridad se mantiene en los mismos términos.

El patrón estacional de los desembalses anuales antes indicados es el mostrado en la siguiente figura, apreciándose una meseta permanente del orden de 23 hm³/mes (unos 9 m³/s continuos), correspondiente a las necesidades ambientales y de los abastecimientos, y unos máximos en verano para atender las necesidades de riego.

Se observa que las medias mensuales correspondientes a las aportaciones intermedias completas son apreciablemente inferiores en la meseta y prácticamente iguales en verano, lo que se debe sin duda a la presentación de puntas de caudal incontroladas, aguas abajo de los embalses, mayoritariamente fuera del periodo de riegos.

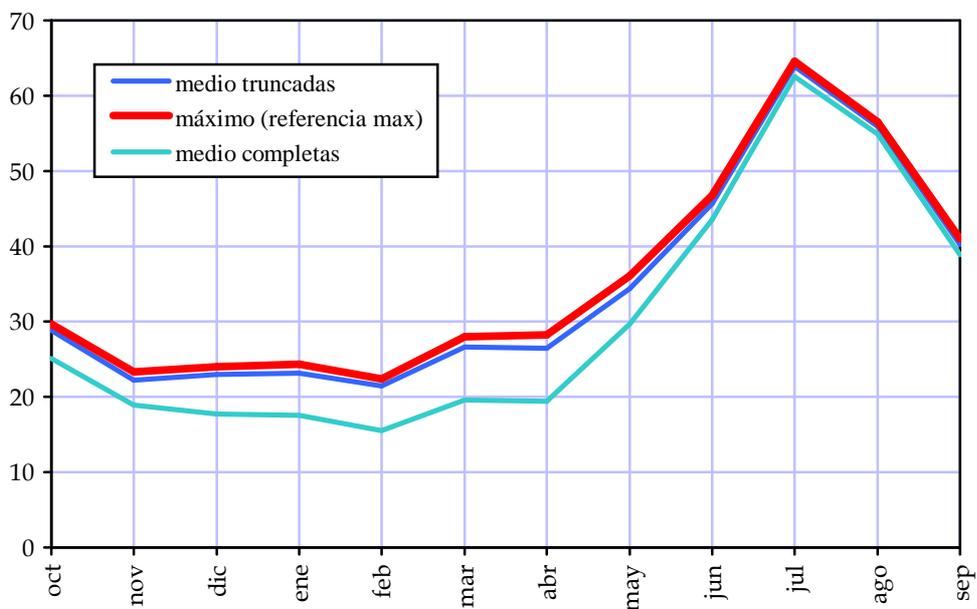


Figura 9. Desembalses mensuales requeridos (hm³)

Adoptando un desembalse de referencia máximo de 425 hm³/año, el margen de seguridad proporcionado por subir de los 412 medios a 425 podría utilizarse en su caso para filtrar pequeñas oscilaciones o efectos puntuales en el tramo entre Bolarque y Aranjuez. Igualmente este margen podría ser ventajosamente utilizado de forma que si se consigue en la explotación de cabecera una mejora de eficiencia u optimización que permita atender los requerimientos con desembalses menores (p.e. por mejores eficiencias de riego, sistemas efectivos de predicción hidrológica, minimización de pérdidas, reducciones temporales de demandas, etc.), el resto hasta 425 podría ser utilizado para mejoras ambientales del propio río Tajo o incluso ser objeto de cesión de derechos, tal y como se expondrá posteriormente, al analizar posibles mejoras ambientales en el sistema de cabecera.

Cabe recordar que en los análisis realizados para el Plan de 1998 el desembalse requerido desde Bolarque para atender plenamente las demandas propias de la cuenca del Tajo oscilaba entre 296 y 340 hm³/año. De forma conservadora, se asumió un año pésimo, con aportaciones intermedias nulas, obteniéndose la cuantía de 341 hm³/año de desembalse, elevándose un 10% para mayor seguridad, hasta el valor de referencia para diseño de 370 hm³/año. Como puede verse, la revisión del Plan, asumiendo los 60 completos de la nueva concesión, supondría elevar este desembalse de 341 en unos 85 hm³/año, viniendo dado este aumento por el sustancial incremento de las demandas de abastecimiento.

Tal y como se señaló, una parte importante de estas demandas de abastecimiento no va a ser movilizadas, con toda probabilidad, antes del año horizonte de 2015, por lo que procede realizar un análisis de sensibilidad sobre este aspecto, valorando supuestos más realistas que los enunciados, singularmente respecto a la nueva concesión.

Para ello, se han repetido los cálculos anteriores pero ensayando con valores de la demanda de abastecimientos del CYII de 0, 15, 30, 45 hm³/año, además de los 60 ya estudiados. En todos los casos se suponen aportaciones intermedias truncadas y se escoge como valor mensual el máximo de los 100 años de la serie.

Los resultados obtenidos anuales y mensuales se muestran en los gráficos adjuntos.

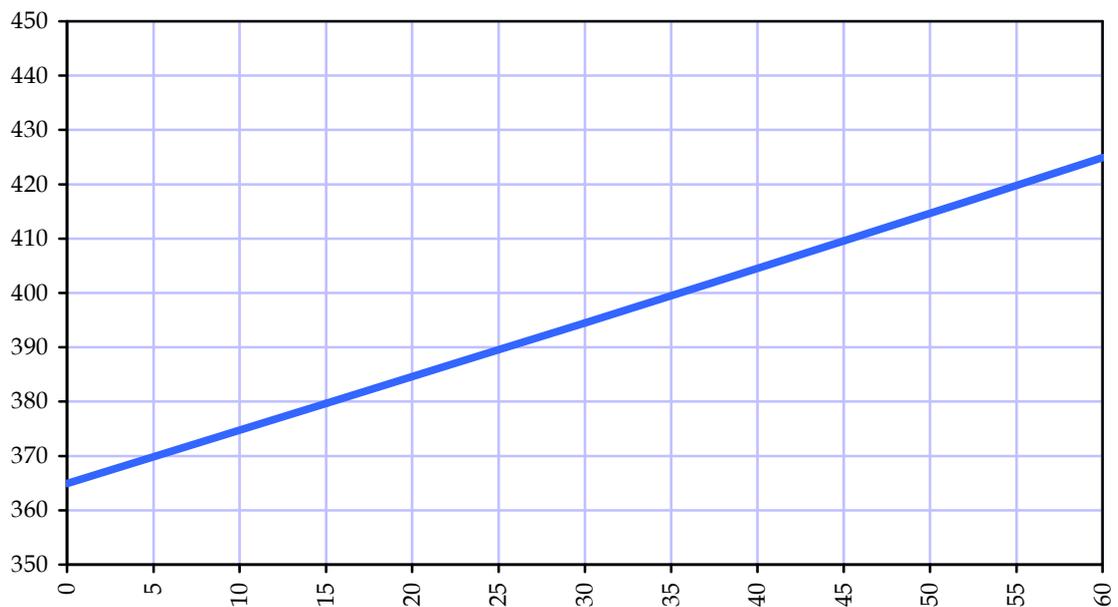


Figura 10. Desembalses anuales de referencia según la demanda de abastecimiento (hm³/año)

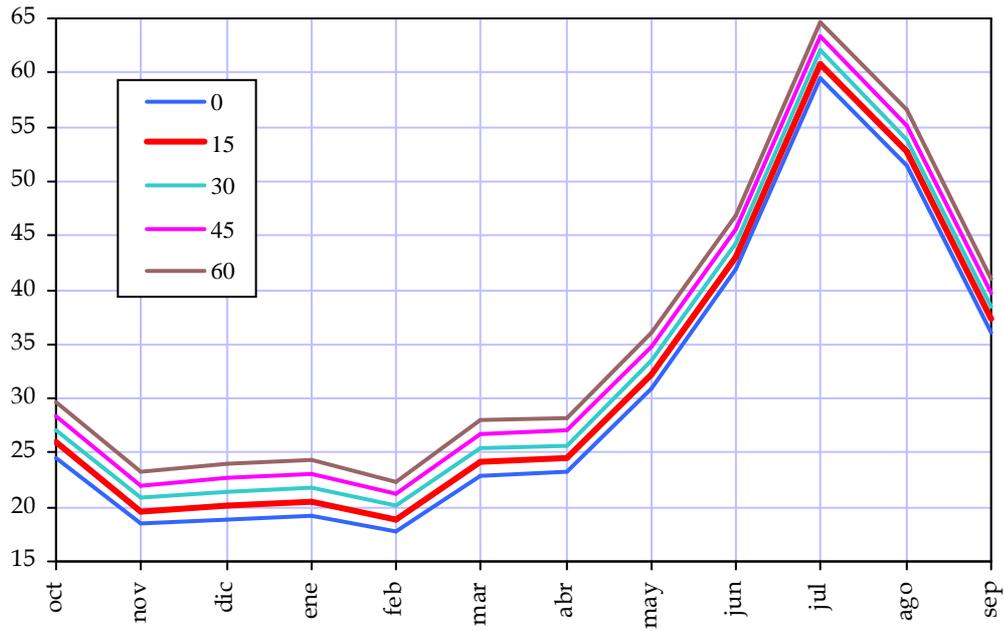


Figura 11. Desembalses mensuales requeridos según la demanda anual de abastecimiento (hm^3)

Puede verse que los desembalses anuales requeridos dependen linealmente de la demanda supuesta para el CYII, como era de esperar dado que se trata de una derivación continua y sin retorno al sistema, situada aguas arriba del requerimiento mínimo en Aranjuez. Sus valores oscilan entre 365 y 425 $\text{hm}^3/\text{año}$ y con distribuciones mensuales muy similares, fuertemente estacionales, resultantes del desplazamiento de la demanda mensual sobre la base de los 365 de demanda nula.

Las tablas adjuntas resumen todos estos resultados en caudales instantáneos y en volúmenes totales mensuales.

Situación	DEM	Desembalse de referencia (m^3/s)												TOT
	hm^3	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	hm^3
0%, Inactiva	0	9.2	7.1	7.1	7.2	7.4	8.5	9.0	11.6	16.2	22.2	19.2	13.9	365
25% Act.reducida	15	9.7	7.6	7.5	7.7	7.8	9.0	9.5	12.0	16.6	22.7	19.7	14.4	380
50% Act.media	30	10.1	8.0	8.0	8.1	8.3	9.5	9.9	12.5	17.1	23.1	20.1	14.9	395
75% Act. alta	45	10.6	8.5	8.5	8.6	8.8	10.0	10.4	13.0	17.6	23.6	20.6	15.3	410
100% Act. plena	60	11.1	9.0	9.0	9.1	9.3	10.5	10.9	13.5	18.1	24.1	21.1	15.8	425

Tabla 16. Desembalses mensuales de referencia (m^3/s)

Situación	DEM	Desembalse de referencia (hm^3/mes)												TOT
	hm^3	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	hm^3
0%, Inactiva	0	25	18	19	19	18	23	23	31	42	60	51	36	365
25% Act.reducida	15	26	20	20	21	19	24	25	32	43	61	53	37	380
50% Act.media	30	27	21	21	22	20	25	26	34	44	62	54	39	395
75% Act. alta	45	28	22	23	23	21	27	27	35	46	63	55	40	410
100% Act. plena	60	30	23	24	24	22	28	28	36	47	65	57	41	425

Tabla 17. Desembalses mensuales de referencia (hm^3)

A los efectos del análisis, y por las razones expuestas, es razonable suponer que la concesión CYII no va a estar plenamente activa en el horizonte 2015, pudiendo adoptarse como valor de cálculo un desembalse de 365 hm³/año. Afinando aún más, sería razonable mantener los 425 máximos para la estimación de la reserva, aumentando la seguridad de su fijación ante cualquier eventualidad de desarrollo de la concesión, pero desde el punto de vista de las normas de explotación sería más adecuado utilizar los 365 de base esperables en el horizonte de referencia, al menos hasta la revisión de 2015 o, más razonablemente, de 2021. Si en algún mes fuese necesario movilizar la concesión, el desembalse de referencia se incrementaría igualmente en los volúmenes requeridos sobre esta base, hasta el máximo de 425 correspondiente a la concesión a capacidad completa.

Obviamente, para la aplicación de estos criterios, la serie de captaciones reales mensuales por la toma de la concesión de Valdajos, junto con sus previsiones para los meses futuros, deberá en lo sucesivo ser aportada y considerada en los Informes de la Comisión Central de Explotación.

3.4 CONTRASTE CON LA EVOLUCIÓN OBSERVADA

Por ultimo, es interesante contrastar los resultados obtenidos con la evolución realmente observada de desembalses desde la cabecera con destino al río Tajo.

Para ello, la figura adjunta muestra la evolución histórica de los desembalses anuales de Bolarque desde 1967 hasta hoy. Con trazo rojo se muestran la media desde 1990 y la propuesta de los estudios realizados para las reglas de explotación del vigente Plan del Tajo de 1998 (340 hm³/año, con valor de referencia de 370 hm³/año). Con trazo negro se muestra la revisión de estas cifras ofrecida en el presente documento (desembalses de referencia entre 365 y 425).

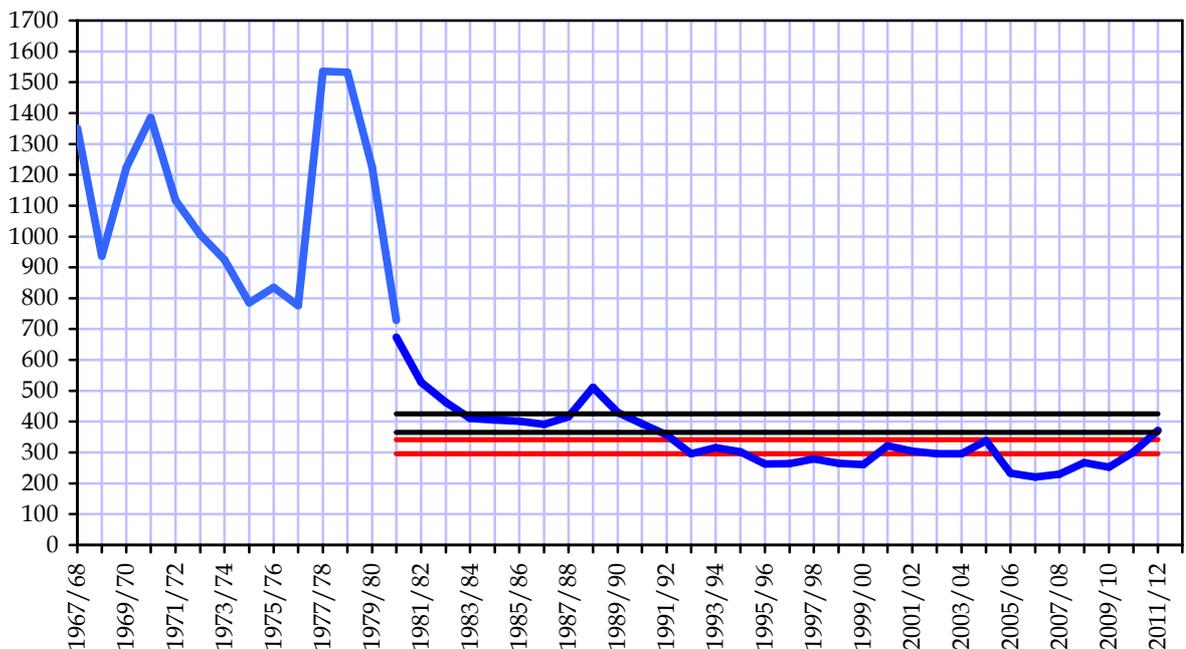


Figura 12. Serie de desembalses anuales de la cabecera del Tajo (hm³/año)

Puede verse que tras los grandes desembalses producidos a finales de los 70, que hicieron vaciar los embalses de cabecera dando lugar a una situación de partida sumamente adversa en

el arranque del trasvase (ver LBAE para una descripción mas detallada de estas circunstancias), los valores se moderan y estabilizan en valores entre 220 y 360, con una media representativa de unos 320 hm³/año.

En los últimos 20 años, con una explotación por parte de la Confederación del Tajo sumamente eficiente y optimizada, la media es de unos 300 hm³/año. Aunque técnicamente no ha de ser así de forma obligada, es interesante constatar que el desembalse de referencia de 365 hm³/año cubre satisfactoriamente toda la reciente historia observada.

Además de estos valores medios anuales, es también interesante observar el comportamiento estacional de los desembalses, mostrado en la figura siguiente. En ella se representan los distintos valores de desembalse desde Bolarque (hm³/mes) realmente producidos en cada uno de los 21 años hidrológicos, y su media en el periodo más reciente 1991-2011 (316 hm³/año), considerado como representativo, junto con el desembalse de referencia básico de 365 hm³/año y el máximo de 425 hm³/año.

Aunque podría no ser así por diferencias en las demandas previstas en el borrador de nuevo Plan respecto a las producidas en el pasado, puede verse que el desembalse básico de referencia recoge bien la realidad de la historia más reciente, envolviendo adecuadamente los otoños, inviernos y veranos, y algo menos los meses primaverales. Con el máximo de 425, la cobertura es prácticamente completa. Si se adopta un margen de variabilidad del 20%, incluso con el desembalse de referencia de 365 quedaría prácticamente todo cubierto. Este buen encaje proporciona una confianza adicional sobre la idoneidad de las hipótesis y estimaciones realizadas.

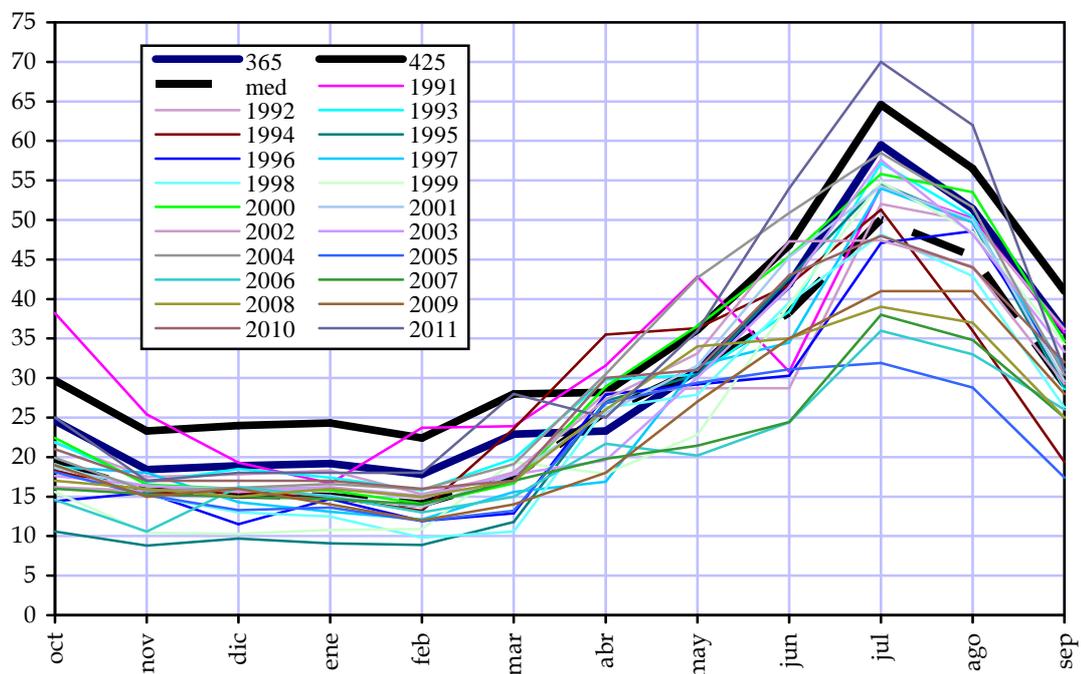


Figura 13. Desembalses mensuales registrados en 1991-2011 y valores de referencia (hm³)

Se observa igualmente que la media histórica del periodo indicado está algo por debajo del desembalse de referencia de 365 (desplazamiento medio de unos 5 hm³) excepto en primavera (abril-mayo) donde son similares. Para apreciar mejor este comportamiento, la figura siguiente muestra las diferencias estacionales entre las series indicadas.

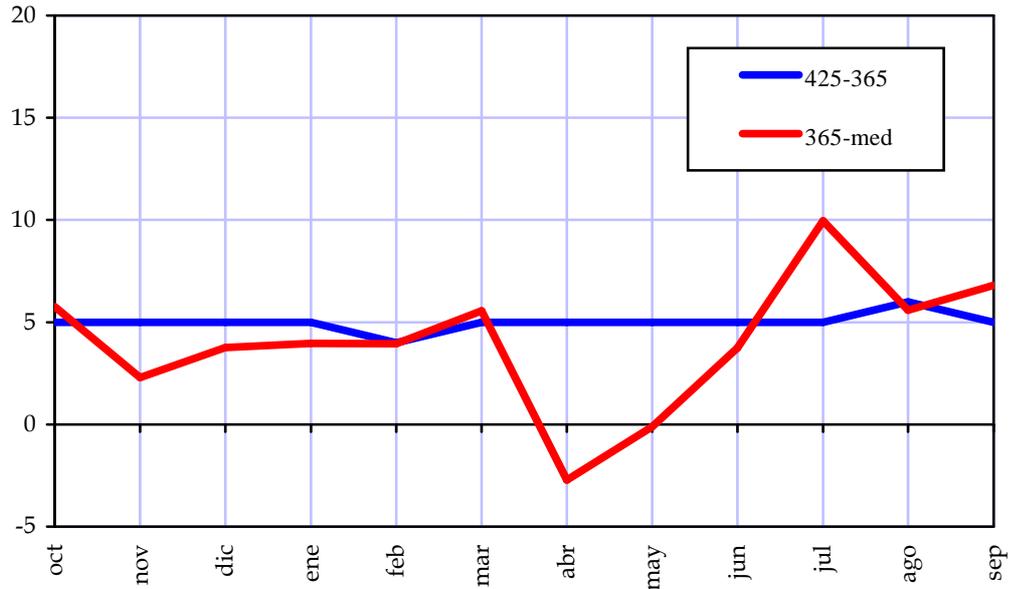


Figura 14. Diferencias en los desembalses mensuales medios y de referencia (hm^3)

A efectos de diseño, puede suponerse que las tres series de desembalse tienen la misma estacionalidad y pueden derivarse de la de referencia de 365 sumando y restando un valor constante de $5 \text{ hm}^3/\text{mes}$.

3.5 CONCLUSIONES

Se han revisado las determinaciones del Plan Hidrológico de 1998 junto con las del borrador de nuevo Plan Hidrológico del Tajo, actualizando los análisis del sistema de recursos hídricos de cabecera desde el punto de vista de los desembalses necesarios para su completa atención.

Con las nuevas demandas previstas, tales desembalses calculados oscilan dentro de la horquilla mostrada en las tablas anteriores. Los valores de esta horquilla, entre 365 y 425 $\text{hm}^3/\text{año}$, dependen del volumen realmente movilizado por la concesión de abastecimiento para el canal de Isabel II, aún no plenamente activa de forma permanente.

Como se ha indicado, y por las razones expuestas, a efectos del cálculo de la reserva podría adoptarse el criterio de desembalse máximo, mientras que para las reglas de explotación cabe proponer el empleo por defecto de la curva correspondiente a concesión inactiva, y añadir hasta $2 \text{ m}^3/\text{s}$ según el nivel de funcionamiento de esta toma en cada caso.

Fijado el desembalse de referencia, éste puede asimilarse a la demanda máxima mensual que es necesario atender desde la cabecera para satisfacer sin limitación alguna todas las necesidades propias del Tajo. Conocida esta demanda, se está en condiciones de calcular el umbral de definición de recursos trasvasables, o reserva necesaria en los embalses de cabecera del Tajo requerida para su completa regulación, que es el siguiente objetivo buscado.

A ello se dedica el capítulo que sigue.

4. CÁLCULO DE LAS RESERVAS DE CABECERA

4.1 INTRODUCCIÓN

Como se ha señalado, en este capítulo se presentan de forma sintética los datos, hipótesis, procedimientos y resultados obtenidos en el análisis de las reservas necesarias en los embalses de cabecera del Tajo para garantizar plenamente la atención de todas sus demandas y requerimientos ambientales.

Esta reserva constituye el umbral bajo el cual no es posible autorizar ningún trasvase, y todas las existencias almacenadas se destinan a asegurar los suministros propios de la cuenca del Tajo, sin ninguna restricción, aún en la peor coyuntura de sequía conocida desde que se dispone de información foronómica de la zona, es decir, en los últimos 100 años. El umbral viene dado, en consecuencia, por la exigencia del cumplimiento de este requisito de aseguramiento de suministros propios del Tajo sin ninguna restricción en ningún momento de toda la historia conocida.

Para determinar este umbral se han empleado tres técnicas distintas: análisis clásico de regulación mediante el algoritmo del pico siguiente extendido (APsx); análisis de regulación mediante técnicas de programación lineal (PL), y análisis de garantías de servicio mediante simulaciones sucesivas con el modelo de explotación de cabecera (SIMS). En todos los casos los cálculos de regulación se realizan a escala mensual y permiten considerar las posibles pérdidas por evaporación en los embalses.

Metodológicamente, una vez determinados en el capítulo anterior los desembalses de referencia necesarios para la atención de las demandas propias, se asimilan tales desembalses a una demanda global agregada que debe atenderse desde Bolarque con garantía del 100%. Para ello se emplean los tres procedimientos indicados de APSx, PL y SIMS, realizando además distintos análisis de sensibilidad para contrastar la robustez de los resultados obtenidos.

Ya se ha apuntado que así como para la previsión del desembalse de referencia para explotación es razonable suponer distintas posibilidades según la demanda realmente existente en cada caso, para fijar la reserva es razonable utilizar los valores concesionales máximos, sin reducciones. Ello proporciona resultados seguros y estables, independientes de la coyuntura, y válidos a largo plazo, hasta que las condiciones de la cabecera se modifiquen de forma sustancial respecto a las actuales.

Este capítulo concluirá con la definición de la reserva de existencias no trasvasables, o umbral de definición de recursos excedentarios. En capítulos posteriores se calcularán los niveles definatorios de las condiciones hidrológicas excepcionales y se ejecutará el modelo completo del sistema incluyendo también las demandas de trasvase, sometidas a sus limitaciones de umbrales y reglas de explotación, determinando las posibilidades de utilización del ATS según las hipótesis y criterios adoptados.

4.2 RESERVA CALCULADA MEDIANTE APSX

Conocida la demanda mensual a atender, las aportaciones mensuales al embalse, y las evaporaciones mensuales unitarias medias, se puede calcular el umbral de definición de

recursos no trasvasables (embalse necesario para la plena satisfacción de la demanda asociada a la cabecera del Tajo) por aplicación de la técnica clásica del algoritmo del pico siguiente, aplicado a escala mensual, y extendido para soportar pérdidas por evaporación y embalse muerto (método APSx).

Como serie de cálculo se utiliza la mensual de 100 años de la CHT sin restituir (asimiladas a las entradas netas al embalse), y como evaporaciones estacionales las propuestas anteriormente para los embalses de cabecera. Como se verá, en un capítulo posterior, y como análisis de sensibilidad, se repetirán los análisis utilizando series sintéticas.

El resultado proporcionado por este algoritmo para la serie histórica es de una necesidad de almacenamiento de 300.9 hm^3 , con periodo crítico extendido desde 1994.04 hasta 1995.11 (sequía de mediados de los 90).

Si en lugar de esta serie se emplea la de SIMPA desde 1940 a 2010 (70 años completos), entonces la reserva pasa a ser de 268 hm^3 , con periodo crítico entre 1950.04 y 1950.11. Esta reserva es sensiblemente inferior y sus periodos críticos no son los mismos, lo que alerta sobre la necesidad de contrastar las series empleadas, máxime en este tipo de análisis en los que resultan determinantes no las condiciones hidrológicas medias sino las rachas de sequías más desfavorables. Dado que la entrada neta presenta mayor fiabilidad, se empleará como serie de referencia para el cálculo de la reserva.

Si se toma la serie de entradas netas y se supone que la concesión del CYII no estará plenamente desarrollada en 2015, y su consumo máximo es de unos $30 \text{ hm}^3/\text{año}$, entonces la reserva se reduce a unos 260 hm^3 .

En el otro extremo, suponiendo una situación pésima en la que todas las aportaciones intermedias son nulas en los 100 años (supuesto claramente irreal y analizado solo a efectos ilustrativos), entonces el desembalse de referencia sería de unos 435 hm^3 , y la reserva necesaria se elevaría a 318 hm^3 por lo que ésta parece una cota superior del valor buscado, en este supuesto irreal más desfavorable.

Como puede verse, siguiendo los criterios expuestos las cifras no se acercan en ningún caso a los 400 previstos en el borrador de Plan, y su fundamentación ha de basarse en otras consideraciones diferentes de las expuestas hasta ahora. El cálculo de 400 por suma de los 240 actuales más 160 correspondientes a asegurar los consumos de 2 años de los $80 \text{ hm}^3/\text{año}$ requeridos por las nuevas demandas de abastecimiento (pág. 53 del borrador de la Memoria del Plan) es manifiestamente erróneo, y no merece mayor consideración.

En definitiva, el método APSx conduce a proponer un valor de referencia de 301 hm^3 como reserva necesaria en cabecera para asegurar plenamente las demandas propias asociadas a cabecera del Tajo. Bajo hipótesis muy desfavorables, esta cifra podría llegar a 320 hm^3 .

4.3 RESERVA CALCULADA MEDIANTE PL

De forma alternativa al APSx, se ha resuelto el mismo problema pero empleando la técnica de optimización mediante programación lineal utilizando el algoritmo simplex. Las variables del problema son las existencias embalsadas cada mes, los vertidos y los 12 volúmenes mensuales requeridos, la función objetivo es la minimización de la suma de los 12 volúmenes mensuales requeridos, con algunos refinamientos adicionales, y las restricciones son las de continuidad y límites mínimo y máximo admisibles para los volúmenes embalsados.

Las evaporaciones se introducen en la programación lineal de forma iterativa, siguiendo una técnica similar a la del APSx y los modelos de optimización y simulación de sistemas.

Ejecutando el cálculo con el desembalse de referencia de 425 hm³/año y la serie de 100 años sin restituir se obtiene, como cabía esperar, exactamente el mismo resultado de reservas que con el método APSx, es decir, 300.9 hm³. Además, esta técnica permite obtener no solo el máximo sino también los valores estacionales de reserva, que oscilan entre un mínimo de 239 hm³ en septiembre y el máximo de 301 en abril. La tabla y figura adjuntas muestran esa distribución estacional de reservas necesarias a finales de cada mes, con meseta máxima en abril-mayo y mínima en agosto-septiembre.

OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
239	248	258	268	276	285	293	301	299	282	262	244

Tabla 18. Existencias a comienzos de mes definitorias de la reserva mínima

Nótese que esta modulación es la esperable dado que en primavera se tienen por delante los meses con mayores consumos y las menores aportaciones, lo que conlleva las mayores necesidades de reserva inicial. Lo contrario sucede a finales del año hidrológico, requiriéndose las mínimas reservas.

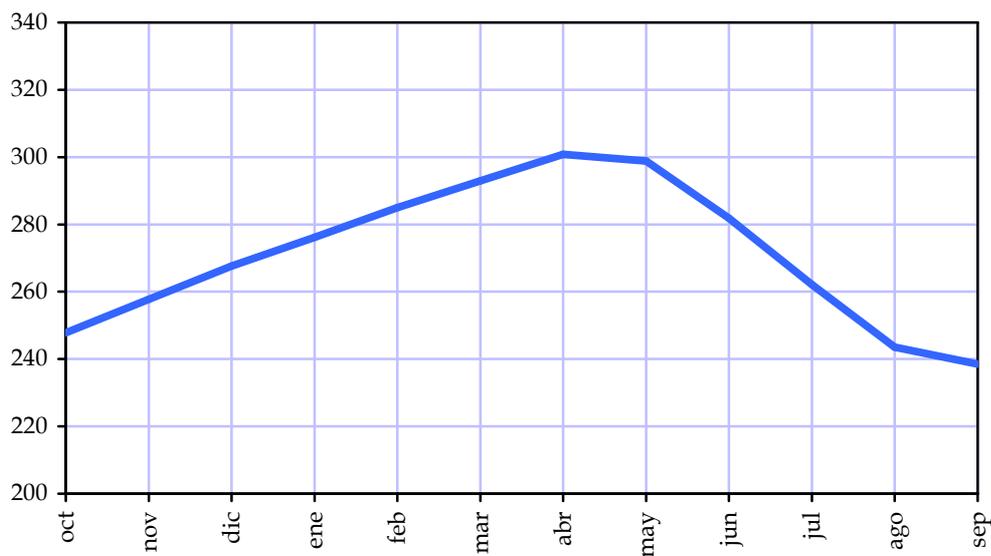


Figura 15. Reservas mensuales requeridas (hm³)

Estos resultados no solo confirman plenamente los anteriores sino que permitirían, en su caso, modular la reserva mensual de forma que no sea constante todo el año, igual que se hace en la regla de explotación vigente con las condiciones hidrológicas excepcionales para la remisión de la decisión a Consejo de Ministros. Hacerla constante e igual al máximo supone un cierto elemento adicional de seguridad, un margen estacionalmente variable por encima del valor estrictamente necesario, que podría en su caso llegar a movilizarse sin causar perjuicio alguno a los usos propios del Tajo.

En efecto, la diferencia entre las existencias embalsadas en un mes y los valores de esta curva sería el margen de seguridad con el que realmente se cuenta para trasvasar, sin riesgo alguno

de afectar a la cuenca del Tajo, incluso si la nueva concesión CYII se encontrase plenamente operativa.

4.4 RESERVA CALCULADA MEDIANTE SIMULACIONES ITERADAS

Además de los dos métodos anteriores, que proporcionan el resultado buscado de forma directa, se ha empleado también la técnica de iterar el lanzamiento del modelo de simulación haciendo variar la capacidad de Entrepeñas y Buendía entre 260 y 500 hm³, de 1 en 1 hm³.

La ejecución de estas 240 iteraciones muestra que todas las demandas asociadas a la cabecera del Tajo y su caudal ecológico en Aranjuez se satisfacen con garantías del 100% cuando se alcanza el valor de 303 hm³ de embalse (entre 296 y 303 por efectos de redondeo en las centésimas de las garantías), confirmando de nuevo los mismos resultados obtenidos por los otros procedimientos.

Las iteraciones realizadas permiten además obtener, como resultado adicional de interés, las curvas de garantía mensual, anual y volumétrica de las demandas del Tajo para distintos supuestos de reserva (hm³). Los resultados son los mostrados en la figura.

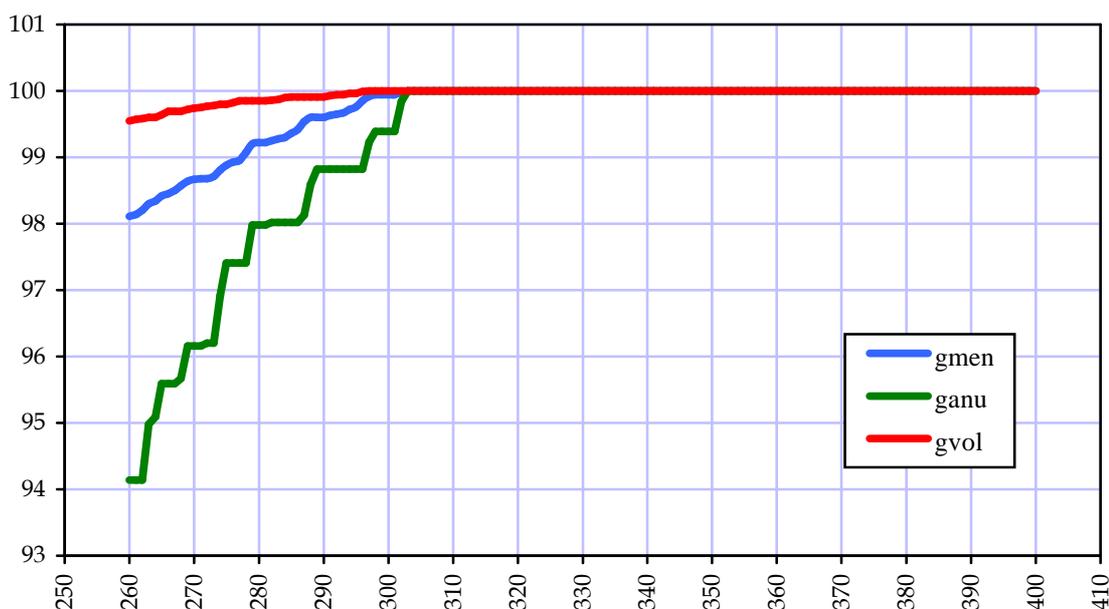


Figura 16. Garantías conjuntas del Tajo según la reserva de cabecera

Puede verse que la garantía anual crece progresivamente desde el 94%, la mensual desde el 98%, y la volumétrica desde el 99.6%, llegando todas al 100% (con 2 decimales exactos) para valores de la reserva de 303 hm³.

Además, y como análisis de sensibilidad complementario, se han realizado simulaciones adicionales como las de reducir los consumos de la concesión CYII a 30 y 10 hm³/año en 2015, obteniéndose valores para la reserva de 259 y 249 hm³ respectivamente. Si se suponen nulas todas las aportaciones intermedias, ambos valores se elevan a 290 y 260 hm³ respectivamente. Esto da una idea del apreciable margen de seguridad con que se cuenta.

Otra simulación interesante es la del efecto de una cesión de derechos de regadío de 30 hm³/año. Puede comprobarse que ello reduciría la reserva necesaria a 246 hm³. Una modernización de regadíos de ese orden de magnitud arrojaría similares resultados.

Ha de recordarse que estas reservas son las necesarias para alcanzar una garantía absoluta temporal y volumétrica del 100% para todas las unidades de demanda asociadas a la cabecera del Tajo. Como se aprecia en el gráfico mostrado, las curvas de garantía, y en especial la volumétrica, que es la más indicativa, son muy tendidas, lo que se traduce en que asumir muy pequeños reajustes temporales de suministro, inapreciables en la práctica, permitiría reducir sensiblemente los 303 hm³ de referencia.

Por ejemplo, si se acepta como objetivo cumplir plenamente los criterios estándares de garantía, en lugar del 100% absoluto, entonces la reserva requerida se reduce a 222 hm³.

Todo ello nos informa nuevamente del margen de seguridad con el que se cuenta para cumplir el objetivo de garantizar las demandas previstas en el borrador del Plan.

4.5 SENSIBILIDAD DE LA RESERVA A LOS CAUDALES MÍNIMOS

Otro análisis adicional de interés singular es el de la sensibilidad de la reserva a la especificación de caudales mínimos en Aranjuez.

Para su realización, se reejecutan los cálculos anteriores mediante simulaciones iteradas pero haciendo variable ahora no solo el volumen de almacenamiento necesario en cabecera, sino también este caudal mínimo desde los 6 actuales hasta 13 m³/s.

Los resultados obtenidos se muestran en la figura adjunta, en la que se representan las garantías conjuntas de cabecera del Tajo, mensuales y volumétricas, para diferentes niveles de caudal mínimo (abscisas) y de embalse disponible (ordenadas).

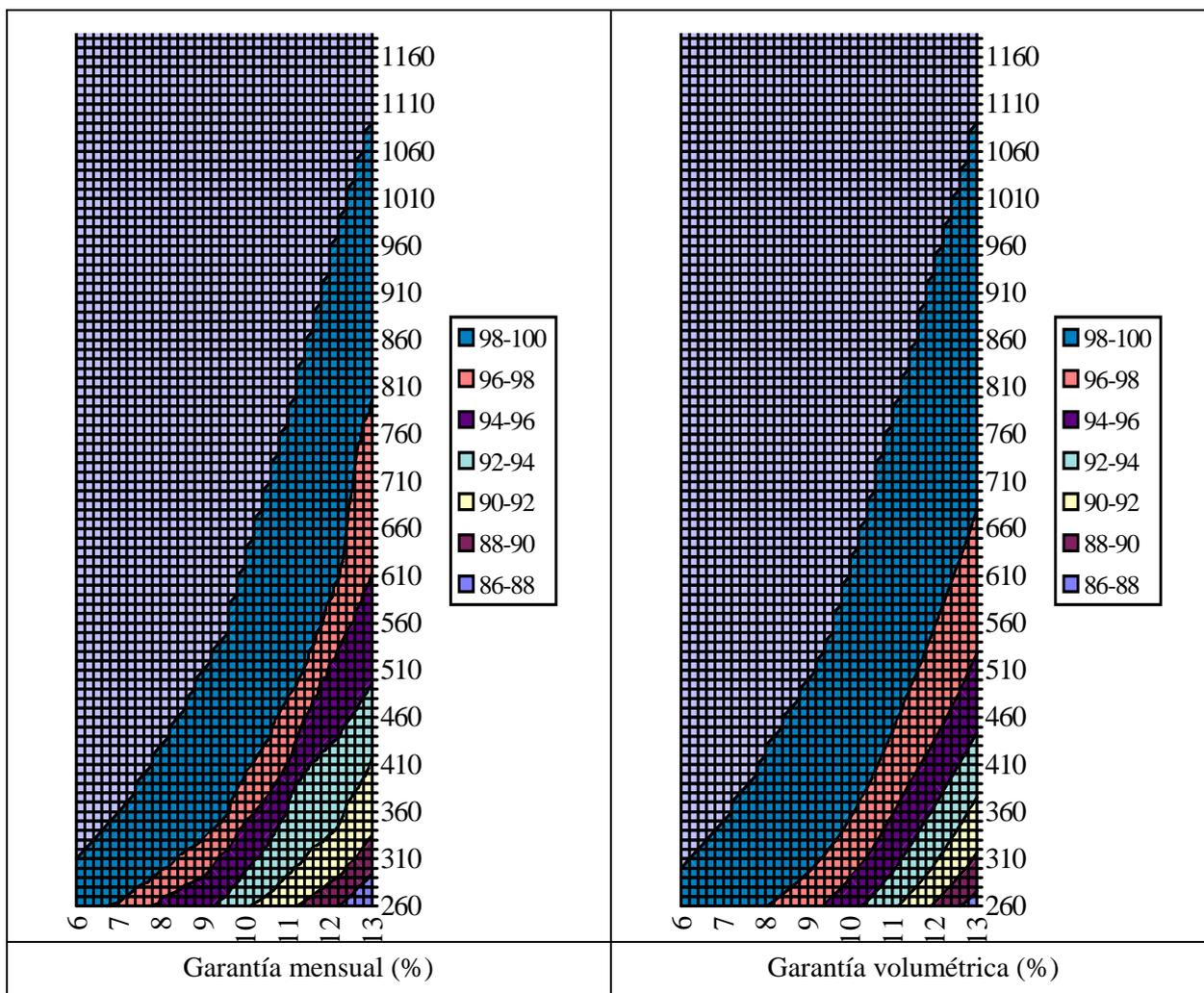


Figura 17. Garantías conjuntas del Tajo según la reserva de cabecera y el mínimo en Aranjuez

Puede verse que el efecto del caudal mínimo en Aranjuez sobre la reserva es muy significativo. Si se eleva de los 6 m³/s actuales hasta 8 m³/s, ni siquiera la reserva de 400 permite satisfacer las demandas del Tajo con garantía volumétrica del 100%. Para caudales del orden de 11 m³/s, la reserva se eleva a 780 hm³, y para 13 m³/s se requieren 1100 hm³.

Similares resultados se obtienen si en lugar de la garantía volumétrica se emplean la mensual o la anual.

En consecuencia, y sin entrar a valorar la idoneidad de estas cifras, puede afirmarse que no hay concordancia técnica entre especificar para el futuro mínimos medios en Aranjuez de 10.86 m³/s, como se apunta en los Anexos del borrador, y la reserva propuesta de 400 hm³. Ambos criterios son técnicamente incompatibles, debiendo resolverse esta discordancia en futuras revisiones del Plan.

4.6 CONCLUSIONES

Las determinaciones técnicas mostradas y los análisis de sensibilidad realizados permiten concluir que, con los supuestos del borrador de Normativa del Plan, 303 hm³ es una reserva segura y robusta, siendo razonable plantearla como nuevo valor actualizado, sustitutivo de los 240 actualmente vigentes. Los 400 hm³ contemplados en el borrador suponen un margen de

seguridad adicional muy importante y que no se justifica por meras condiciones hidrológicas de aseguramiento de las demandas de cabecera del Tajo. Como se verá, en un posterior capítulo se contrasta adicionalmente este resultado mediante el empleo de series sintéticas.

Adoptando hipótesis extremas y poco realistas, los valores máximos que se podrían alcanzar son del orden de 320 hm³, no habiéndose obtenido en ningún caso magnitudes superiores a éstas.

Se ha analizado igualmente el efecto de la sensibilidad de las reservas a la especificación de caudal mínimo en Aranjuez, comprobándose que una elevación de este mínimo, incluso relativamente reducida, da lugar a incrementos significativos de las mismas. Así, con 400 hm³ de reserva apenas podría elevarse hasta los 7.8 m³/s, y para llegar a los 11 señalados en el ETI se requerirían casi 800 hm³ mínimos en cabecera, mucho más de los 400 prescritos. Hay, por tanto una inconsistencia técnica entre ambas cifras que debe ser subsanada.

Con los criterios del borrador de Normativa del Plan, para llegar a magnitudes de reserva del orden de 400 hm³ se requiere introducir unas nuevas exigencias a la cabecera que no están contempladas en el actual borrador del Plan, pero cuyo planteamiento resulta razonable para su consideración en el futuro (p.e. en la próxima revisión del mismo prevista para el año 2015 o, más razonablemente dado el muy escaso margen de tiempo disponible y la conveniencia de disponer de criterios generales consolidados al respecto, en la de 2021). Estas nuevas exigencias pueden suponer una mejora ambiental mucho más relevante y significativa que la mera elevación en algún m³/s de los caudales mínimos circulantes, pese a que este valor mínimo ha sido el centro de todas las prevenciones ambientales planteadas hasta el momento.

Al análisis de estas posibles nuevas exigencias se dedica el siguiente capítulo.

5. MEJORAS AMBIENTALES EN CABECERA DEL TAJO

5.1 INTRODUCCIÓN

En el capítulo anterior se mostraron con detalle las hipótesis, cálculos y resultados obtenidos en el análisis de desembalses de referencia y reservas necesarias en los embalses de cabecera del Tajo con el criterio de garantizar plenamente la atención de todas sus demandas y requerimientos ambientales asociados, según lo prescrito en el borrador de Normativa del Plan Hidrológico del Tajo, obteniéndose valores del orden de los 300 hm³.

Determinada la reserva con ese criterio, en este capítulo se analizan diferentes posibilidades de mejora ambiental en cabecera del Tajo relativa a los regímenes de caudales ambientales previstos en los borradores del Plan. De llevarse a cabo, estas mejoras ambientales supondrían un aumento de la reserva no trasvasable que también se evalúa en este Informe.

Las mejoras ambientales sugeridas se centran en dos cuestiones importantes: el régimen de caudales en Aranjuez, representativo de la situación en el tramo desde Bolarque hasta el Jarama, y los caudales circulantes por el Tajo en Toledo y Talavera de la Reina, con ocasionales episodios de reducción a niveles inadmisibles.

Para materializar estas mejoras se dispondría una nueva reserva ambiental desde cabecera con el doble objetivo de proporcionar caudales adicionales generadores en todo el tramo desde Bolarque, y de contribuir puntualmente en su caso a los problemas de Toledo y Talavera en los momentos críticos.

El principio que inspira este planteamiento es el de que resulta razonable y conveniente prever una contribución desde la cabecera para atender problemas ambientales tanto en la propia cabecera como en el resto del río, aguas abajo de Aranjuez, con una contribución bien definida y planificada, que impida la incertidumbre, ambigüedad e inseguridad que un planteamiento abierto e inconcreto podría acarrear.

Tan irracional es suponer que, siguiendo la tradicional concepción histórica, la cabecera del Tajo es un sistema aislado y cerrado que se agota por completo en la especificación de unos caudales mínimos de frontera en Aranjuez, como si no existiera río aguas abajo, como la posición contraria de suponer que la cabecera es una fuente ilimitada de recursos disponibles para el Tajo, a la que cabe cargar todos los nuevos desarrollos en la cuenca –e incluso fuera de ella como en el Guadiana- sea cual sea su naturaleza y el lugar donde se producen, e ignorando tanto la existencia de una realidad fecunda y consolidada como es la derivada del trasvase, como las ya aludidas características hidrológicas de la cuenca del Tajo, con un singular régimen hidroclimático que da lugar a importantísimas aportaciones, mucho mayores que las de cabecera, en afluentes que se incorporan al río aguas abajo de la misma.

Desde el punto de vista de las transferencias existentes, la consideración de la cuenca del Tajo como prioritaria, recogida en toda la normativa y pacíficamente admitida desde siempre, no puede significar ignorancia o inexistencia de las no prioritarias (Segura, Guadiana y Cuenca Mediterránea Andaluza), y la lógica disposición preferente de los recursos necesarios para el propio desarrollo natural no puede convertirse en un mecanismo de menoscabo tácito, indiferencia o incluso hostilidad hacia las áreas receptoras.

De igual modo, y de forma simétrica, la perentoria necesidad de agua en el sureste no puede cegar a esas zonas receptoras respecto a los problemas de unos territorios de origen cuyo suministro actual y futuro ha de estar asegurado, y cuyas condiciones socioeconómicas y ambientales deben ser mantenidas y mejoradas.

Es la armónica compatibilidad de ambas perspectivas dentro de un proyecto equilibrado común y participativo, que debe incluir además integrada y cooperativamente la parte portuguesa de la cuenca, el único camino posible, y es obligación de todas las Administraciones públicas perfilar e impulsar esta visión compartida en lugar de, como lamentablemente ha sucedido con frecuencia, propiciar enfrentamientos ficticios enarbolando locales banderías.

Siguiendo esta línea de razonamiento en el caso que nos ocupa, y admitida la necesaria satisfacción plena y prioritaria de todas las demandas de cabecera, es obvio que esta cabecera está relacionada con el resto del río y es razonable que contribuya a su buen estado más allá del mínimo legal en Aranjuez, pero esta contribución no puede ser indeterminada y discrecional, sino que debe ser debidamente motivada y tasada, basada en hechos contrastados, considerando el comportamiento hidrológico del río, y conjugando todos los intereses en juego siempre bajo la perspectiva del interés general.

Para evaluar en términos objetivos esta posible mejora ambiental, y partiendo de los datos diarios de niveles-caudales en las estaciones de aforo y existencias-salidas en los embalses, ambos publicados en los Anuarios de Aforos, en los epígrafes que siguen se desarrolla la idea y se analiza su efecto sobre el conjunto del sistema de recursos hídricos asociado a la cabecera del Tajo.

5.2 ANÁLISIS DE CAUDALES

Para los análisis que siguen se consideran los caudales circulantes en los puntos de Aranjuez y Talavera de la Reina. El primero es representativo de los flujos en el río Tajo aguas abajo de los embalses de cabecera, hasta la confluencia con el Jarama, mientras que el segundo es representativo de una zona sensible desde el punto de vista de los caudales mínimos, dado que presenta ocasionalmente episodios de reducción de flujo hasta niveles inaceptables, dando lugar a una situación indeseable y que debe ser resuelta.

5.2.1 Caudales en Aranjuez

5.2.1.1 Series registradas

La estación de aforos disponible en la zona es la de Aranjuez (código 3011), con tres periodos con datos: uno inicial desde 1912 a 1929, que puede considerarse representativo de las condiciones cuasi-naturales del río (no hay embalses significativos aguas arriba y los aprovechamientos están poco desarrollados), otro en el periodo 1954-1960, en el que se mantienen las condiciones cuasi-naturales pero ya se empieza a notar el efecto de los embalses de Entrepeñas y Buendía, que entraron en explotación entonces, y un último periodo desde 1960 a 1985 en el que la alteración del régimen es claramente perceptible y no se puede considerar representativo del flujo natural.

La figura muestra los caudales diarios en el primer periodo con datos, representativo del régimen poco alterado del río. Puede verse que existe una cierta regularidad, con mínimos estivales entre 2 y 8 m³/s producidos usualmente en agosto y septiembre (descargas de agotamiento de acuíferos, antes de que comiencen las lluvias de otoño), y puntas entre 60 y 140 m³/s, más variables en sus meses de presentación.

El caudal medio circulante es de 24 m³/s (755 hm³/año), con mediana de 15.4, lo que revela la fuerte asimetría de los datos (coeficiente de sesgo 2).

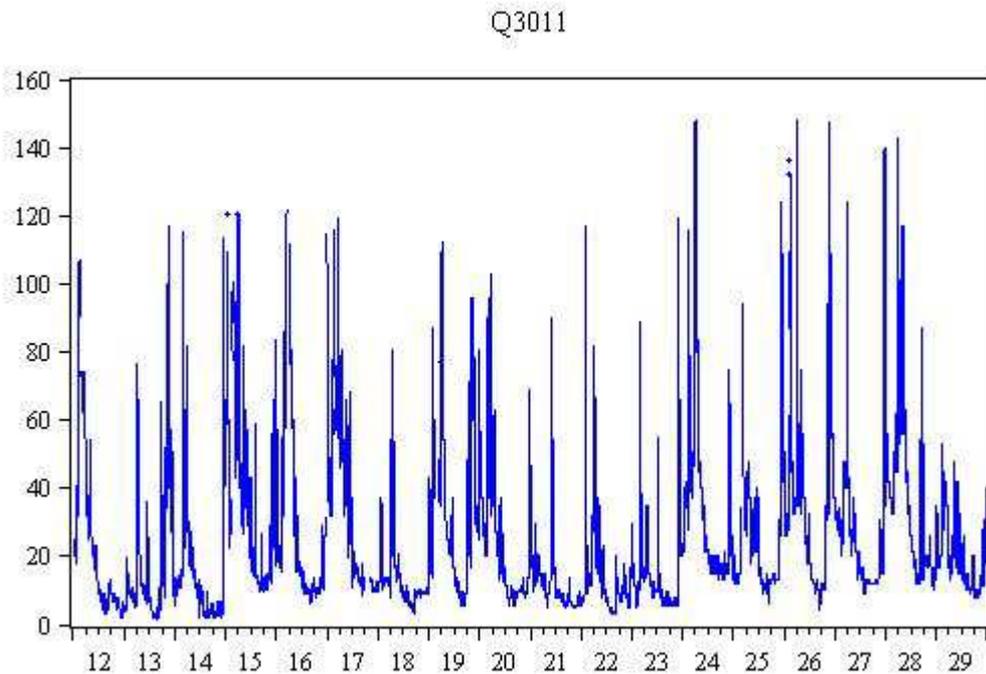


Figura 18. Caudales diarios en Aranjuez (3011), periodo 1912-1929

En el segundo periodo, 1954-1960, los caudales son los mostrados en la figura. Se observa que los mínimos oscilan entre 3 y 8 m³/s, y se producen puntas similares a las anteriores, entre 60 y 120 m³/s, pero con una alteración del régimen ya claramente perceptible, propia de la situación de transición que en aquellos años se estaba experimentando.

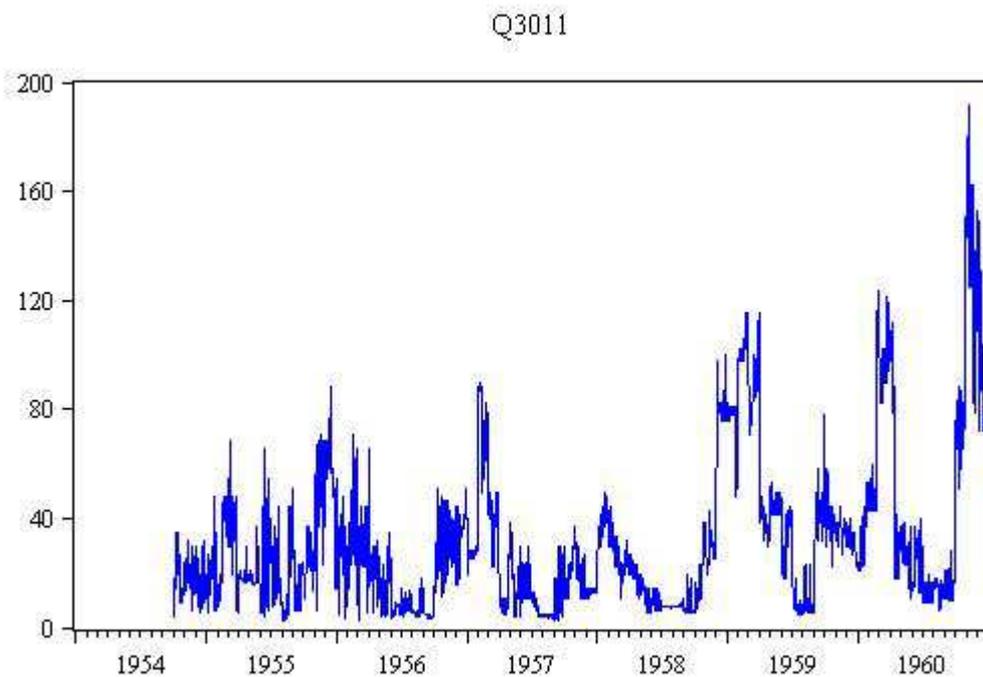


Figura 19. Caudales diarios en Aranuez (3011), periodo 1954-1960

El efecto de la alteración de caudales ya es plenamente manifiesto en el periodo siguiente, mostrado en la figura, en el que el patrón estacional queda desdibujado por el efecto de la regulación y las puntas se han reducido a valores entre 50 y 100 m³/s, generadas básicamente por los aportes intermedios en el tramo desde Bolarque a Aranuez y posibles turbinaciones. Desde 1980, en que entra en explotación el trasvase Tajo-Segura los caudales mínimos se mantienen en valores similares a los observados anteriormente, pero hay un efecto muy significativo de reducción de puntas, que quedan prácticamente suprimidas no llegando a superar los 25 m³/s.

En nuestra opinión, y a la vista de lo expuesto, es claro que siguiendo el paradigma del régimen fluvial natural, la mejora de las condiciones ambientales del Tajo en el tramo desde Bolarque hasta Aranuez no vendría dada tanto por el aumento de los caudales mínimos actualmente vigentes (similares e incluso superiores a los mínimos producidos en régimen natural), sino por la introducción de caudales generadores adicionales que permitan reproducir las condiciones de las crecidas naturales ordinarias, saneando las riberas fluviales del tramo y facilitando el transporte de sedimentos y otros materiales aguas abajo. Estos caudales generadores se producirían mediante desembalses programados desde cabecera concentrados en muy poco tiempo y con puntas del orden de magnitud de las observadas históricamente (media diaria de unos 80 m³/s).

El diseño y propuesta de estos hidrogramas de crecidas anuales –tasas de crecimiento y decrecimiento, puntas y sus magnitudes, época de realización, etc.-, así como su ejecución y seguimiento corresponderían en su caso a la Confederación Hidrográfica del Tajo, debiendo en todo caso ser previamente autorizados por la Comisión Central de Explotación del Acueducto.

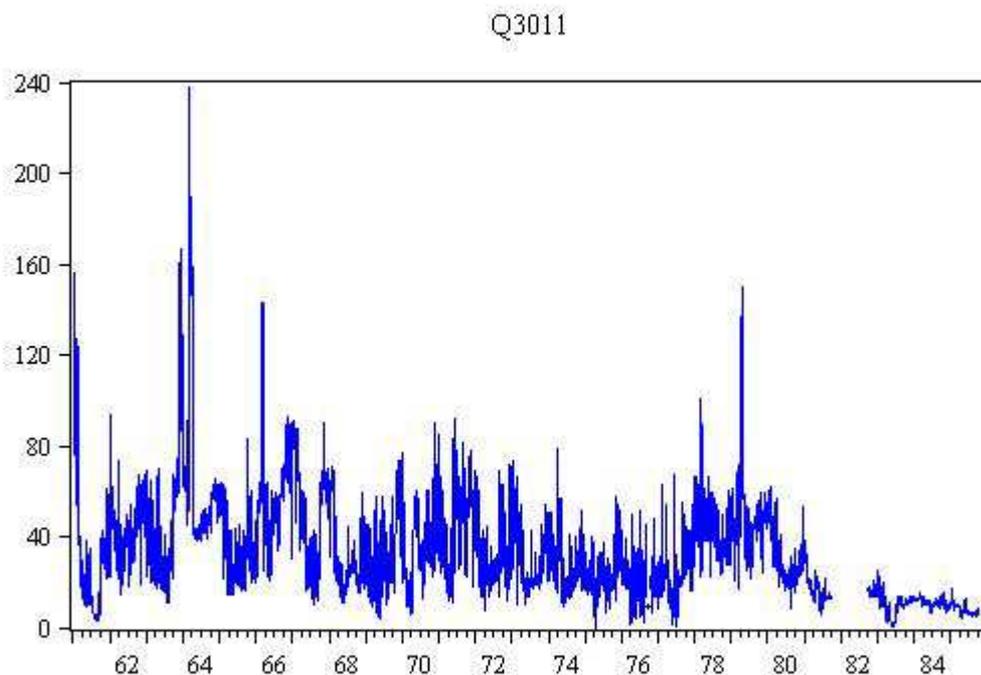


Figura 20. Caudales diarios en Aranjuez (3011), periodo 1961-1985

Abundando en esta idea de la importancia de las crecidas ordinarias más que de la elevación de los mínimos permanentes, se ha realizado un experimento consistente en verificar el cumplimiento del régimen de mínimos aumentados sugeridos en el ETI del Tajo y algunos borradores complementarios (variación trimestral con media en Aranjuez de $10.86 \text{ m}^3/\text{s}$), siguiendo los criterios del art.14.1 del borrador de Normativa del Plan.

Puede comprobarse que, sorprendentemente, el río en régimen natural no cumple el régimen de caudales mínimos previsto, lo que resulta conceptualmente aberrante y contraviene el art.14.3 (los caudales mínimos ecológicos no pueden ser mayores que los del régimen natural). Se trata de una anomalía técnica indicativa de un problema metodológico en los cálculos realizados, que probablemente suceda también en otras estaciones u otras cuencas, y que debiera ser resuelto antes de apuntar nuevos valores en las futuras revisiones de la planificación hidrológica.

No es éste el lugar para indagar tal problema metodológico, pero probablemente resida en el empleo inicial de las series mensuales SIMPA desagregadas a datos diarios, lo que da lugar a una serie de problemas que no han sido resueltos de forma satisfactoria. Hay que recordar que SIMPA es un modelo general que busca reproducir razonablemente las series completas sin especial consideración de los estiajes, que son precisamente los periodos críticos en los análisis de caudales mínimos. Además, en el caso de la cabecera parece proporcionar, como se vio, valores algo superiores a los históricos, incrementando así los mínimos de las series. A ello se suma el que la desagregación con estaciones de referencia plantea incertidumbres respecto a su elección, ponderación, etc. que pueden alterar sensiblemente los resultados. Se trata, en definitiva, de una cuestión no resuelta y que habrá que abordar en el próximo futuro.

En la estación de Aranjuez, si se adopta el periodo 1912-1929, que es el más representativo de las condiciones naturales, el déficit sobre el régimen de caudales ambientales alcanza el 28%, con un 16% de incumplimientos del art.14.

Si se adopta el periodo 1954-1960, los porcentajes anteriores son del 25 y 19% respectivamente. Con todos los datos hasta 1960 (régimen poco alterado) serían del 27 y 17%, y si se utiliza la serie completa disponible serían del 18 y 11%.

Es obvio que si no se cumple el régimen en Aranjuez, menos aún se cumplirá en Almodovar, que está aguas arriba, y para donde se ha sugerido en estos borradores un régimen similar.

Por último, aunque no directamente relacionado con el régimen de flujos en Aranjuez, que es el objeto de este análisis, es interesante contrastarlo con lo que sucede en el río Tajo inmediatamente aguas abajo, tras la confluencia con el Jarama.

Para ilustrar el efecto determinante de esta incorporación del Jarama, se han extraído los datos de la siguiente estación en el curso del río Tajo, La Flamenca (3023), aguas abajo de la confluencia. Su registro diario, con datos en el periodo 1912-1931, es el mostrado en la figura y puede suponerse representativo de condiciones muy poco alteradas.

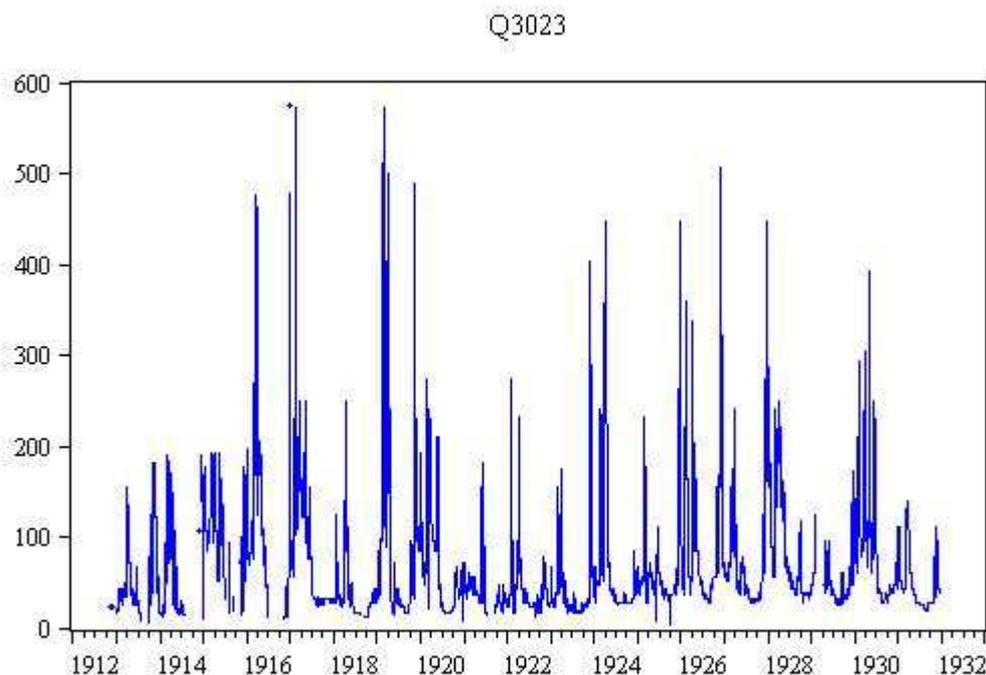


Figura 21. Caudales diarios en La Flamenca (3023), periodo 1912-1931

Se observa que los caudales han aumentado de forma muy significativa, con una media diaria de $67.33 \text{ m}^3/\text{s}$, equivalentes a $2123 \text{ hm}^3/\text{año}$, lo que supone casi triplicar el caudal circulante por Aranjuez. Ello revela la influencia determinante del río Jarama (2/3-1/3) sobre el caudal fluvial total del Tajo desde este punto.

El efecto se produce tanto en los mínimos, ahora entre 5 y $25 \text{ m}^3/\text{s}$, como en las puntas, que alcanzan con frecuencia los $400 \text{ m}^3/\text{s}$, netamente superiores a las de Aranjuez.

La llegada del Jarama supone, en definitiva, una alteración sustancial de los flujos del Tajo en Aranjuez, que se ven prácticamente triplicados en sus cuantías medias, modificándose tanto sus mínimos como sus puntas. A medida que se avanza hacia aguas abajo y se van

incorporando otros afluentes el efecto de desvanecimiento de la influencia de cabecera es cada vez mayor, llegando prácticamente a ser inapreciable a partir del curso medio del río.

En posteriores epígrafes se volverá sobre esta importante cuestión.

5.2.1.2 Caudales generadores

Para el cálculo de los caudales generadores en Aranjuez se utiliza la serie diaria de la estación 3011 en el periodo inicial, 1912-1929, que puede considerarse representativo de las condiciones del régimen natural en este punto.

Los caudales máximos diarios en cada año de la serie oscilan entre 53 y 144 m³/s, con un valor medio de 116 m³/s que podría asimilarse a la crecida ordinaria. Los volúmenes diarios movilizadas por estas crecidas ordinarias son los mostrados en la figura adjunta.

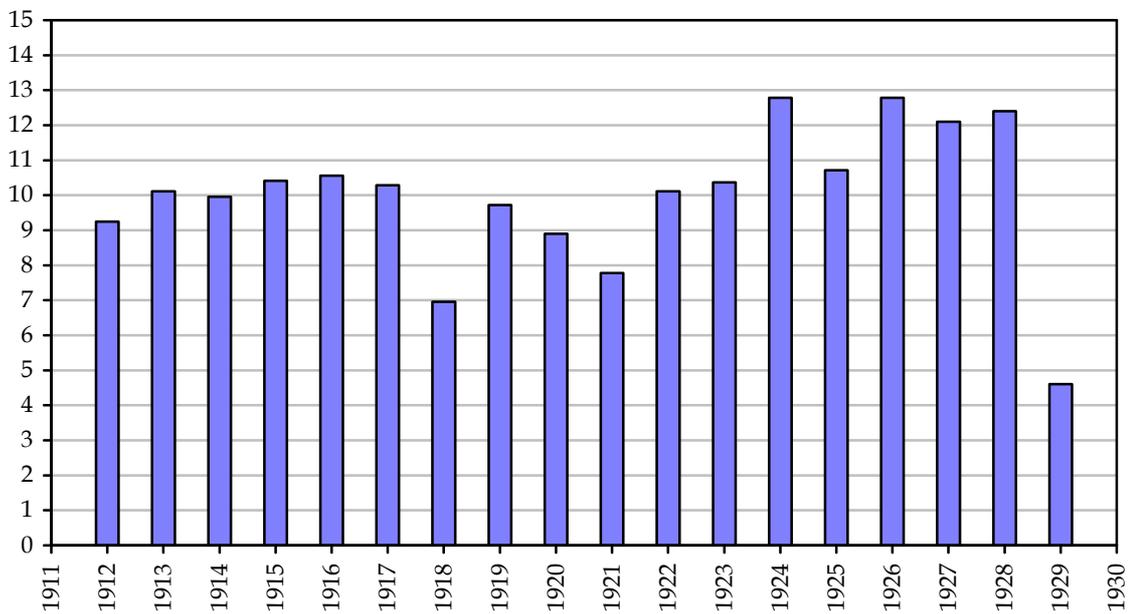


Figura 22. Volúmenes anuales de crecida diaria media en Aranjuez (hm³)

Puede verse que estos volúmenes diarios oscilan entre 5 y 13 hm³, con una media representativa de 10 hm³. Se ha comprobado asimismo que en el periodo 1955-1979 la media se reduce a 9.3 hm³, mientras que a partir de 1980 la media es de unos 3 hm³.

Si a los 10 hm³ obtenidos se les resta la base de 6 m³/s mínima ya asegurada por requerimientos ambientales, el volumen adicional que se requeriría movilizar para estas puntas sería de 9.5 hm³. Se propone, no obstante, adoptar inicialmente 10 hm³ como cifra adicional de referencia, susceptible de ser revisada en el futuro según revele la experiencia de su implantación.

En cuanto a la fecha de producción de las puntas históricas, se observa que predominan las que tienen lugar en primavera (marzo) frente a otras épocas del año.

5.2.1.3 Propuesta de mejora ambiental

Como consecuencia de lo expuesto, se propone una mejora ambiental a considerar en la futura planificación hidrológica del Tajo, y de forma coordinada con los criterios generales que

habrán de fijarse para otras demarcaciones, consistente en un volumen adicional de 10 hm³/año, asimilable a una nueva demanda medioambiental con destino a producir puntas concentradas de caudales generadores para la mejora de las riberas en el tramo fluvial aguas abajo de Bolarque.

A efectos de cálculo esta demanda se concentraría en un solo mes del año que podría ser marzo pero que, de forma conservadora y sin perjuicio del momento más idóneo que finalmente se determine, podría tomarse como el más desfavorable desde el punto de vista de la reserva necesaria para la regulación (julio o agosto).

Como ya se indicado, a partir de este volumen total máximo de 10 hm³, el diseño de la crecida (curvas de ascenso y agotamiento, magnitudes y duraciones de las puntas, etc.) se llevaría a cabo con criterios hidroecológicos por la Confederación Hidrográfica del Tajo, que propondrá a la Comisión Central de Explotación del Acueducto Tajo-Segura tanto las características de la crecida como el momento más adecuado para su suelta y los oportunos procedimientos de monitorización y control.

El volumen anual de 10 hm³ podría asimismo dividirse en más de una crecida al año, y podría también no utilizarse parcial o totalmente en algún año concreto si no se estimase necesario. Esta sería la situación de un año en el que se produjesen de forma natural caudales punta elevados que hiciesen innecesaria la suelta artificial complementaria.

En este caso cabría también introducir dos posibilidades: o bien se acumularía para su utilización el año próximo, o bien sería objeto de cesión a posibles interesados, previa compensación económica al Organismo de cuenca que se destinaría de forma finalista a otras actuaciones y mejoras medioambientales en el Tajo. La acumulación para el año próximo no podrá superar los dos años consecutivos, es decir, el máximo volumen de demanda acumulable por este concepto sería de 20 hm³, pudiendo así diseñarse una crecida única de esta magnitud cada dos años. Asimismo, la compensación económica sería concordante con la tarifa para las aguas trasvasadas vigente en cada momento.

La decisión final sobre todos estos extremos y el control de su cumplimiento correspondería a la Comisión Central de Explotación del Acueducto Tajo-Segura.

De adoptarse el mecanismo sugerido supondría una significativa innovación ambiental en la gestión de los recursos hídricos en España, constituyendo un precedente singular y un banco de experimentación científica para otras actuaciones similares que podrían llevarse a cabo en el futuro.

5.2.2 Caudales en Talavera de la Reina

5.2.2.1 Introducción

La siguiente mejora sugerida es la del apoyo ocasional de los recursos de cabecera para paliar situaciones puntuales de escasez crítica de caudales en Talavera de la Reina.

Como ya se comentó, las características hidrológicas del Tajo hacen que sea técnicamente irracional la pretensión de cubrir todos los posibles déficit de caudal en Talavera con cargo a la cabecera del río. Los caudales desembalsados desde Bolarque quedan rápidamente dominados por los muy superiores del Jarama tras su confluencia, y este efecto se ve

incrementado por los sucesivos y muy importantes aportes de afluentes, regulaciones y derivaciones aguas abajo hasta llegar a Talavera.

En consecuencia, no puede afirmarse en modo alguno que la inexistencia ocasional de caudales en Talavera sea una consecuencia directa de los desembalses desde Bolarque o, en última instancia, del trasvase al Guadiana y Segura. Más bien es el resultado de la hidrología y explotación de todo el sistema aguas arriba, con numerosas derivaciones, alteraciones y aportaciones altamente variables y de un orden de magnitud muy superior a los caudales circulantes en cabecera.

Distintos test estadísticos realizados muestran en efecto la ausencia de correlación entre los flujos diarios en ambos puntos y la falta de relación causal entre ambas series, cuyas dinámicas y modulaciones hidrológicas son bien diferentes. Se comprueba asimismo la fuerte irregularidad de las aportaciones del Tajo en su curso medio, y como en efecto, tal y como se indicó anteriormente, puede hablarse de una segunda cabecera del río en su margen derecha, con caudales globales notoriamente superiores a los de la cabecera hidrográfica propiamente dicha.

Pese a todo ello, y como ya se ha señalado, esta falta de relación no debe suponer una completa separación del régimen de cabecera respecto al resto del río. Tan irracional sería pretender tal completa separación como pretender la completa dependencia de los recursos de Bolarque para suplir cualquier déficit producido aguas abajo.

Los posibles déficit ocasionales de flujo en Talavera –o en otros puntos intermedios como Toledo- deben verse resueltos de forma eficaz con un conjunto de medidas estructurales y no estructurales que debe diseñar la Administración (almacenamientos intermedios de caudales invernales, desembalses puntuales desde cualquier embalse dominante, pozos de sequía, optimización de captaciones, adquisiciones de derechos, revisión concesional, modernizaciones, etc.) y entre las que es razonable contar también con la contribución de la cabecera si ello fuese necesario.

Para estudiar esta posibilidad por el procedimiento habitual se construiría un modelo completo de la cuenca del Tajo, sin separar el eje del resto, incluyendo tanto la totalidad de sus elementos propios de la cuenca como del trasvase, y sus criterios de prioridades y reglas de explotación. Esta tarea puede y debe hacerse pero plantea problemas técnicos, es complicada de desarrollar –piénsese tan solo en la complejidad del sistema del canal de Isabel II- y no estaría disponible de forma inmediata. Además, aún suponiendo tal modelo construido y validado, no podrían obviarse incertidumbres y limitaciones intrínsecas a la modelación como las del supuesto de demandas constantes o el paso mensual frente al diario, no relevante en los estudios usuales de comportamiento de sistemas pero que puede resultar crítica a los efectos de los flujos mínimos que se están analizando.

Otra posibilidad más simple pero razonable, intuitiva y más precisa, es la de analizar los caudales diarios realmente circulantes en el tramo de interés, estudiando sus desviaciones respecto a los mínimos propuestos.

Para ello, un problema fundamental es el de la ausencia de aforos oficiales en Talavera desde finales de los 80, disponiéndose por tanto de un registro incompleto. Es urgente resolver esta inexplicable situación, dada la importancia atribuida a este punto en los documentos de planificación de la cuenca del Tajo. La alternativa de utilizar el balance de Azután para determinar los caudales en Talavera podría aceptarse como primera aproximación pero la ecuación del balance puede proporcionar resultados oscilantes imprecisos a escala diaria, que

es la relevante para este problema. Además, los registros disponibles no están depurados y contienen errores –p.e. en las curvas de gasto- que habría que corregir.

Pese a estas dificultades se ha abordado el problema con los criterios, procedimientos y resultados que se exponen seguidamente.

5.2.2.2 Estaciones de aforo

La última estación foronómica del Tajo antes de la confluencia con el Alberche es la de Las Barracas (3914), cuya serie es la mostrada en la figura, con datos entre 1912 y 1932 aunque censurados hasta 1923 para caudales mayores de unos 70 m³/s, y con numerosos huecos sin datos.

Los mínimos están no obstante recogidos, con valores entre 3 y 15 m³/s. Los datos podrían rellenarse, aunque no completamente, utilizando las curvas de gasto y el registro de niveles, no completo pero sí más extenso que el de caudales.

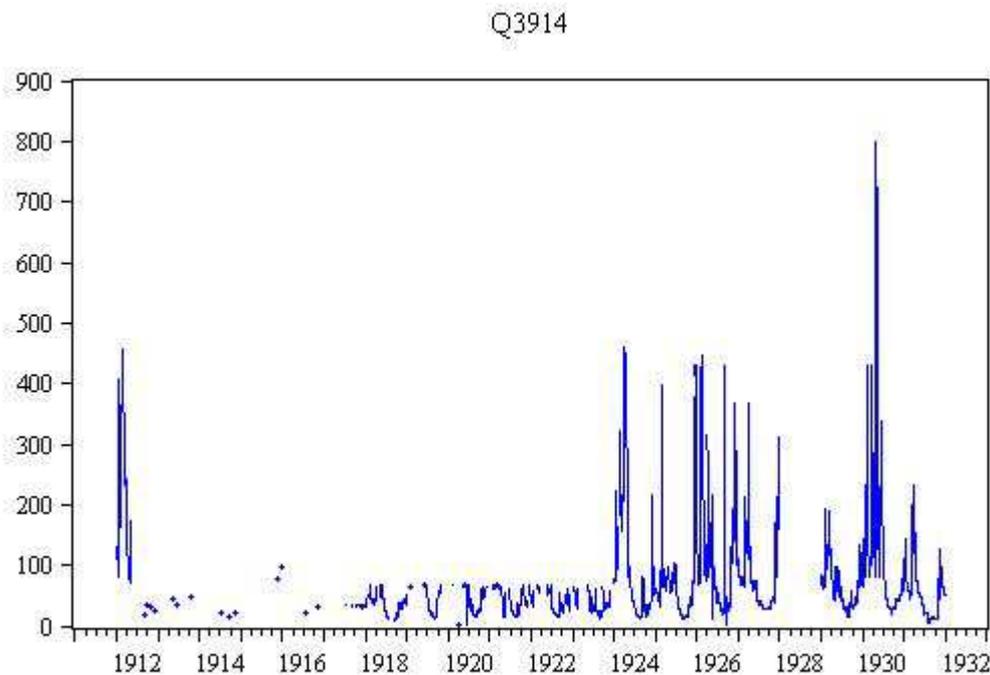


Figura 23. Caudales diarios en Las Barracas (3914), periodo 1912-1932

Sin relleno y depuración de los datos, y utilizando todos los disponibles, el aporte de agua medio necesario para alcanzar plenamente el régimen mínimo de 10 m³/s (es decir, el déficit medio anual de caudal ambiental) es de 0.4 hm³/año, mientras que para alcanzar el régimen apuntado en el ETI para Talavera (distribución trimestral con media de 15.92 m³/s) se requiere una aportación media adicional de 3.6 hm³/año. Son cantidades muy modestas pero que al proceder de un periodo asimilable al régimen natural alertan sobre la posible inadecuación técnica de estos regímenes.

En efecto, como en el caso de Aranjuez, se ha verificado el cumplimiento del criterio de déficit contemplado en el borrador de Normativa para ambos regímenes de caudales, observándose que para 10 m³/s resulta un 0.4% de déficit y 0.2% de incumplimiento, es decir,

un incumplimiento despreciable que puede asimilarse al cumplimiento práctico, mientras que para los $15.92 \text{ m}^3/\text{s}$ ambos porcentajes se elevan a 5.3 y 1.7, en claro incumplimiento de lo prescrito. Ello vuelve a alertar sobre la necesidad de reconsiderar metodológicamente los regímenes de caudales mínimos propuestos.

Aguas abajo de Las Barracas se incorpora al Tajo el río Alberche, con importantes caudales que incrementan el flujo circulante hasta la siguiente estación que es la de Talavera de La Reina (3015).

Esta estación tiene un primer periodo con datos entre 1912 y 1932, mostrado en la figura, con valores censurados sobre los $80 \text{ m}^3/\text{s}$ entre 1918 y 1923. Los mínimos observados son del orden de $10\text{-}15 \text{ m}^3/\text{s}$, presentados con relativa regularidad. Este primer periodo podría asimilarse a condiciones próximas al régimen natural.

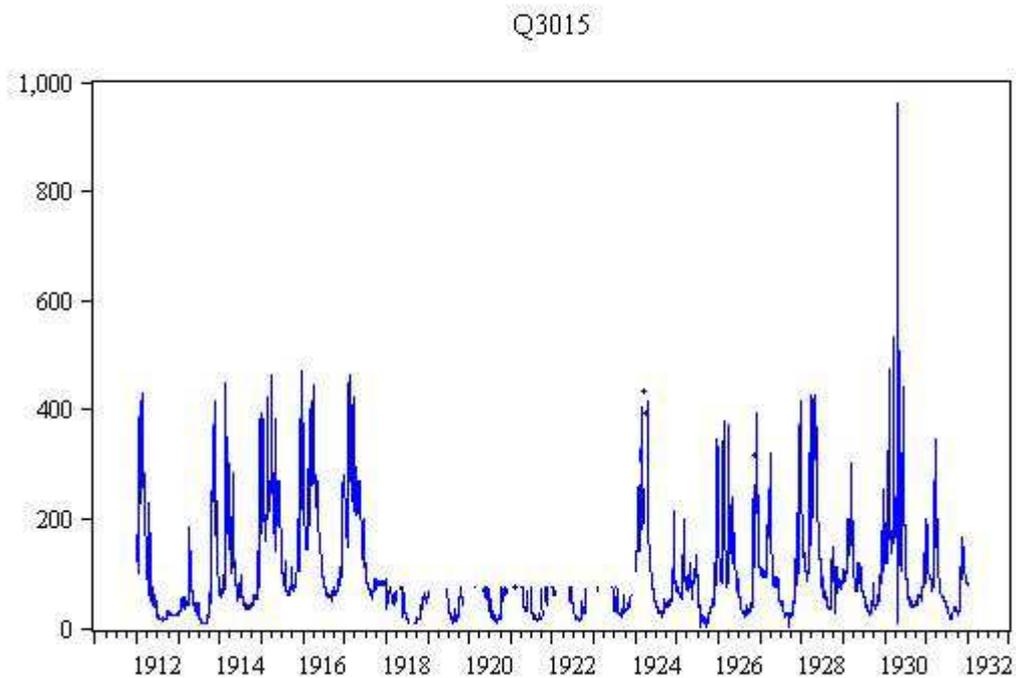


Figura 24. Caudales diarios en Talavera (3015), periodo 1912-1932

El segundo periodo de datos, mostrado en la figura siguiente, se extiende entre 1942 y 1990, con huecos en los años 1965-67 y 1987-88. Los mínimos son de unos $6\text{-}15 \text{ m}^3/\text{s}$, y las puntas muy elevadas, superándose con relativa frecuencia los $1000 \text{ m}^3/\text{s}$. Desde 1989 hasta hoy no hay datos de caudal aforado circulante por Talavera, pese a la reconocida importancia de este punto. El caudal circulante ha de estimarse asimilándolo a las entradas al embalse de Azután, situado aguas abajo, y calculadas por balance diario, con la incertidumbre que ello lleva asociada.

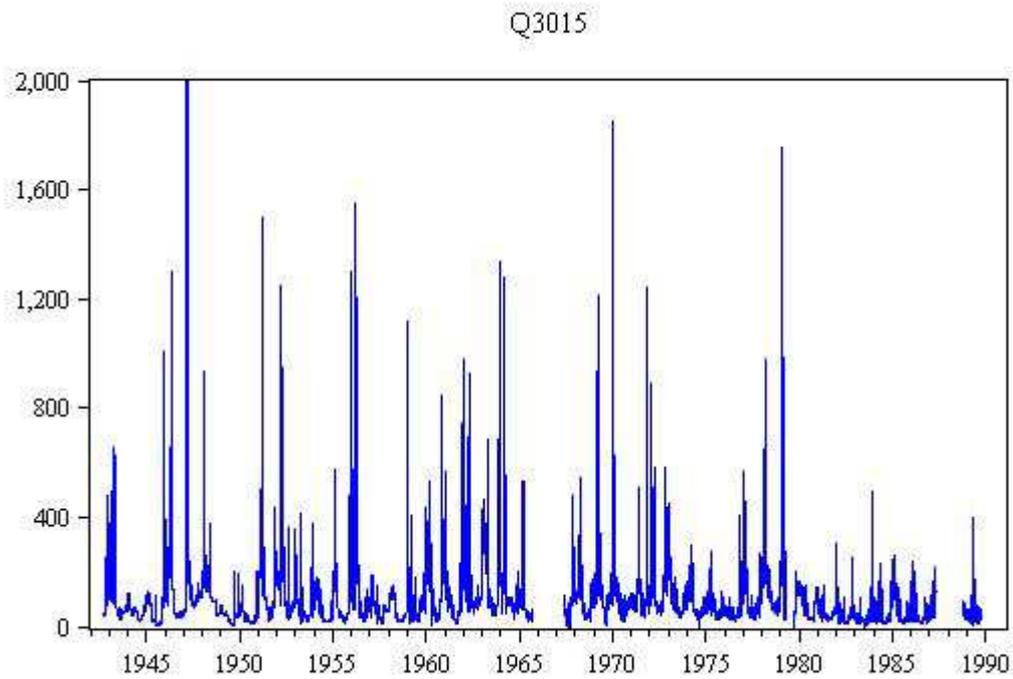


Figura 25. Caudales diarios en Talavera (3015), periodo 1942-1990

Finalmente, la última estación de aforos en el tramo es la de Azután (3203), con datos en el periodo 1970-1986, posteriores a la construcción del embalse (1969). Como puede verse, el registro presenta un comportamiento fuertemente oscilatorio que impide el análisis directo de los caudales a escala diaria, si bien podría ser admisible para estudios a escala mensual o anual.

Este comportamiento oscilatorio impide la verificación del cumplimiento de caudales mínimos, pues hay numerosos valores nulos que no son reales, sino debidos a las espurias oscilaciones. Se requeriría una depuración previa de los datos antes de abordar estos análisis.

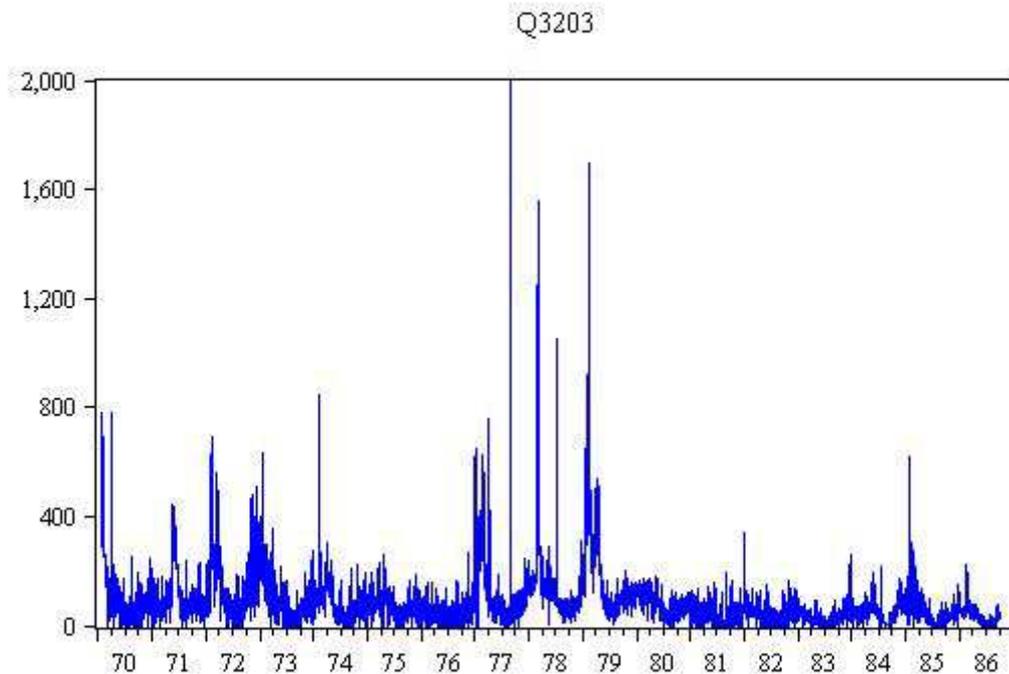


Figura 26. Caudales diarios en Azután (3203), periodo 1970-1986

Centrándonos por tanto en los datos de la estación de Talavera (3015), si repetimos los análisis anteriores respecto al cumplimiento del régimen de caudales para el primer periodo 1912-1932, de régimen cuasi-natural, se observa que la propuesta trimestral con $15.92 \text{ m}^3/\text{s}$ medios origina un 4.8% de días con déficit y un 2.3% con incumplimiento, lo que revela que, de nuevo, el río en régimen cuasi-natural no cumple el criterio de caudales mínimos sugerido.

Si se emplea el periodo 1942-1960, representativo de condiciones poco alteradas, los porcentajes anteriores resultan ser del 3.6 y 2.1%, con igual incumplimiento.

Aplicando ahora el régimen propuesto de $10 \text{ m}^3/\text{s}$, se observa que en el periodo 1912-1932 los porcentajes de déficit e incumplimiento son ahora del 0.84 y 0.05%, indicativos del práctico cumplimiento de este régimen. Con el periodo 1942-1960 los porcentajes son del 1.53 y 1.4% respectivamente, entrando en incumplimiento.

En conclusión, utilizando las series registradas en Talavera representativas del régimen natural, el río apenas cumple un régimen de mínimos de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ y abiertamente no cumple el régimen sugerido trimestral con media de $15.92 \text{ m}^3/\text{s}$.

Por otra parte, se ha calculado el volumen de agua necesario para anular los déficit existentes respecto a los regímenes de caudales previstos. Utilizando ahora la serie de aforos más reciente disponible, desde 1980, estos volúmenes medios anuales son de $2 \text{ hm}^3/\text{año}$ para el régimen previsto de $10 \text{ m}^3/\text{s}$, concentrado durante los estiajes, en el periodo mayo-agosto.

La propuesta que se formula es que estos socorros puedan ser proporcionados desde cabecera mediante desembalses programados al efecto. A efectos de cálculo, este requerimiento ambiental puede suponerse asimilable a una nueva demanda, a atender desde cabecera, de magnitud total igual al volumen anual necesario y concentrada en el mes de mayor déficit.

5.2.2.3 Embalse de Azután

Además de las estaciones de aforo señaladas, en el tramo de interés se encuentra también el embalse de Azután (3203) con datos diarios registrados de reservas y salidas desde comienzos de los 70 hasta hoy, útiles para el conocimiento de flujos circulantes.

Con 113 hm³ de capacidad, Azután entró en operación en 1969 y tiene finalidad hidroeléctrica. En consecuencia sus reservas permanecen, salvo casos excepcionales, con niveles muy altos durante todo el periodo, mostrando una pequeña oscilación estacional dentro del 10% de esos máximos.

Conocido el dato de salida diaria, la entrada al embalse puede estimarse por aplicación de la ecuación del balance a cada día del periodo con datos, teniendo en cuenta que existe una salida adicional que es la evaporación. La evaporación diaria es función del periodo del año y de la superficie anegada, dependiente a su vez de las existencias embalsadas cada día.

Para realizar estos cálculos de balance se ha desarrollado un programa específico que recibe como datos ambas series diarias de reservas (hm³) y salidas (m³/s), junto con los valores medios de evaporación en cada mes (mm) y la relación batimétrica entre volumen embalsado (hm³) y superficie inundada (has). El programa ejecuta el balance diario y entre los resultados del cálculo ofrece las series de entradas netas, evaporaciones y entradas totales. Estas entradas totales son asimilables al caudal restituído o caudal entrante al embalse si éste se midiese con estaciones de aforos.

Para las batimetrías de los embalses se han adoptado los valores disponibles utilizados en análisis previos. Para la evaporación se ha operado como en el análisis de los embalses de cabecera, recurriendo al cálculo de los valores de evaporación en masas de agua por el método de Penman o combinado aerodinámico y de balance energético, utilizando para ello los datos climáticos diarios de estaciones próximas de la red SIAR, con datos desde comienzos de 2000 hasta hoy.

La estación SIAR seleccionada para Azután ha sido la de Calera y Chozas (TO03, 8345). Los valores medios anuales obtenidos han sido de 1024 mm, con las distribuciones mensuales dadas en la tabla.

Total	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1024.32	21.73	35.28	69.37	96.59	131.73	160.63	173.78	147.74	99.32	55.29	26.32	18.39

Tabla 19. Evaporaciones mensuales en Azután (mm)

Es importante señalar que un problema frecuente al analizar los datos de balance de embalse procedentes de los registros oficiales es el del criterio seguido para definir la reserva. En algunas ocasiones el dato dado para un día es el de la reserva existente a comienzos de ese día, mientras que en otras ocasiones es el correspondiente al final. Se da incluso la situación de que una misma estación tiene datos registrados siguiendo un criterio durante un cierto periodo y el otro criterio en otro periodo distinto. En ausencia de información concreta, dilucidar el criterio correcto requiere análisis específicos para cada estación, probando ambas posibilidades. El criterio seguido será aquel que genere caudales de entrada con menores oscilaciones y valores no negativos. Valores negativos y oscilantes son indicadores de error en el criterio adoptado en aquella ventana temporal en la que se producen.

Considerando estas circunstancias, el cálculo del balance diario en Azután, suponiendo que el dato de reserva es el de comienzo del día (que denominamos Y), da como resultado la serie de

caudales de entrada mostrada en la figura, extendida a todo el periodo en el que se dispone de datos. El eje de caudales de la figura se ha truncado en [-100, 100] para facilitar su inspección.

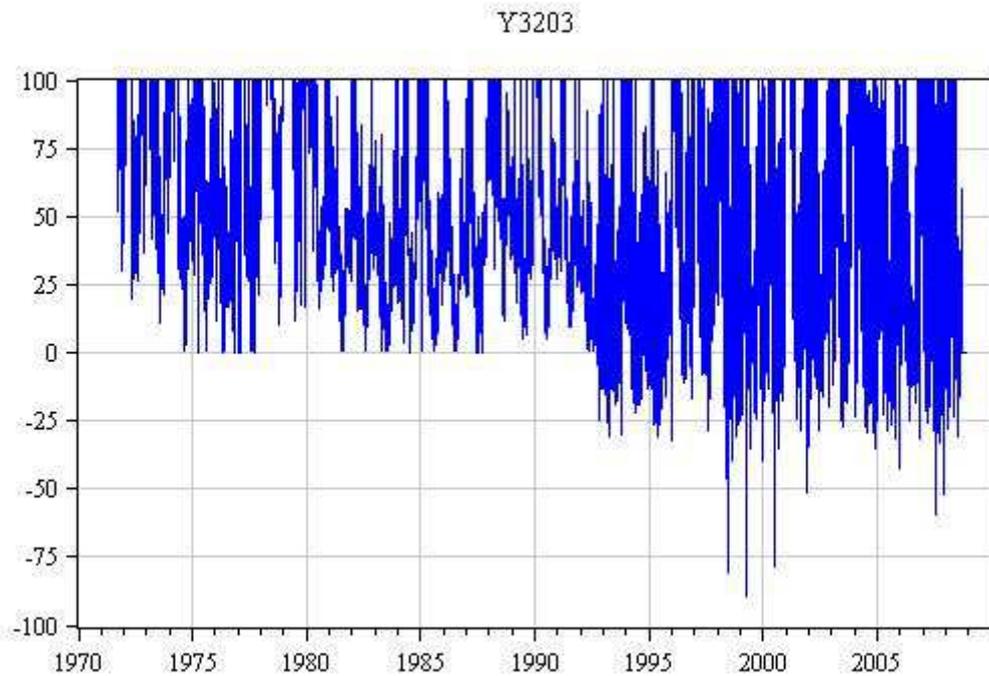


Figura 27. Entradas diarias a Azután, criterio Y comienzo del día

Si el cálculo se realiza con el criterio de dato de reserva al final del día (que denominamos Z), los resultados son los de la figura siguiente.

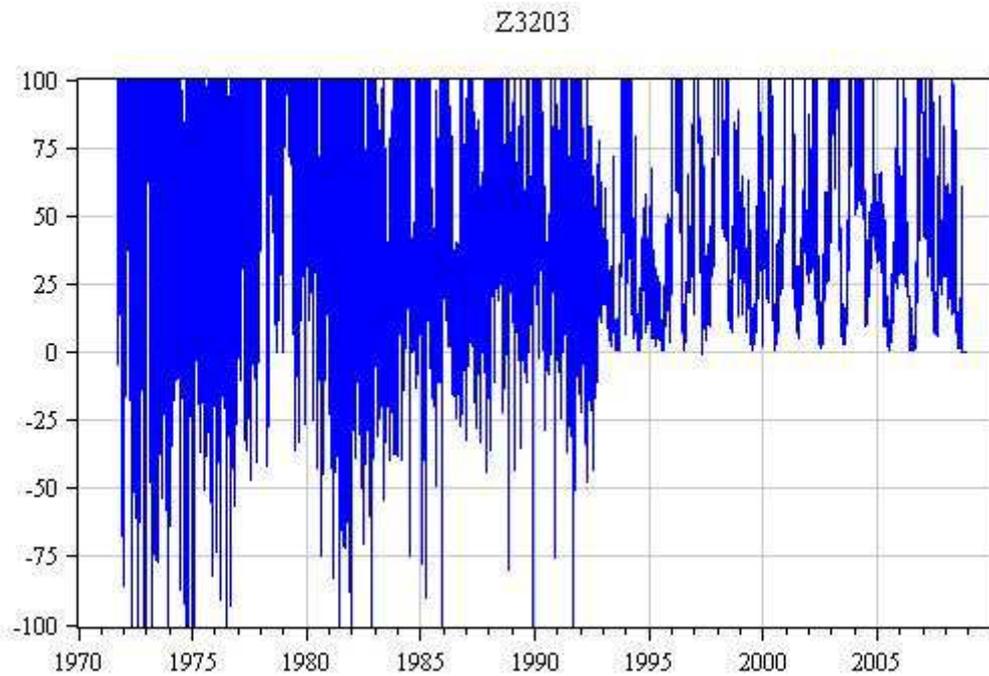


Figura 28. Entradas diarias a Azután, criterio Z final del día

Como puede verse con claridad, se presenta la situación antes mencionada de coexistencia de los dos criterios, de forma que el criterio de reservas a comienzo (Y) parece ser el seguido hasta 1992, fecha en la que se invierte la situación y el criterio seguido parece haber sido el de reservas a final (Z). Para apreciar la situación con mayor detalle, en la siguiente figura se representan ambas series en para el año 1992 en la que se produce la transición.

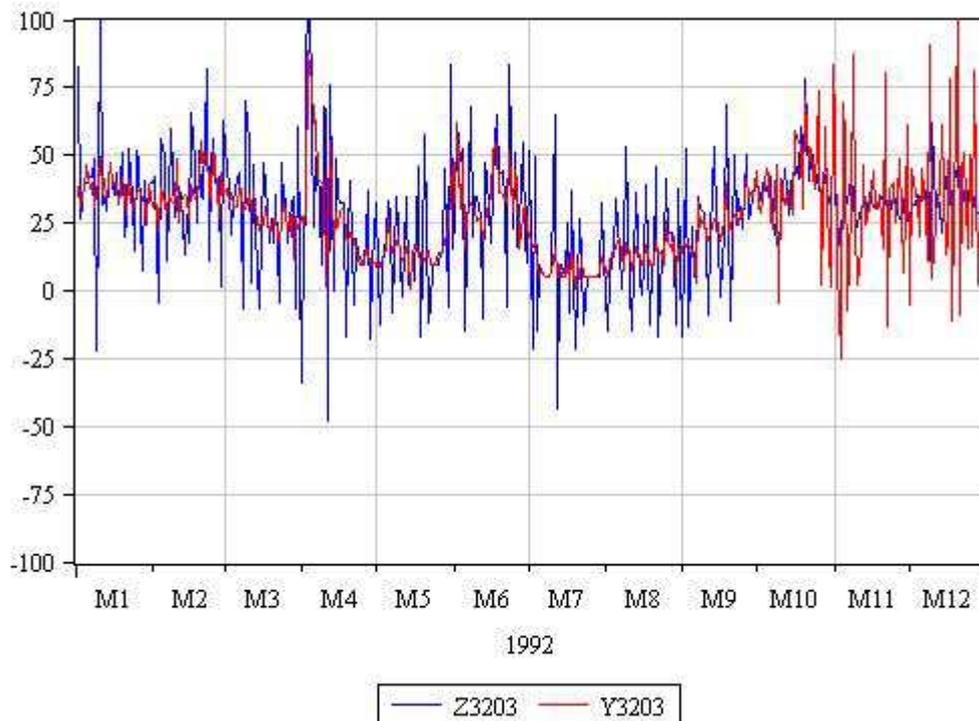


Figura 29. Entradas diarias a Azután en 1992, ambos criterios

Puede verse como, en efecto, hay una transición evidente que se produce al final de septiembre de 1992, al comienzo del año hidrológico 1992-93, en que el criterio se modifica.

Concluiríamos, en definitiva, que la serie de entradas a Azután, que designamos E3203, es una serie compuesta por la Y3203 hasta el 30 de septiembre de 1992 y la Z3203 desde el 1 de octubre de 1992 hasta hoy. La figura adjunta muestra esta serie compuesta finalmente adoptada.

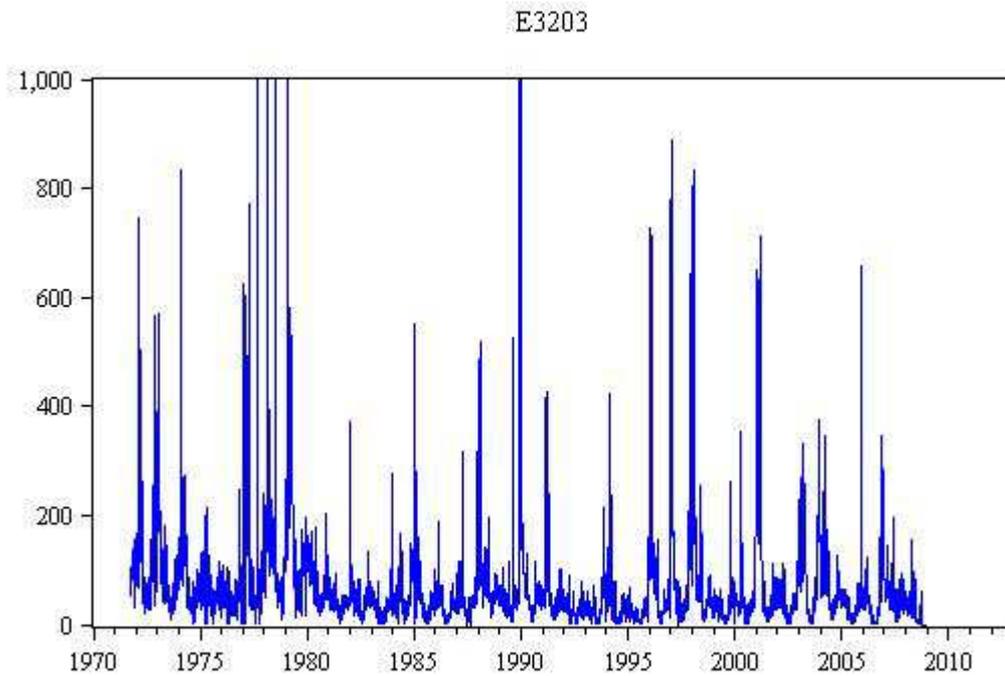


Figura 30. Entradas diarias a Azután obtenidas por balance (E3203), periodo 1972-2009

5.2.2.4 Contraste de series en Talavera

Tras los cálculos mostrados se dispone de tres series representativas de los flujos circulantes por Talavera: la correspondiente a su estación de aforos (3015), la de la estación de aforos de Azután (3203), y las entradas a Azután obtenidas por cálculos de balance en el embalse (E3203).

Contrastando en primer lugar los datos de Azután, la figura adjunta muestra sus dos series de datos: Q3203 correspondiente a la estación de aforos y E3203 correspondiente a las entradas calculadas por balance. Se muestran tanto el registro completo como el detalle de la ventana temporal 1981-1985.

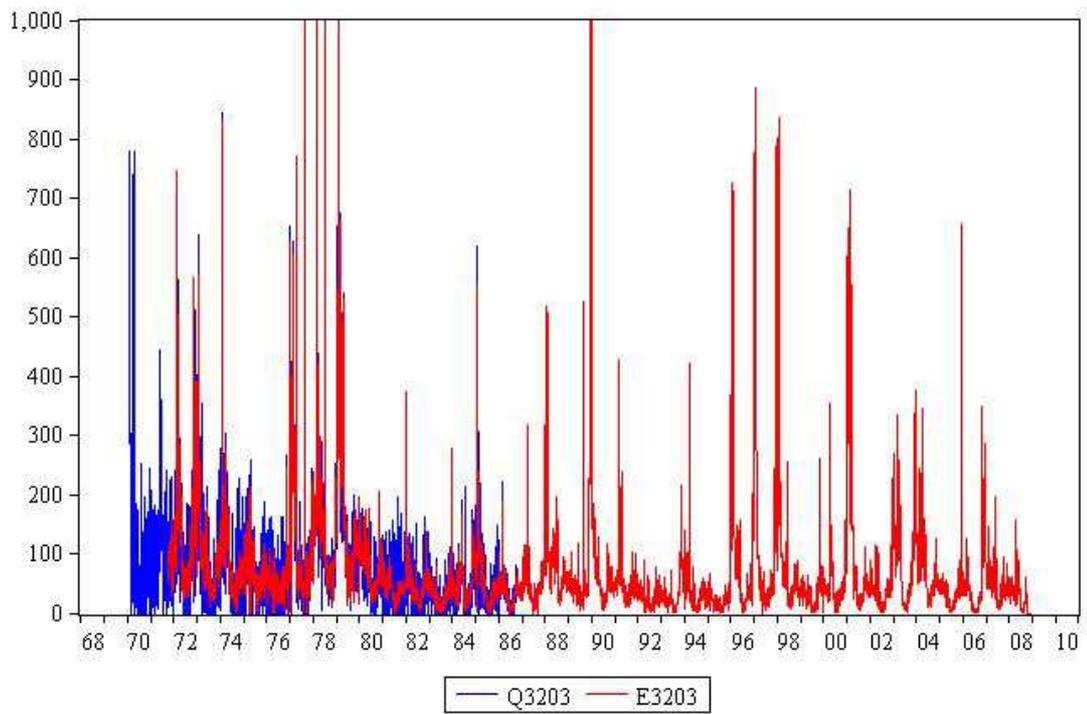


Figura 31. Flujos diarios en Azután (Q3203 aforos, E3203 balance), periodo 1970-2009

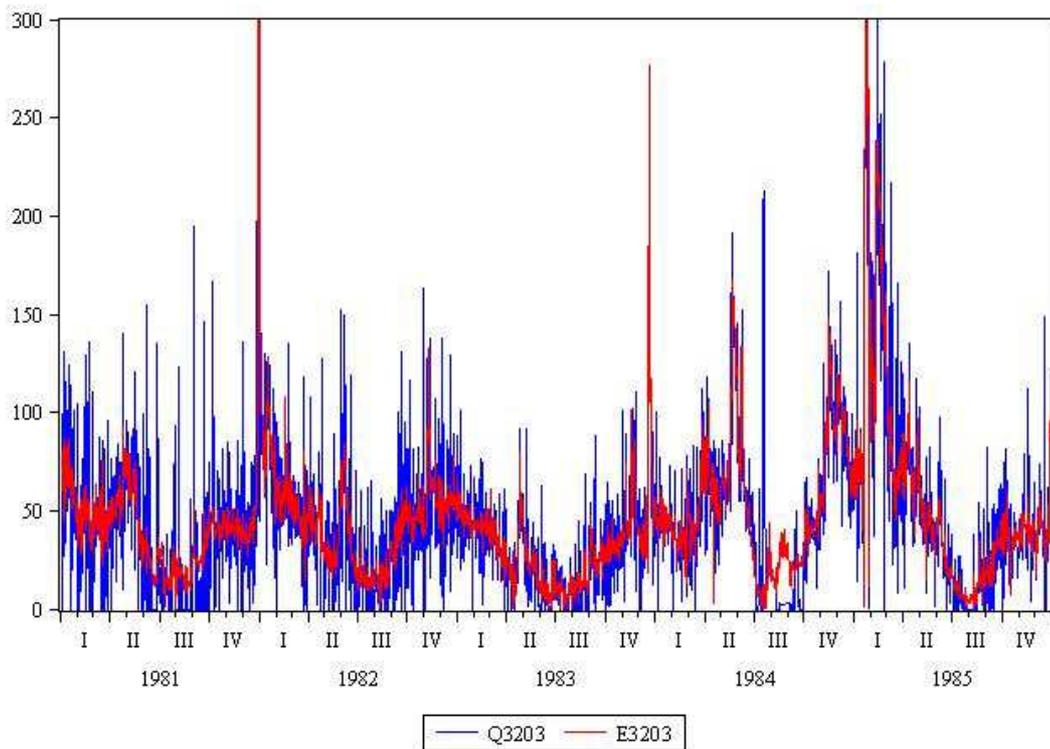


Figura 32. Flujos diarios en Azután (Q3203 aforos, E3203 balance), detalle 1981-1985

Como puede verse, ambas series muestran una buena concordancia general, pero con un comportamiento muy oscilante en los datos de la estación de aforos. La ventana temporal 1981-85, ofrecida como muestra de detalle, permite apreciar con claridad este comportamiento. Los datos de la estación comienzan en enero de 1970 y los del embalse el 1 de octubre de 1971. Dada la poca diferencia de longitud inicial, su mayor estabilidad, y su extensión completa hasta la actualidad, se propone adoptar como serie de caudales representativos de Azután la E3203.

Si se contrastan ahora estos datos con los de la estación de Talavera, anteriormente examinados, los resultados para el periodo común (1972-1989) son los mostrados en la figura.

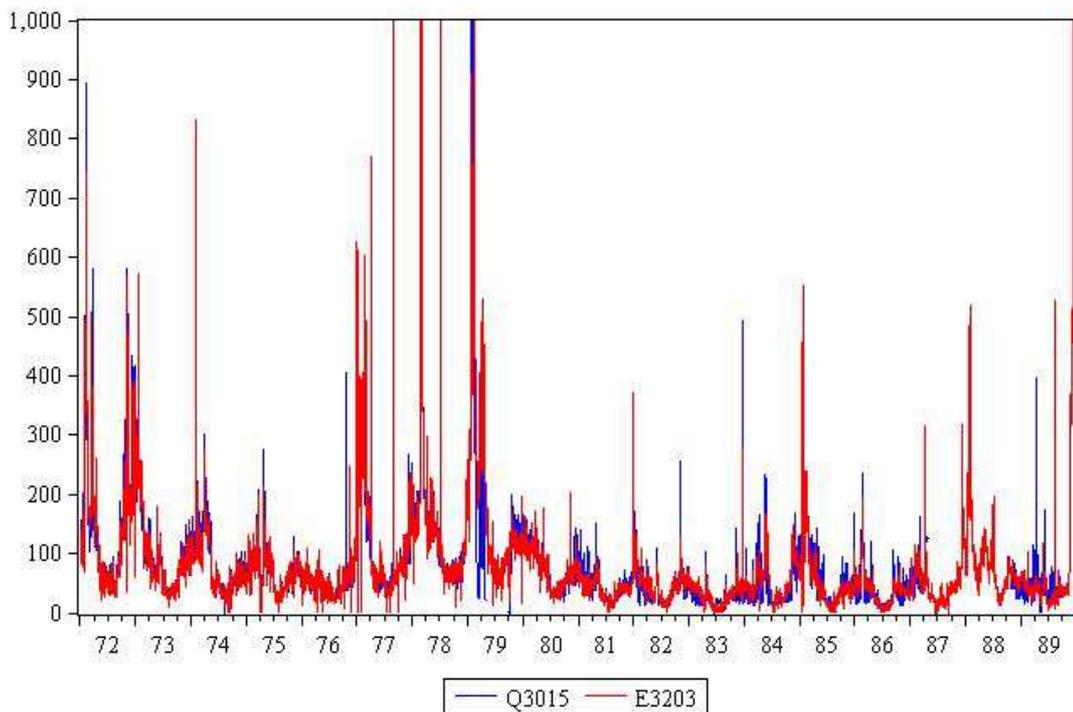


Figura 33. Caudales diarios en Talavera (Q3015 aforos, E3203 balance), periodo común 1972-1989

Pese a sus orígenes muy diferentes puede verse una buena concordancia general de ambos registros, aunque con oscilaciones variables y ligeras diferencias. Las figuras adjuntas muestran el detalle de esta comparación para dos bienios distintos, pudiéndose apreciar mejor tal concordancia.

Como se observa, la serie E3203 presenta ocasionalmente valores aislados nulos, lo que se debe sin duda a problemas del cálculo y no a la realidad. En posteriores estudios de detalle todos estos efectos numéricos podrían ser analizados y depurados pero tales refinamientos, de gran interés y sin duda necesarios en el futuro, quedan fuera de los objetivos del presente informe.

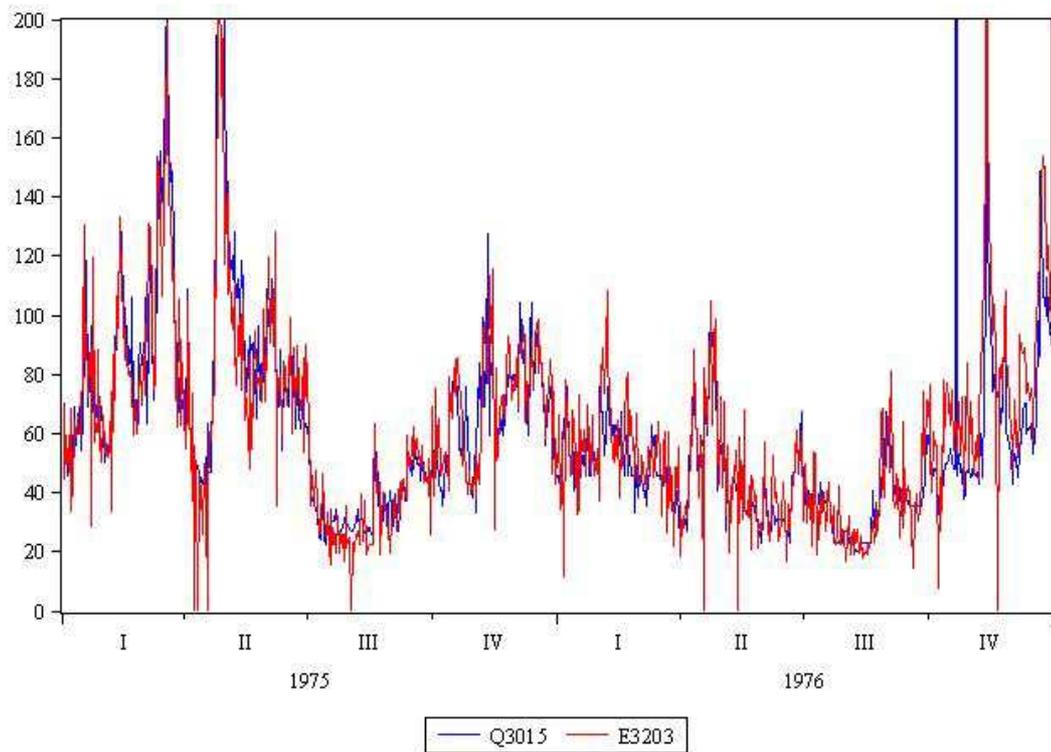


Figura 34. Caudales diarios en Talavera (Q3015 aforos, E3203 balance), detalle 1975-1976

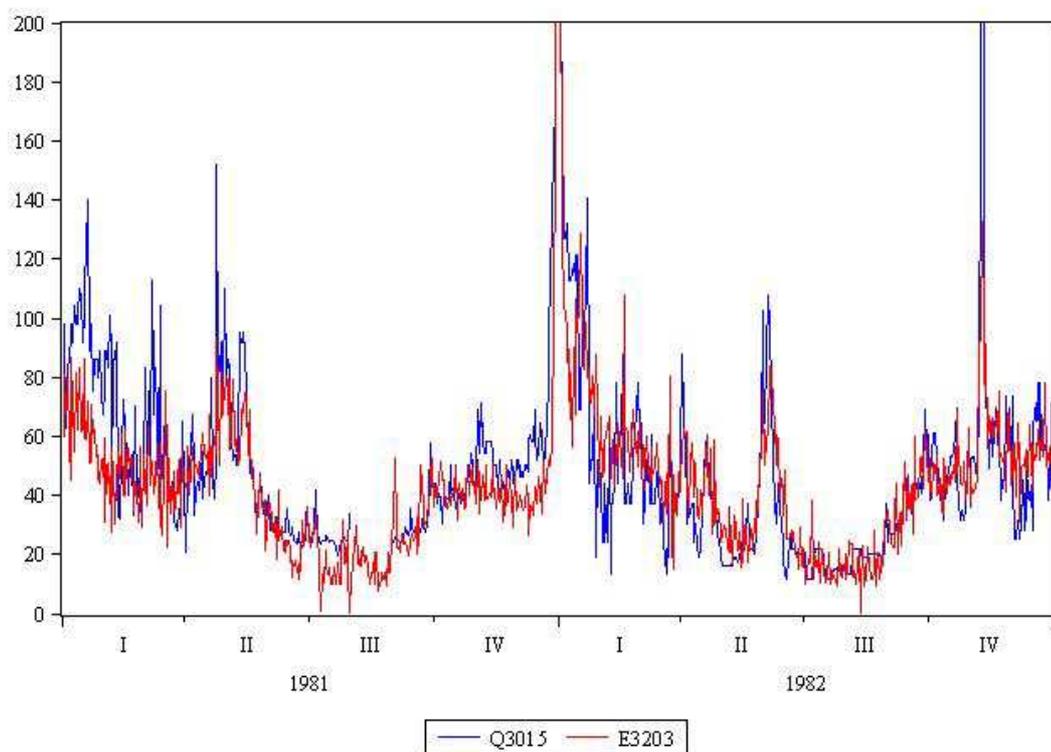


Figura 35. Caudales diarios en Talavera (Q3015 aforos, E3203 balance), detalle 1981-1982

Validada la concordancia de los datos obtenidos por balance, es posible repetir ahora los mismos cálculos realizados para la estación de Talavera (3015) pero con la nueva serie de entradas a Azután (E3203), representativa de los mismos flujos.

Esta serie se extiende hasta la actualidad, lo que supone una mejora de los resultados respecto a los de Talavera. Por el contrario, los valores puntuales nulos observados suponen una importante distorsión para el análisis de caudales mínimos, por lo que es necesario su filtrado previo. Para ello se ha generado el histograma de caudales de la serie calculada E3203, mostrado en la figura.

Puede verse que hay un patrón de crecimiento de frecuencias relativamente regular, con irregularidades dispersas en los valores inferiores a 15 m³/s, y una evidente anomalía en la frecuencia de presentación de caudales menores de 1 m³/s debida con toda probabilidad a efectos espurios del cálculo de balances. En consecuencia, se sugiere adoptar como umbral de corte en de 1 m³/s, suponiendo que los caudales inferiores son en realidad falsos nulos que deben asimilarse a datos ausentes.

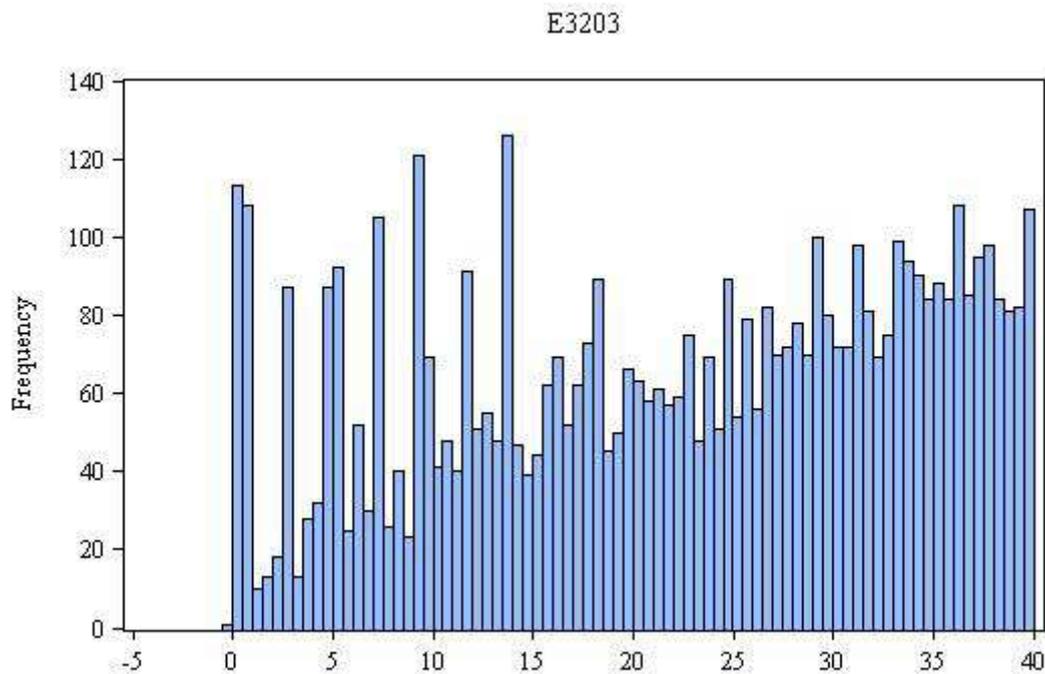


Figura 36. Histograma de caudales de la serie E3203 inferiores a 40 m³/s

Con este criterio, se han repetido los cálculos de déficit de caudales en Talavera utilizando ahora la serie E3203 en el periodo 1980-2009, considerado como representativo de la situación actual. El volumen medio anual necesario para alcanzar el objetivo de caudales mínimos de 10 m³/s todo el año es de 10 hm³, concentrado sobre todo en los meses de julio y agosto, y con un máximo de 30 hm³/año. Puede verse que esta cifra media es mayor que la obtenida con la serie 3015, por lo que se propone su adopción. Si se utiliza la serie completa, sin depurar, los valores resultantes son de 13 hm³/año de media y 58 de valor máximo.

La serie depurada muestra asimismo un 8.32% de días con déficit y un 5.91% de incumplimientos, si bien esta información no resulta tan relevante como antes al tratarse de registros modernos afectados, no representativos del régimen natural.

Las figuras adjuntas muestran las series de déficit diario mensual y anual en Talavera, tanto para la serie original (E3203_DEF) como para la depurada sin falsos nulos (E3203_DEF_FN). Puede apreciarse que el efecto de falsos nulos no es despreciable, si bien los patrones son similares en ambos casos, con fuerte concentración del déficit en los meses de verano.

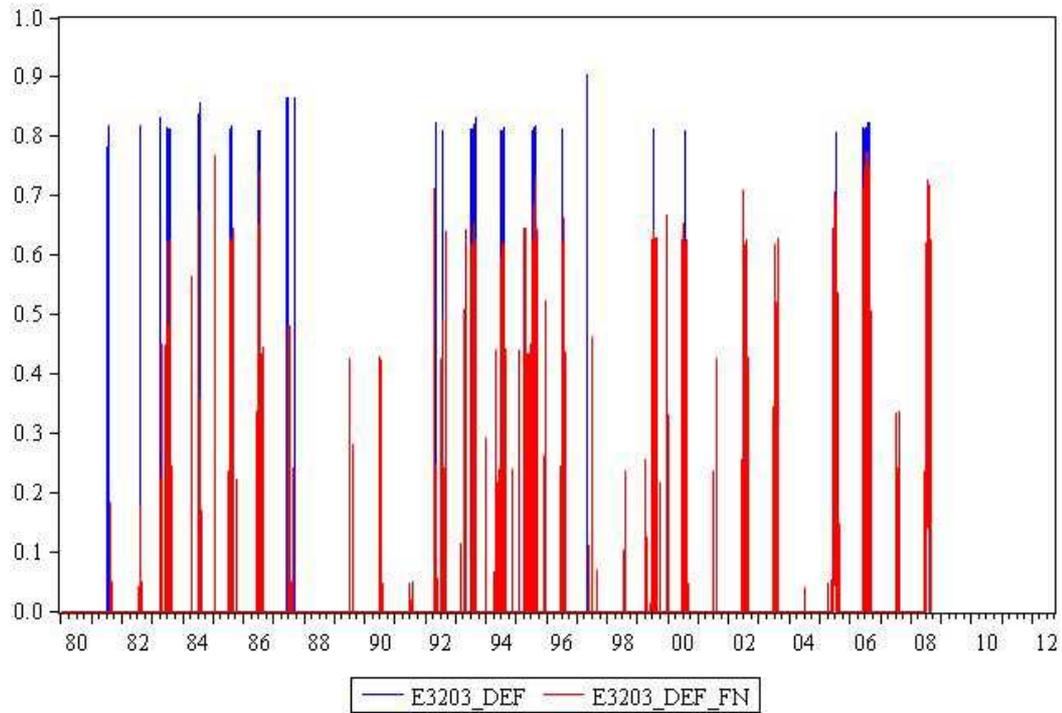


Figura 37. Serie diaria de déficit de caudales mínimos en Talavera (hm^3)

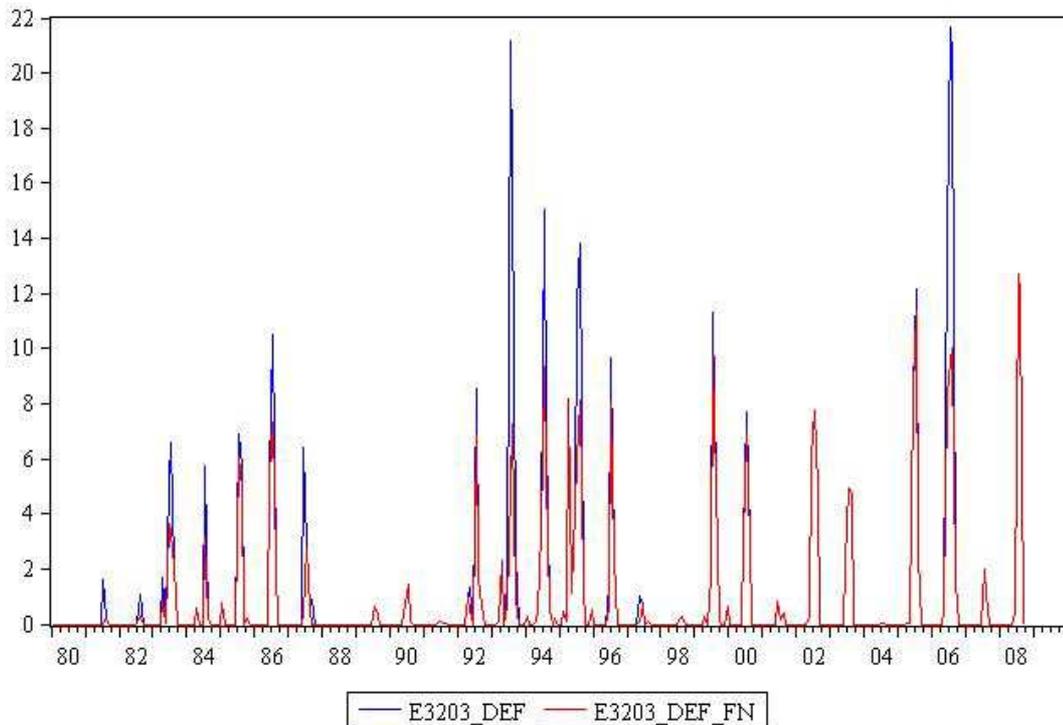


Figura 38. Serie mensual de déficit de caudales mínimos en Talavera (hm^3)

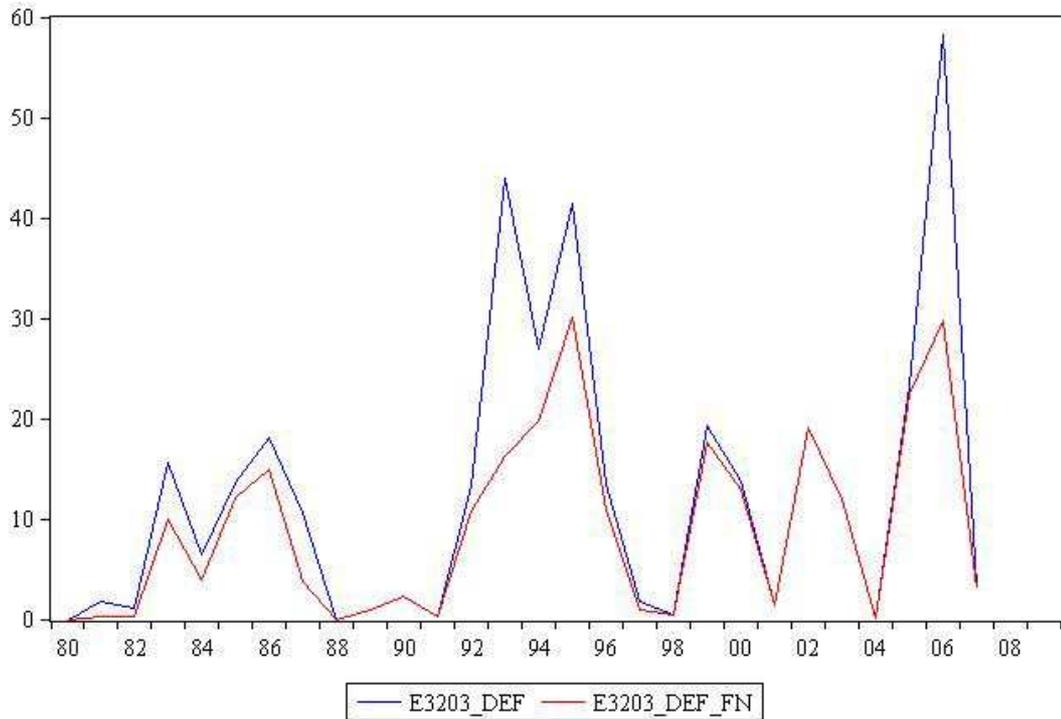


Figura 39. Serie anual de déficit de caudales mínimos en Talavera (hm^3)

La concentración estacional de los déficit se aprecia con toda claridad en la figura siguiente, donde se representan los datos por meses, junto con el valor medio de cada mes. Se observa que el mes crítico es julio, y hay meses donde se alcanzan los 12 hm^3 de déficit.

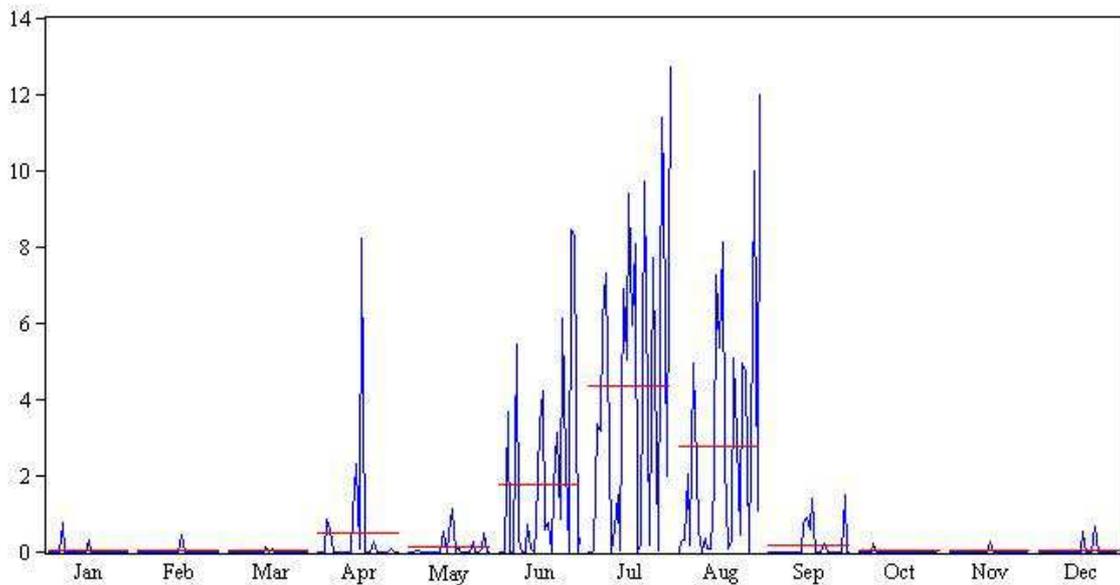


Figura 40. Déficit por meses y medias de cada mes (hm^3)

En conclusión, una propuesta inicial razonable sería la de establecer un volumen reservado para emergencias medioambientales en Talavera, con cargo a la cabecera del Tajo, asimilable

a una demanda de cuantía dada de $10 \text{ hm}^3/\text{año}$ (déficit medio anual) que a efectos de cálculo puede suponerse concentrada en el periodo junio-agosto, que es en el que se producen los mayores déficit.

Obviamente esta propuesta es una primera aproximación que deberá ser perfeccionada en el futuro teniendo en cuenta, por una parte, que puede haber sin duda otras alternativas aguas abajo de Aranjuez para suplir total o parcialmente estas carencias de caudal, lo que reduciría la necesidad de desembalse de cabecera y, por otra parte, que el tiempo de tránsito de caudales desde cabecera hasta Talavera es de 4 ó 5 días, lo que implica la necesidad de una suelta continua envolvente, no estrictamente adaptable a las oscilaciones diarias de los flujos en ese punto, aumentando la necesidad del desembalse.

Para concluir estos análisis de flujos en Talavera, y como información complementaria de interés, las figuras adjuntas muestran la relación entre los caudales diarios en Aranjuez (Q3011) y los caudales diarios en Talavera (asimilados a E3203), para una ventana de mínimos entre 0 y $30 \text{ m}^3/\text{s}$ en Aranjuez y 0 y $100 \text{ m}^3/\text{s}$ en Talavera. Como puede verse no existe relación alguna entre ambas series, apreciándose un cierto umbral de aparición en torno a los $6 \text{ m}^3/\text{s}$ de Aranjuez, explicables por el cumplimiento de la imposición de sus caudales mínimos.

Se observan también valores inferiores a $10 \text{ m}^3/\text{s}$ en Talavera para toda la gama de caudales en Aranjuez hasta $20 \text{ m}^3/\text{s}$, sin que pueda observarse patrón de regularidad alguno. Asimismo se observa la presentación de valores casi nulos en Talavera para toda la gama en Aranjuez, explicables sin duda por el efecto de falsos nulos antes comentado.

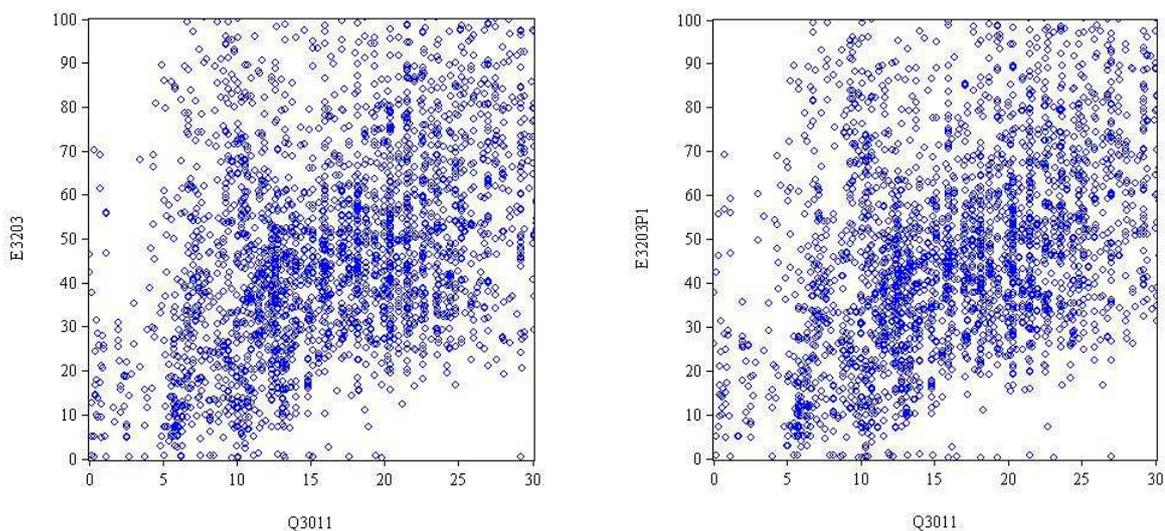


Figura 41. Contraste de caudales diarios en Aranjuez y Talavera

Para prever el posible efecto de la propagación desde Aranjuez a Talavera, que podría introducir un rezago en la aparición de una relación explicativa, en la figura se muestra también el mismo gráfico pero contrastando ahora con la serie de Talavera del día siguiente (E3203P1), observándose idénticos resultados.

Estas impresiones visuales se han confirmado también de forma numérica, pudiendo sostenerse la hipótesis de total ausencia de correlación cruzada y de causalidad de Granger para distintos órdenes de rezago. Para simplificar la exposición no incluimos en este informe los detalles de tales cálculos.

5.2.3 Efectos sobre las reservas

Con las salvedades y criterios expuestos, para determinar la cuantía equivalente y su reserva derivada desde el punto de vista de la modelación del sistema, se ha realizado un cálculo de regulación con demandas mensuales variables año a año y empleando tanto las aportaciones de la serie PH (Aph) como las de CCE (Acc). Se han adoptado dos hipótesis de demandas de cabecera (correspondiente a los desembalses necesarios para las demandas asociadas a cabecera y sus caudales mínimos, sin la demanda adicional de Talavera), que son la de los desembalses estrictamente necesarios, variables año a año y mes a mes (Dnc), y la de los maximizados de referencia, variables mensualmente pero iguales para todos los años (Dmc, con total de 425 hm³/año, que es la correspondiente al desembalse de referencia máximo).

Además, para posibilitar la movilización de caudales generadores, se asume que la demanda atendible por déficit en Talavera es de 10 (caudales generadores) +10 (caudales complementarios), lo que supone el doble del déficit medio realmente registrado, es decir, 20 hm³/año. Con ello, las series mensuales de demandas totales de diseño se obtienen sumando a la serie de demandas de cabecera (necesaria o maximizada) la serie correspondientes a los déficit de Talavera, multiplicada por 2. Esto resulta conservador pues si se decidiese destinar una parte de esta demanda ambiental de 20 hm³/año a caudales generadores, su desembalse tendría lugar realmente en meses con menor impacto sobre la regulación necesaria.

Con estas dos series de demandas (Dnc y Dmc) y las dos series de recursos (Aph y Acc) antes citadas, y utilizando la evaporación adoptada para los embalses de cabecera, se ha realizado el cálculo de la regulación necesaria mediante la técnica de programación lineal, obteniéndose los resultados de reservas necesarias a fin de mes mostrados en el gráfico.

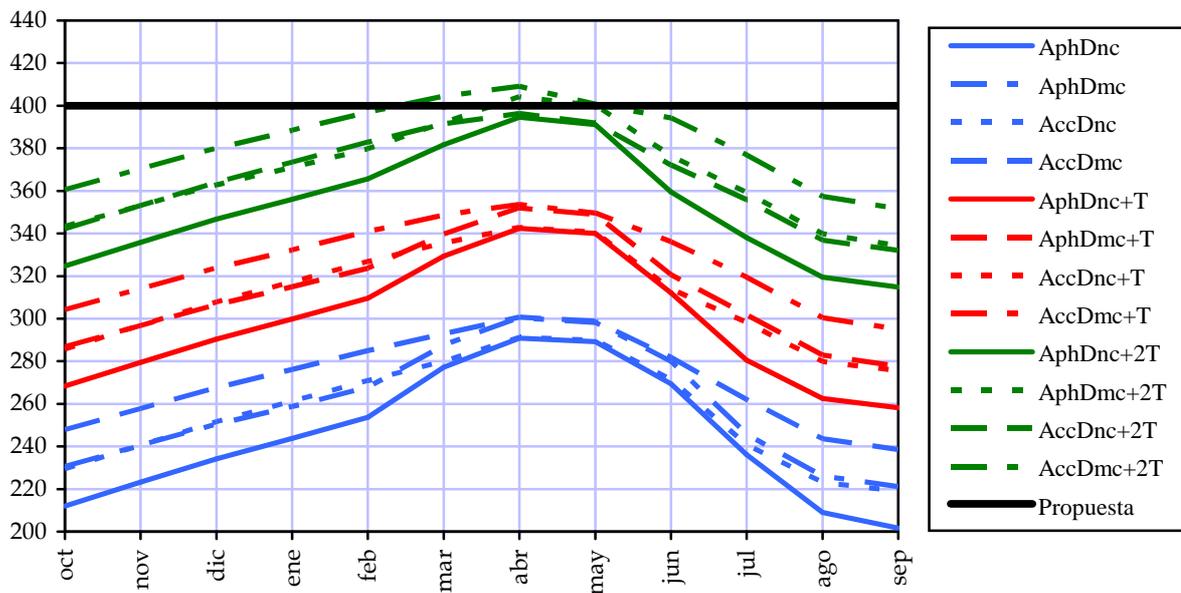


Figura 42. Volúmenes de embalse requeridos (hm³)

Las líneas azules son las correspondientes a las demandas completas asociadas a cabecera (incluyendo los 60 hm³ CYII) o desembalses máximos de referencia, sin mejoras ambientales para Talavera. Como se observa, el efecto de emplear una u otra serie de aportaciones no es determinante en los meses de primavera, y el valor máximo de embalse necesario (la reserva de cabecera o umbral de no trasvase) es de unos 300 hm³/año en los meses de abril y mayo, descendiendo hasta 240 en septiembre, todo ello en el caso más desfavorable (reservas más altas). Estos resultados son los ya obtenidos en el capítulo anterior al exponer los resultados del análisis de regulación.

Las líneas rojas corresponden a una demanda suma de la anterior más los déficit medios de Talavera (10 hm³/año). El máximo alcanzado es de unos 350 hm³ en los mismos meses de antes, con mínimo de unos 300, también en el caso más desfavorable. Estas serían las magnitudes a adoptar si el objetivo de la regulación fuese garantizar las demandas propias del Tajo más los déficit observados en Talavera.

Finalmente, en el supuesto de mayor seguridad consistente en duplicar los déficit de Talavera, permitiendo un posible doble empleo ambiental tanto para cubrir mínimos en este punto como para movilizar caudales generadores desde Bolarque (total de 20 hm³/año), las curvas resultantes son las verdes. En el caso más desfavorable se observa un máximo del orden de 409 hm³, y un mínimo de 360.

A la vista de estos resultados, se propone redondear estos valores y levantar las curvas a 400 hm³ todo el año, sin variabilidad mensual, lo que constituye otro elemento adicional de seguridad.

En definitiva, la mejora ambiental introducida, a considerar en su caso en futuras revisiones del Plan, y no aisladamente sino en paralelo con similares aproximaciones metodológicas en los planes hidrológicos de otras demarcaciones hidrográficas, equivale a un desembalse adicional medio de 20 hm³/año aplicado en verano (p.e. en agosto, que es el mes más desfavorable para las demandas desde el punto de vista de la regulación). Ello cubre el objetivo de mejorar las condiciones ambientales de todo el tramo desde Bolarque hasta Azután con una doble funcionalidad: eliminar los déficit estivales observados en Talavera, y posibilitar la programación de caudales generadores en el tramo Bolarque-Aranjuez. Tales objetivos ambientales se pueden alcanzar sin necesidad de modificar la reserva de 400 hm³ prevista en el borrador de Normativa del Plan.

Es interesante constatar que si se introduce este valor adicional de 20 hm³ en agosto para calcular la reserva necesaria mediante el APSx, el valor obtenido pasa de 301 a 344 hm³. La diferencia hasta los 400 es debida a adoptar el valor medio del déficit en lugar de la serie de déficit variable mes a mes, que es la considerada en el análisis mediante PL. Si en lugar de 20 se fijan 40 en agosto, la reserva se elevaría a 408. Dado que, como puede verse, la reserva de 400 cubre satisfactoriamente incluso situaciones no esperables, como que se utilice la acumulación bianual en situación de escasez, desde el punto de vista de la modelación del sistema adoptaremos una nueva demanda ambiental de 20 hm³ en agosto colgando directamente de Bolarque, y que retorna íntegramente al sistema en Aranjuez, fuera de los usos de la cabecera.

Esta nueva demanda ambiental de 20 hm³/año podrá utilizarse o no dependiendo de la coyuntura de cada momento, correspondiendo a la Comisión Central de Explotación del Acueducto Tajo-Segura, a propuesta de la Confederación Hidrográfica del Tajo, su autorización y gestión.

En caso de no ser necesaria su utilización en Talavera en un año concreto, podría también destinarse total o parcialmente a la producción de caudales generadores en cualquier época del año, si así se estimase más conveniente, formando en definitiva una única demanda ambiental de 20 hm³/año aplicable a cualquier necesidad de esta naturaleza.

Asimismo en caso de no utilización cabría establecer la posibilidad de cesión temporal a los usuarios de la cuenca del Tajo o a los dominados por el ATS (Guadiana, Júcar, Segura y Cuencas Mediterráneas Andaluzas), mediante compensación económica no superior a la tarifa. Lo recaudado por este concepto se destinaría de forma finalista a mejoras ambientales en los entornos de Toledo y Talavera, que son los tramos fluviales principalmente afectados por la falta de caudal.

Así como para los caudales generadores puede tener sentido la acumulación al año siguiente en el caso de no uso, dado lo impredecible de la presentación de crecidas y de sus magnitudes anuales, en el caso de emergencia ambiental la situación presenta menores incertidumbres, por lo que sería razonable que el volumen reservado sea anual, sin efecto acumulativo. No obstante, y como elemento de flexibilidad adicional, podría aplicarse al conjunto el mismo mecanismo de acumulación bianual. Como se mostró, ello no altera sensiblemente los resultados de la regulación.

5.2.4 Síntesis de resultados. Propuesta de mejora

A partir de toda la información foronómica y de embalses existente y publicada en los Anuarios oficiales, se ha estudiado con detalle la situación de los caudales circulantes por Talavera de la Reina. De este estudio puede concluirse que una mejora ambiental que cabría introducir en futuras revisiones del Plan Hidrológico del Tajo es el establecimiento de un volumen anual reservado para emergencias ambientales en Talavera de 10 hm³/año, cuya disposición y gestión estaría a cargo de la Comisión Central de Explotación del Acueducto Tajo-Segura.

Este volumen podría duplicarse a 20 hm³/año para incluir la posibilidad de programar caudales generadores desde Bolarque y disponer de un margen de seguridad adicional.

Tal asignación concretaría formalmente la contribución ocasional y puntual de la cabecera del río a la mejora ambiental del tramo medio, en los entornos de Toledo y Talavera, y complementaría a otras actuaciones estructurales y no estructurales que deben ser programadas por la Administración para la mejora ambiental de estos tramos. Además, podría aplicarse también total o parcialmente a la programación de caudales generadores en el tramo Bolarque-Aranjuez.

En caso de no ser necesaria la utilización de los 20 hm³ en un año concreto, podría ser objeto de acumulación hasta un máximo de 2 años, o de cesión parcial o total a posibles usuarios interesados, mediante una compensación económica. Lo recaudado por este concepto se destinaría prioritariamente a mejoras ambientales en los entornos de Toledo y Talavera, que son los tramos fluviales principalmente afectados por la falta de caudales.

Otra conclusión del análisis es la ausencia de correlación o relación causal entre los desembalses diarios desde Bolarque y la circulación por Talavera. Esta circulación se ve determinada por los aportes intermedios, derivaciones, regulaciones y retornos, con magnitudes y modulaciones muy diferentes y superiores a los flujos de cabecera. La asignación ambiental propuesta no se debe, por tanto, a una relación de causalidad

contrastada, sino a una voluntad de integración y contribución a las mejoras ambientales del río.

Una última conclusión de gran relevancia práctica es la constatación del incumplimiento de los regímenes de caudales mínimos previstos, por los propios caudales reales del río en régimen asimilable al natural. Esta aberrante situación revela un problema metodológico en las determinaciones de estos caudales que podría ser generalizado y que, dada su importancia, requeriría de investigaciones adicionales que permitan avanzar sobre bases sólidas en futuras revisiones del proceso planificador.

5.2.5 Mejoras de eficiencia y optimización de la explotación

Como se señaló al analizar los desembalses requeridos para atender plenamente todas las demandas y caudales mínimos de cabecera, la magnitud de desembalse desde Bolarque fijada como referencia máxima objetivo ($425 \text{ hm}^3/\text{año}$) supera ligeramente el valor medio deducido de los análisis (412), y se basa en suponer plenamente desarrollada la concesión del CYII. Si el desarrollo es parcial y se adoptan desembalses de referencia inferiores (como los $365 \text{ hm}^3/\text{año}$ para concesión inactiva), la diferencia entre el medio y el valor de referencia seguiría existiendo.

Este margen de seguridad puede ser ventajosamente utilizado de forma que si se consigue en la explotación de cabecera una mejora de eficiencia, optimización, o reducción de demandas que permita atender adecuadamente los requerimientos existentes con desembalses anuales menores al de referencia, el resto hasta el valor de referencia (entre 365 y 425) podría ser utilizado para su incorporación en la siguiente campaña a los volúmenes destinados a las mejoras ambientales del río Tajo anteriormente expuestas o, como éstas, ser objeto de cesión total o parcial en sus mismas condiciones.

Se introduce así un incentivo a la eficiencia de gestión también novedoso y de indudable interés práctico, tanto en este caso concreto como por su posible aplicación a similares situaciones de otras cuencas españolas.

5.3 CONCLUSIÓN

En el capítulo anterior se ha expuesto el proceso de cálculo del nivel de definición de existencias no trasvasables, a partir de la información contenida en el borrador de Normativa del Plan y otros documentos adicionales. El valor resultante de este cálculo es de unos 303 hm^3 , correspondiente a un desembalse objetivo anual de referencia máximo de 425 hm^3 deducido a partir de las previsiones de los borradores del Plan.

En este capítulo se han propuesto dos posibles mejoras ambientales adicionales futuras, no previstas en el borrador de Normativa del Plan, siendo necesario evaluar su efecto sobre la reserva anteriormente citada.

Realizada tal evaluación se concluye que en el caso de asumir las mejoras sugeridas, y siguiendo los criterios expuestos, podría adoptarse 400 hm^3 como el valor de reserva para la definición de volúmenes trasvasables que procedería incorporar en el Plan Hidrológico del Tajo. En consecuencia, la adopción de esta reserva permitiría introducir en el futuro las mejoras ambientales sugeridas sin causar riesgos de fallo suministro a las demandas asociadas

a la cabecera del Tajo y, por tanto, sin necesidad de revisiones adicionales de este umbral de reserva.

Además, se han sugerido distintos mecanismos como la asignación indistinta a mínimos en Talavera o a caudales generadores según sea más conveniente, la acumulación bianual, las posibles cesiones de derechos por no uso o menores desembalses, etc., tendentes a optimizar la explotación del sistema conjunto, incentivando la máxima eficiencia en su gestión.

6. LA DEFINICIÓN DE CIRCUNSTANCIAS HIDROLÓGICAS EXCEPCIONALES

6.1 INTRODUCCIÓN

La Ley 52/1980 atribuyó al Plan Hidrológico del Tajo la determinación del umbral de definición de excedentes trasvasables y el Real Decreto 2530/1985 estableció que, en situaciones hidrológicas excepcionales, la decisión sobre los volúmenes y caudales trasvasables no corresponde a la Comisión Central de Explotación del Acueducto Tajo-Segura, y debe elevarse al Consejo de Ministros.

Tal prevención parece en principio razonable considerando que los efectos socioeconómicos de un suministro excepcionalmente reducido a las demandas del trasvase son de tal magnitud que requieren del máximo nivel de decisión ejecutiva. No obstante, dado que la escasez de aportaciones de las últimas décadas está conduciendo a que tal excepcionalidad lo sea cada vez menos, y que puede actualizarse la regla para automatizar las decisiones en esas coyunturas, cabría también reconsiderar este criterio de forma que el órgano decisor no sea necesariamente el Consejo de Ministros, que en todo caso siempre tiene la facultad de intervención en situaciones de extraordinaria y urgente necesidad, sino el propio Ministro competente, y que se modifique la regla vigente actualizando la definición de las condiciones excepcionales y procurando minimizar la probabilidad de alcanzarlas.

En los epígrafes que siguen se analiza esta importante cuestión mostrando los criterios seguidos para su determinación inicial en la planificación de 1998, el procedimiento sugerido para su actualización, y los resultados obtenidos por aplicación de este procedimiento.

6.2 CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE CÁLCULO

Dado que ninguna indicación sobre el significado técnico preciso de la *excepcionalidad* se aportaba en las normas vigentes antes de la elaboración del Plan del Tajo de 1998, fue necesario entonces proceder a su interpretación y desarrollo, tal y como se expone seguidamente.

Es obvio que para la determinación técnica de las condiciones hidrológicas se requiere definir con precisión qué se entiende por excepcionalidad hidrológica, es decir, cual es el nivel de riesgo que se está dispuesto a asumir antes de que se dispare la alarma de la excepcionalidad o, dicho de otra forma, cual es el mínimo suministro de trasvase que debe estar garantizado antes de que se dispare esta excepcionalidad, siempre suponiendo que las demandas propias de cabecera del Tajo son atendidas al margen, con plena garantía, y con independencia del trasvase.

En los estudios previos realizados para el Plan de 1998 tal mínimo se asimiló a un total trasvasado de 200 hm³ en origen con destino a los abastecimientos del sureste (140 hm³/año) y un riego mínimo de socorro (60 hm³/año). Con ello, sumado a la demanda propia del Tajo (desembalse total 370 hm³/año), se obtuvieron los valores mensuales de la curva de Consejo de Ministros que fue recogida y aprobada en el Plan de 1988.

En el borrador de la actual revisión del Plan, y a falta de estudios de detalle, se adoptó el criterio de elevar toda la curva en 160 hm^3 , que es la diferencia entre la nueva reserva de 400 hm^3 que ahora se propone y los 240 vigentes en ese momento (art.26.3 de la Normativa), alcanzándose así un máximo de 724 hm^3 a comienzos de junio. Esta mera suma es técnicamente incorrecta pues ignora que el efecto de la regulación no es lineal y, por tanto, no puede acumularse.

Para actualizar de forma rigurosa la definición de estas condiciones excepcionales cabe seguir el mismo hilo argumental del Plan de 1998 pero adaptando la situación de 1998 a las nuevas circunstancias actuales.

Estas nuevas circunstancias de hoy son fundamentalmente cuatro: las distintas demandas del Tajo que deben atenderse desde cabecera, la disponibilidad de una fuente alternativa de recursos para abastecimientos del sureste (desaladoras), la existencia formal de Planes de sequía, y la existencia de mecanismos de cesión de derechos de agua.

Las distintas demandas a atender desde cabecera se condensan en los desembalses de referencia ya analizados en capítulos anteriores, dependientes básicamente del supuesto de funcionamiento de la nueva concesión para abastecimiento del CYII.

Una novedad fundamental es, como se ha señalado, la disponibilidad en destino de nuevos recursos para abastecimientos procedentes de la desalación, lo que permite absorber los futuros incrementos de la demanda y reducir temporalmente las necesidades actuales de trasvase para este uso, a costa de un incremento de producción del agua desalada y un encarecimiento apreciable de los costes medios aplicables a los municipios por parte de la MCT. Tratándose de una medida singular, forzada por la necesidad, es razonable que sea asumida por todos y considerada en nuestros análisis.

Por otra parte, en marzo de 2007 se publicó el Plan Especial de Actuación en Situaciones de Alerta y Eventual Sequía de la Cuenca Hidrográfica del Tajo (en lo sucesivo PES), aprobado por Orden del Ministerio de Medio Ambiente MAM/698/2007, de 21 de marzo, lo que constituye otra importante novedad respecto a la situación anterior. En este Plan, y siguiendo la vigente regla de explotación, se definen 3 situaciones para la cabecera que son la prealerta (trasvase mensual de 38 hm^3), alerta (23 hm^3) y emergencia (reservas inferiores a 240 hm^3) (Documento de Operatividad, pág.9), y para el Tajo Medio se define una situación de emergencia vinculada a la satisfacción del mínimo de Aranjuez, de forma que se alcanza el umbral de Emergencia cuando el flujo mensual por la estación AR-09 de la red SAIH (río Tajo en el azud Fuente de la Huelga, en las inmediaciones aguas arriba de Aranjuez) sea inferior a $15,55 \text{ hm}^3$ (pág. 90).

Cabe señalar que en este documento hay una interpretación incorrecta del umbral de reservas de 240 hm^3 , pues se afirma (pág. 90) que las demandas del sistema están garantizadas si las existencias son superiores a 240 , cuando la realidad es que las demandas están garantizadas *siempre*, siendo los 240 el nivel de prohibición de trasvase, precisamente fijado para asegurar la satisfacción de las demandas del Tajo *en todo caso*. El recorrido entre el embalse mínimo operativo de 118 hm^3 y los 240 hm^3 es el volumen de embalse necesario para garantizar la satisfacción completa y sin restricciones de las demandas de cabecera del Tajo, incluyendo obviamente los flujos mínimos de Aranjuez.

Por otra parte, en el Anexo VIII del PES (Catálogo de Medidas) se establece que, de forma general para las demandas propias de la cuenca del Tajo, la declaración de situaciones de alerta implica reducciones del 35% en los suministros de regadíos, mientras que en prealerta se proponen reducciones del 15% (Apéndice VIII.1, Programa de Actuaciones, pág. 4 de 17).

En situación de emergencia se plantea incluso la suspensión de suministros para riego y la intensificación de restricciones para los abastecimientos. Además, en todos los casos se establecen otras medidas adicionales tendentes al reajuste de demandas de abastecimientos urbanos, con reducciones objetivo del 5% en prealerta (pág.13), del 15% en alerta (pág.15), y del 50% en emergencia (pág.16), así como el despliegue de otros instrumentos de incremento de recursos, gestión de la demanda y actuaciones administrativas.

Por estos conceptos, y considerando el PES, cabría suponer que en situación de alerta (que es la de nivel 3 o remisión a Consejo de Ministros) los riegos asociados a la cabecera se podrían reducir un 35%, y los abastecimientos un 15%, aunque la existencia del trasvase no exija ni condicione reducción alguna al respecto. Ha de recordarse que la regulación del trasvase ha de asegurar que no se menoscaban nunca los suministros necesarios para las demandas del Tajo que procedan en cada caso, y estos suministros necesarios han de satisfacer, obviamente, las prescripciones del PES.

Además, cabría tener en cuenta otros factores como que algunas de las demandas nominales no han sido aún desarrolladas y se requerirán años antes de alcanzar estos valores, o que existen recursos subterráneos alternativos que podrían también reducir algunas de las demandas superficiales.

Por último, en estas circunstancias de escasez cabe también la aplicación de mecanismos de cesión de derechos, que reducirían aún más las necesidades consideradas. Estos mecanismos son también novedosos e inexistentes cuando se formuló el Plan de 1998. En el PES, Apéndice VIII.1, se prevé la activación automática de los centros de intercambio de derechos en situación de alerta (nivel 3).

En relación con la cesión de derechos es oportuno precisar un par de cuestiones. En primer lugar, ha de notarse que además de este automatismo previsto en el PES en situación de alerta, la cesión de derechos puede llevarse a cabo en cualquier momento, entre cualesquiera titulares de derechos a la utilización de aguas públicas, dentro de la misma demarcación o entre demarcaciones diferentes, y con independencia del nivel hidrológico en el que se encuentre, e incluso por debajo del nivel de reserva de 400 hm³. No alcanzar este nivel implica la inexistencia de agua susceptible de trasvase y por tanto, la imposibilidad de su trasvase, pero ello no debe confundirse con la posibilidad de una cesión de derechos de aguas asignadas a un usuario específico con otro usuario, mediante acuerdo privado o recurriendo a un centro de intercambio. A este respecto es fundamental distinguir en la cuenca cedente entre aguas concedidas, que son las susceptibles de cesión de derechos por voluntad de sus titulares y operan al margen de posibles trasvases, y aguas libres, que son las susceptibles de ser trasvasadas, al margen de voluntades, si se dan las condiciones tasadas fijadas en sus normas de explotación.

En definitiva, por todo lo expuesto, y de forma conservadora, se propone asumir a nuestros efectos de diseño que no hay ninguna reducción de los desembalses de cabecera para el Tajo en situación de prealerta, y hay una reducción del desembalse del 15% (correspondiente a prealerta en el PES) en situaciones de alerta y emergencia. Esta reducción engloba todas las circunstancias anteriores, y se supone aplicada al desembalse de referencia correspondiente a la activación total de la concesión CYII, dado que estos caudales se plantean como complementarios para situaciones críticas, como sería el caso. Asimismo se asume que no hay nunca reducciones en el mínimo de 6 m³/s de Aranjuez, pese a que tanto el PES como el propio borrador de Plan (art.15 Normativa) prevén la reducción temporal de los caudales ecológicos mínimos en estas situaciones. También se asume que en estas circunstancias excepcionales no cabe disponer de caudales adicionales mínimos o generadores más allá de

los fijados de forma estándar. El resto de condiciones técnicas (evaporaciones, etc.) son las ya descritas anteriormente.

El cálculo de regulación mensual siguiendo estos criterios ofrece los resultados que seguidamente se exponen.

6.3 RESULTADOS OBTENIDOS

Aplicando los criterios indicados, el desembalse de referencia desde Bolarque propio para el Tajo en situación de alerta y emergencia resultaría ser de 361 hm³/año, similar al desembalse anual de referencia en la situación de base (365 con la no activación de la concesión CYII). Ello revela la idoneidad de emplear siempre este desembalse básico de referencia para el estudio de la explotación actual, aunque para calcular la reserva se hayan utilizado 425, y para alcanzar técnicamente los 400 se requiera introducir adicionalmente las mejoras ambientales antes descritas.

Si al desembalse de 361 se suma un volumen anual adicional para trasvase en situación de alerta o de nivel 3 (en emergencia estaría prohibido), y se supone razonablemente que a efectos de diseño este volumen anual puede enviarse en 10 meses, reservando 2 para mantenimientos y reparaciones del canal, los resultados de reserva mínima necesaria en el mes de máxima necesidad o valor máximo mensual de la curva de Consejo de Ministros (ordenadas), en función del volumen trasvasable mensual máximo de diseño (abscisas), son los mostrados en la figura.

Puesto que, como se señaló, hay algunas diferencias entre ambas, se han repetido los cálculos de regulación con las dos series de aportaciones, las CCE y la PHT, antes descritas, ofreciéndose ambas curvas en la figura.

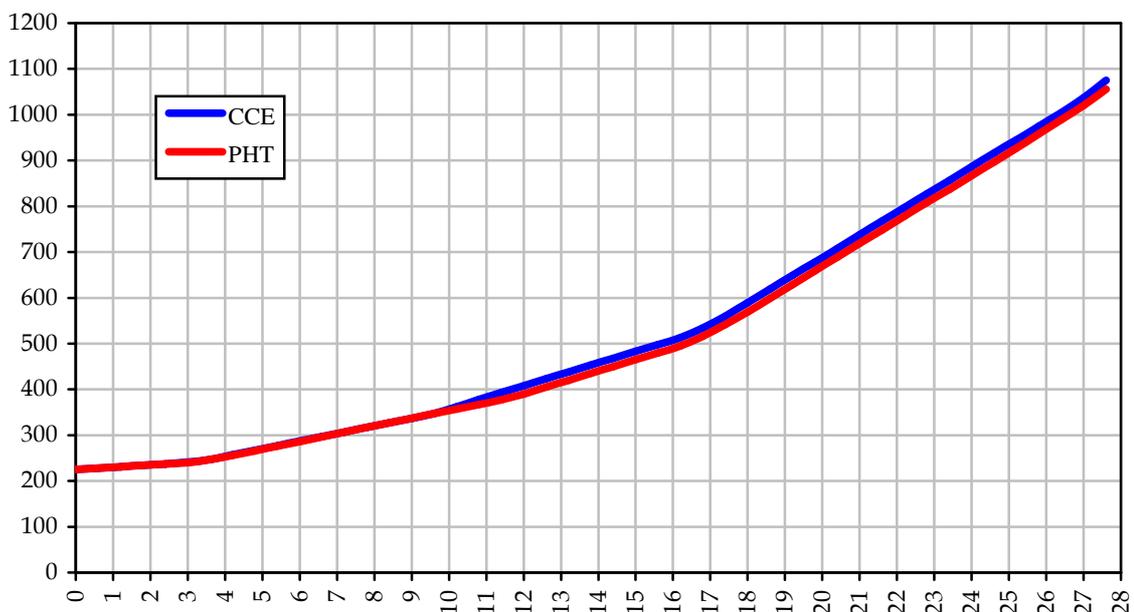


Figura 43. Reserva máxima correspondiente a cada nivel de trasvase mensual en situación de nivel 3 o alerta (hm³)

Puede verse que las dos series proporcionan resultados prácticamente iguales por lo que el empleo de una u otra no resulta crítico. Del lado de la seguridad emplearemos la CCE, con valores de embalse algo mayores a partir de 10 hm³/mes.

Se observa que la función obtenida parece una poligonal convexa formada por diferentes segmentos cuasi-rectos, lo que corresponde sin duda a la sucesiva activación de diferentes periodos críticos de la serie de aportaciones.

Para trasvases mensuales entre 0 y 27 hm^3 los niveles de embalse requeridos (máximos de las curvas de Consejo de Ministros) oscilan entre 225 y 1037 hm^3 . Adoptar un valor u otro depende de la ponderación entre lo que se considere para el trasvase el mínimo extraordinario de emergencia y el correspondiente riesgo de anticipación –intervención del Consejo de Ministros- que se esté dispuesto a asumir.

Si se adopta un trasvasable mensual más reducido, la curva en situación de nivel 3 o alerta se reducirá, tardará más en activarse este nivel y cuando se alcance podrá trasvasarse menos. A cambio de ello, la estabilidad de suministros será mayor, con menores oscilaciones intra e interanuales.

Si se alcanza el nivel 3 entonces el trasvase mensual se reduciría respecto al de nivel 2, las desaladoras de la MCT incrementarían su producción para adecuarse a la demanda compensando la reducción, y la cabecera estaría en situación de alerta a los efectos del PES, debiendo desplegarse las actuaciones previstas para estas situaciones excepcionales de sequía.

Para evaluar el posible trasvase en situación de nivel 3, y con el carácter de una primera orientación indicativa, un trasvasable mínimo teórico absoluto en esta situación sería el correspondiente a la suma de los mínimos absolutos requeridos para los abastecimientos ($5 \text{ hm}^3/\text{año}$ para la MCT imprescindibles por razones técnicas de topología de la red, a los que cabe incrementar un 20% para margen de seguridad y otros abastecimientos fuera de la MCT, resultando un total aproximado de $72 \text{ hm}^3/\text{año}$), mas los 60 previamente supuestos como riego de socorro, todo ello en destino. El total sería de $132 \text{ hm}^3/\text{año}$ (147 en origen), que con el criterio de operación indicado supondría trasvasar $15 \text{ hm}^3/\text{mes}$ en origen en el nivel 3. Si se prescinde por completo de los riegos, se requeriría un mínimo absoluto en origen de unos $72 \text{ hm}^3/\text{año}$, y forzando a condiciones extremas teóricas y sumamente costosas de funcionamiento de las desaladoras y gestión de la red, de muy dudosa viabilidad práctica.

Si se supone que el riego de socorro de 60 es insuficiente y se eleva a $100 \text{ hm}^3/\text{año}$ en destino, cifra más próxima a los valores mínimos “ordinarios”, que resultan de exceptuar los años agónicos de extrema sequía (1992-1994 y 2005-2007), tal y como se observa en la figura, entonces el trasvasable mensual en nivel 3 sería de 20 hm^3 en origen, y ello en condiciones de extremo forzamiento de los abastecimientos urbanos.

Análogamente, si se supone que los 5 de abastecimientos en destino son teóricos e irrealizables en la práctica, y se elevan a un total de 7.5, magnitud más encajada con la realidad actual, entonces se obtienen con igual criterio unos 20 hm^3 en origen. Prescindir por completo de los riegos conduciría en este caso de abastecimiento estricto a $100 \text{ hm}^3/\text{año}$ ($8.4 \text{ hm}^3/\text{mes}$) en origen.

En definitiva, ponderando estas diferentes consideraciones, una propuesta prudente y razonable de volumen trasvasable máximo en origen en situación de nivel 3 sería de $20 \text{ hm}^3/\text{mes}$.

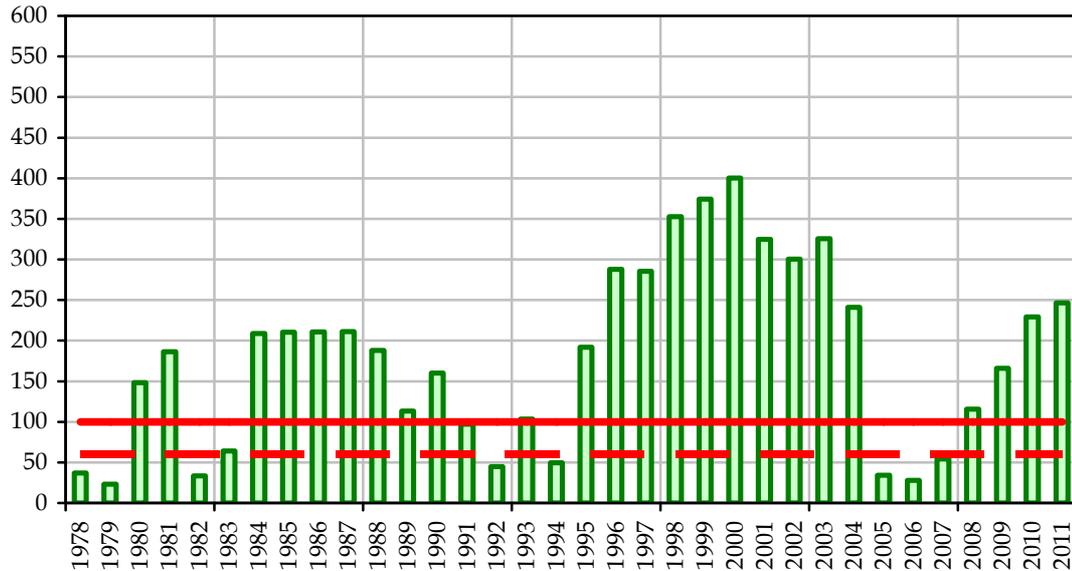


Figura 44. Suministros anuales a los regadíos en destino (años hidrológicos)

Desde el punto de vista del análisis de sensibilidad, y considerando lo expuesto, parece adecuado sugerir inicialmente una horquilla en torno al mínimo de $20 \text{ hm}^3/\text{mes}$ de trasvase en origen para el nivel 3, lo que supone, junto con el desembalse para el Tajo de $361 \text{ hm}^3/\text{año}$, diferentes curvas de Consejo de Ministros tal y como se mostrará. La fijación del valor final dentro de la horquilla puede abordarse posteriormente de forma conjunta con el resto de variables de control de la regla de explotación.

En efecto, es obvio que los mencionados efectos sobre los volúmenes trasvasables no solo dependen de la especificación de las condiciones de situación hidrológica excepcional, sino que también son función de los valores que se adopten para el máximo mensual trasvasable en los niveles superiores 1 y 2 (hoy fijados en 68 y $38 \text{ hm}^3/\text{mes}$ respectivamente), así como de los valores definitorios de la situación 1 (1500 hm^3 embalsados y aportaciones acumuladas de $1000 \text{ hm}^3/\text{año}$), todas ellas variables de control del problema.

La mera consideración de la ecuación del balance a largo plazo permite entender que, una vez fijado el desembalse de referencia y la reserva, los trasvasables medios anuales serán muy similares, con ligeras diferencias debidas a la diferente evaporación, sean cuales sean los valores de las variables de control, pero la modulación de los envíos sí que puede verse afectada de forma muy significativa.

Puesto que los resultados concretos de la explotación dependen, en definitiva, no solo de la especificación de las condiciones hidrológicas excepcionales, sino del conjunto de variables de control que intervienen en la regla, y la dependencia es compleja, con fuertes no-linealidades, discontinuidades y umbrales de corte, su investigación dista de ser trivial y requiere el recurso a técnicas de simulación numérica, tal y como se expondrá en los próximos capítulos.

Desde el punto de vista de la estacionalidad de las curvas, sus diferentes valores mensuales (existencias totales requeridas a comienzos de mes), según el valor de la horquilla que se adopte, son los mostrados en la figura. El valor señalado en cada curva es el continuo permanente (hm^3/mes), mientras que el mostrado entre paréntesis es el equivalente supuesto funcionamiento del canal en 10 meses, que adoptamos como supuesto realista de diseño. Obviamente, como ya se indicó, a éste se añade el desembalse propio para el Tajo cifrado en

361 hm³/año, asimilable en la práctica al estándar de referencia de 365, y las curvas corresponden a los desembalses totales resultantes en cada caso.

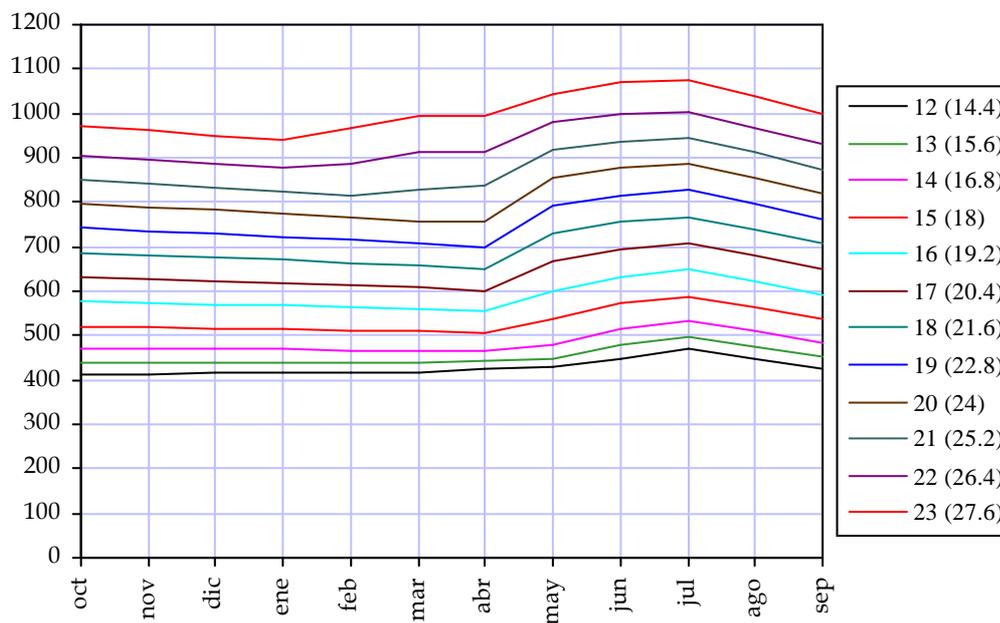


Figura 45. Curvas de Consejo de Ministros correspondientes a cada nivel de trasvase mensual en situación de nivel 3

Como se observa, hay un ligero cambio en su modulación respecto a las curvas de reserva no trasvasable, explicable por las diferentes modulaciones de los desembalses requeridos.

Asimismo se observa que en la horquilla analizada las curvas tienen una forma muy similar, diferenciándose tan solo en su desplazamiento vertical. Para apreciar mejor este efecto, la siguiente figura muestra las diferencias de desplazamiento respecto a la anterior en cada mes.

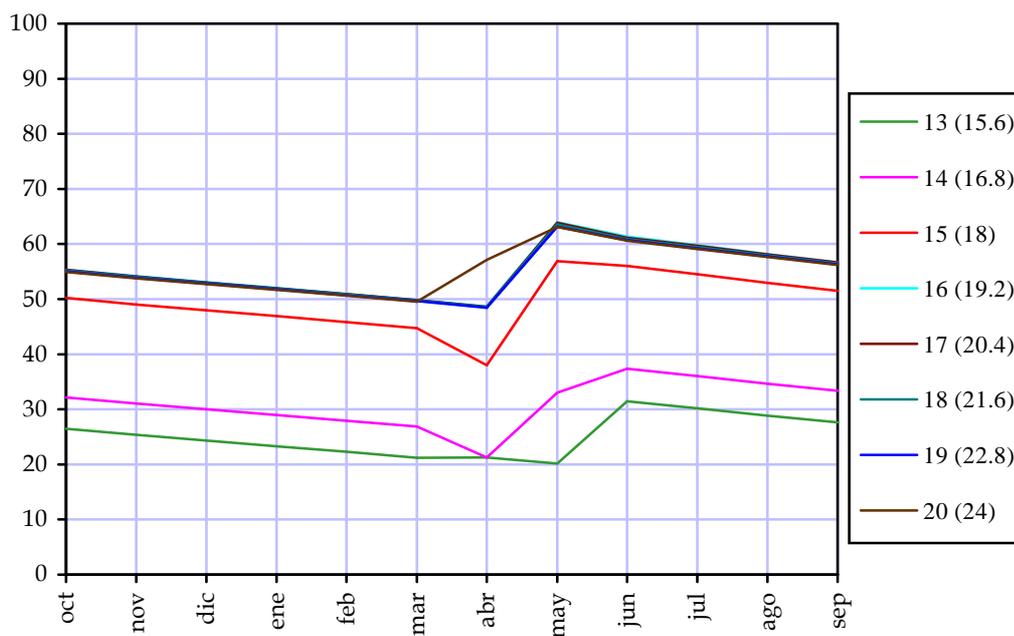


Figura 46. Desplazamientos de las curvas correspondientes a cada nivel de trasvase mensual en nivel 3

Puede verse que en la horquilla continua de 15 a 20 hm³/mes, una aproximación suficiente para las pruebas de simulación sería suponer desplazamientos de las curvas de 50 hm³ por cada hm³ mensual adicional, partiendo de la base dada por la curva de 15. No existe, en cualquier caso, riesgo de error dado que en el ajuste final se pueden verificar los valores exactos y sobre todo, como prueba definitiva y concluyente, chequear la total ausencia de restricciones al Tajo.

La curva base para 15 hm³/mes teóricos continuos (equivalentes a 18 operativos) es la mostrada en la tabla. Como se observa, el máximo es de 589 hm³ y se alcanza a comienzos de julio. Se incluye también la curva correspondiente a 16.7 hm³/mes continuos (20 operativos), que se considera en principio, y por las razones expuestas, como la opción aconsejable. El máximo se produce también a comienzos de julio y alcanza los 688 hm³.

La recomendación final sería, en consecuencia, proponer un valor de trasvasable en nivel 3 de 20 hm³/mes, con la curva de definición mostrada en la tabla (existencias embalsadas a comienzos de mes expresadas en hm³).

A resultas del análisis conjunto de sensibilidad, en el que se integrarían los otros parámetros de la regla, podría modificarse ligeramente esta cifra. A tales efectos es importante recordar que, a diferencia de lo que sucede en los otros niveles, se trata de un valor máximo y no fijo, que será dilucidado en cada caso concreto, por lo que la opción de 20 puede en la práctica admitirse como mínima, pudiendo adoptarse orientativamente un intervalo 20-25 para análisis de sensibilidad. Ello es básicamente concordante con el valor vigente de 23 hm³/mes.

trasvase	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
15=18 op.	521	519	517	515	512	508	505	538	571	589	564	537
16.7=20 op.	613	609	605	602	597	591	586	645	673	688	661	631

Tabla 20. Situación hidrológica excepcional. Supuestos de 18 y 20 máximos mensuales.

Con todos estos resultados es posible abordar ya el estudio detallado de las reglas de explotación, tendente a su actualización y optimización. No obstante, antes de ello resulta conveniente contrastar los efectos que tendrían las modificaciones apuntadas sobre las transferencias al Segura y Guadiana, pues los efectos sobre el Tajo son nulos al estar asegurado su suministro preferente. El análisis de tales efectos sobre las áreas receptoras puede ser útil para orientar las estrategias de optimización más adecuadas.

7. LOS EFECTOS SOBRE EL TRASVASE TAJO-SEGURA-GUADIANA

7.1 INTRODUCCIÓN

Una vez analizados los desembalses de referencia, reservas, posibles mejoras ambientales y situaciones hidrológicas excepcionales, procede ahora valorar el impacto de todo ello sobre las posibilidades de transferencia desde la cabecera del Tajo a las cuencas receptoras del Segura y Guadiana. Como se señaló, conocer el tipo y magnitud de estos impactos es útil para plantear la estrategia hacia la que debe orientarse la revisión de las reglas de explotación. Además, se trata de un asunto fundamental desde el punto de vista de la percepción social de los cambios introducidos en el Plan, singularmente en lo relativo a los efectos de la elevación de la reserva no trasvasable, cuestión sumamente polémica que, huyendo de simplezas, debe ser abordada con la mayor objetividad y rigor.

Para ello se ha construido un modelo detallado de simulación de la explotación del trasvase mes a mes, que admite como variables todas las magnitudes que intervienen en la definición de las reglas, y permite realizar, en una ejecución única, simulaciones iteradas modificando tales variables en los rangos y resoluciones que se desee, y utilizando cualquier número de series de cualquier longitud. Tomando el embalse inicial y las aportaciones de la serie dada, se ejecuta el balance mes a mes aplicando la regla de explotación con el desembalse de referencia, las aportaciones conocidas y sus variables de control actuales, incluyendo la evaporación, y se obtienen diferentes resultados respecto a los trasvases mensuales y anuales resultantes, la evolución de los niveles de la explotación y de las existencias embalsadas, diferentes indicadores de gestión, etc.

Además, el modelo permite aplicar diferentes supuestos de asignación de menores pérdidas y criterios de distribución, tanto por bloques como proporcional con umbrales, ofreciendo así información no solo del trasvasable mensual total, sino de su distribución por usos mes a mes.

Las hipótesis adoptadas y los resultados obtenidos son los mostrados a continuación.

7.2 HIPÓTESIS DE CONTRASTE

Como supuestos de contraste se adoptan los siguientes:

Desembalses propios para el Tajo:

- D0 media de los desembalses históricos
- D1 desembalse de referencia de 365 hm³/año, descrito anteriormente
- D2 desembalse de referencia de 425 hm³/año, descrito anteriormente

Como valor más verosímil se sugiere adoptar D1, dado que la nueva concesión CYII no estará plenamente activa en 2015, y las mejoras ambientales lo son, en su caso, para el futuro, no estando previstas en el borrador actual del nuevo Plan.

Reserva no trasvasable:

- R1 valor actualmente vigente de 240 y Curva de Consejo de Ministros (CCMin) actualmente vigente.
- R2 nueva reserva de 400 y nueva CCMin del borrador de Normativa del Plan.
- R3 nueva reserva de 400 y nueva CCMin para trasvase de 20 hm³/mes en nivel 3.

La serie de aportaciones empleada es la recomendada CHS-CCE, desde el año hidrológico 1980-81 hasta hoy (32 años completos). Las existencias realmente embalsadas en octubre de 1980 eran de unos 1500 hm³, adoptándose ese valor como almacenamiento inicial. Nótese que los indicadores obtenidos pueden experimentar alguna variación por efecto de esta condición inicial, pero se asume que es admisible a efectos de los análisis comparativos de diferentes hipótesis y, sobre todo, permite un contraste con la realidad de lo históricamente sucedido que no sería posible si se adopta otro supuesto distinto. Además, asumir el mismo valor inicial sea cual sea la reserva supone también que la diferencia obtenida incluirá el efecto de una diferente disponibilidad trasvasable inicial. Para separar este efecto cabría reproducir el cálculo pero suponiendo iguales no las existencias iniciales sino las disponibilidades trasvasables iniciales.

Los trasvases realizados en los 12 meses anteriores, requeridos por la regla, pueden suponerse nulos, y el máximo anual trasvasable se cifra, por las razones ya expuestas, en 620 hm³/año en origen.

El resto de variables y condiciones son las actualmente vigentes, sin modificación alguna.

Con todo ello, se han llevado a cabo diferentes análisis:

- Comparación de los trasvases producidos según el desembalse de referencia y la reserva adoptados.
- Efecto sobre los volúmenes trasvasables de la modificación de las reservas para cualquier valor por encima de los 240, suponiendo la misma curva de Consejo de Ministros actual con un desplazamiento simple e igual al de la reserva (criterio seguido en el borrador de Normativa del Plan).
- Fijación de la reserva en 400, y análisis del comportamiento del sistema para distintas opciones de la curva de Consejo de Ministros. Específicamente, efectos sobre el volumen trasvasable, y efectos sobre la frecuencia de presentación de los distintos niveles de explotación.

Seguidamente se describen estos análisis y sus resultados obtenidos.

7.3 EFECTO DEL DESEMBALSE DE REFERENCIA SOBRE LOS VOLÚMENES TRASVASABLES

Conforme a lo indicado, en primer lugar se realiza una comparación entre los trasvases producidos según el criterio seguido para el desembalse de referencia y la reserva no trasvasable. Se han supuesto tres hipótesis de desembalses de referencia y dos hipótesis de reservas, una de ellas con dos variantes respecto a la Curva de Consejo de Ministros. Los resultados obtenidos en cada caso se exponen seguidamente.

7.3.1 Desembalse de referencia histórico

La primera hipótesis es la de que el desembalse de referencia para el Tajo sea el histórico medio realmente producido mes a mes en el subperiodo de análisis, desde 1991-92 a 2011-12. La razón de no tomar todos los años desde 1980 es que, como se mostró, los años iniciales presentan desembalses muy elevados, y no es hasta comienzos de los 90 que la explotación se optimiza y estabiliza. La cuantía media de este desembalse histórico de referencia es de 316 hm³/año, con la distribución estacional mostrada anteriormente.

Si se supone que este desembalse medio es el que hay que atender cada año, y se simula el comportamiento del sistema aplicando la regla de explotación vigente con los 240 hm³ de reserva y la curva de Consejo de Ministros actualmente vigente, el resultado es el mostrado en la figura con línea azul. Si en lugar de 240 se exige una reserva de 400 y se asume la misma curva pero elevada 160 hm³, que es exactamente lo que supone el borrador de Normativa del nuevo Plan Hidrológico, entonces los trasvases anuales producidos son los mostrados con línea roja. Adicionalmente, como contraste, se representan los trasvases históricos realmente producidos, con línea negra.

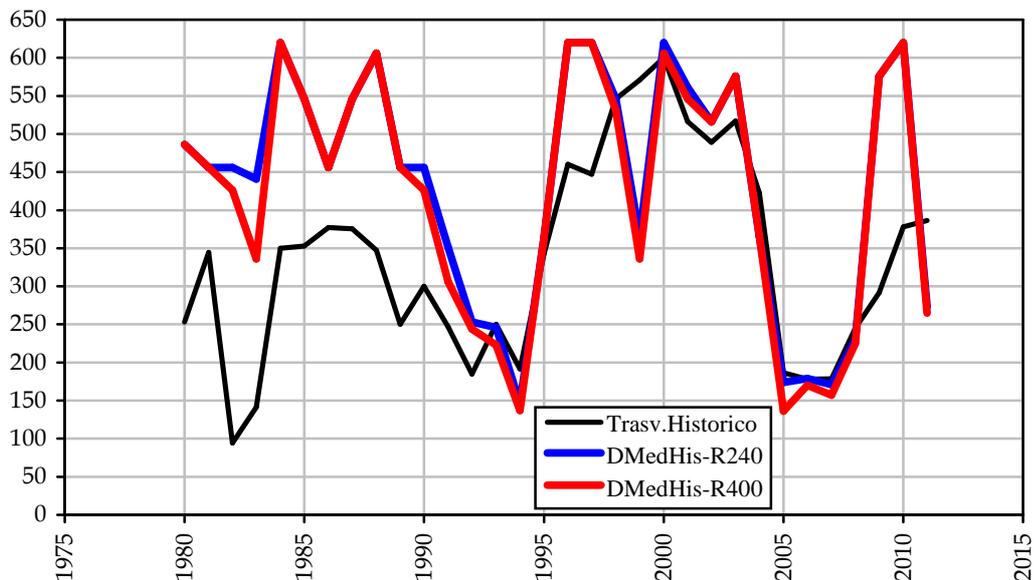


Figura 47. Trasvases anuales en origen (años hidrológicos). Hipótesis DMedHis

El examen de esta figura permite extraer interesantes conclusiones. En primer lugar, puede verse que el efecto de la reserva sobre los volúmenes trasvasados es muy poco significativo. Las líneas azul y roja son prácticamente coincidentes, superponiéndose en muchos años, y arrojan valores de trasvase medio de 434 y 422 hm³/año respectivamente. La reducción debida a subir la reserva a 400, unos 12 hm³/año, es de apenas el 2.7%, y ello partiendo del mismo embalse inicial y no del mismo volumen trasvasable inicial, como sería necesario si se pretende comparar el efecto exclusivo de la elevación por mayor evaporación, sin añadir el de la pérdida de disponibilidad inicial. Si se simula de este modo, partiendo del mismo trasvasable, el efecto estricto del cambio de lámina (mayor evaporación) es de unos 8 hm³/año (trasvasable con 400 de 426 hm³/año y evaporaciones medias de 61 y 69 hm³/año para 240 y 400 respectivamente).

Los mínimos anuales trasvasados son muy similares, de 146 y 136 hm³ respectivamente, ambos mayores que el mínimo histórico, del orden de 100 hm³.

Se observa, asimismo, que se hubiera podido trasvasar el máximo o valores próximos al máximo en varias ocasiones, y no solo en el histórico año 2000.

La media histórica del trasvase realmente producido en este periodo (1980-2012) es de 338 hm³/año, apreciablemente inferior a la que resultaría de haber aplicado la regla de explotación. Los trasvases anuales históricos son muy inferiores a los determinados por la regla en la década de los 80, en la que no había regla aprobada y se trasvasó menos. Desde que la regla entró en vigor en 1998 hasta el 2011 se ha trasvasado realmente una media de 393 hm³/año, mientras que si en ese mismo periodo se hubiese aplicado estrictamente la regla vigente, la media trasvasada habría sido de 412 hm³/año, casi 20 hm³/año más. Incluso con reserva de 400, el trasvase hubiera sido mayor, alcanzando una media de 402 hm³/año.

En todos los casos, la aplicación de la regla no hubiese nunca menoscabado las demandas del Tajo, que habrían recibido siempre todas, en todos los meses del periodo, la totalidad de su asignación.

Para apreciar mejor estos efectos, la siguiente figura muestra, con el mismo código de colores para las tres situaciones contempladas, los datos de existencias embalsadas en Entrepeñas-Buendía, a escala mensual desde el año 1980 hasta hoy, en los tres supuestos: histórico y simulaciones de aplicación de la regla vigente con desembalse de referencia histórico de 316 hm³/año y reservas de 240 y 400 hm³.

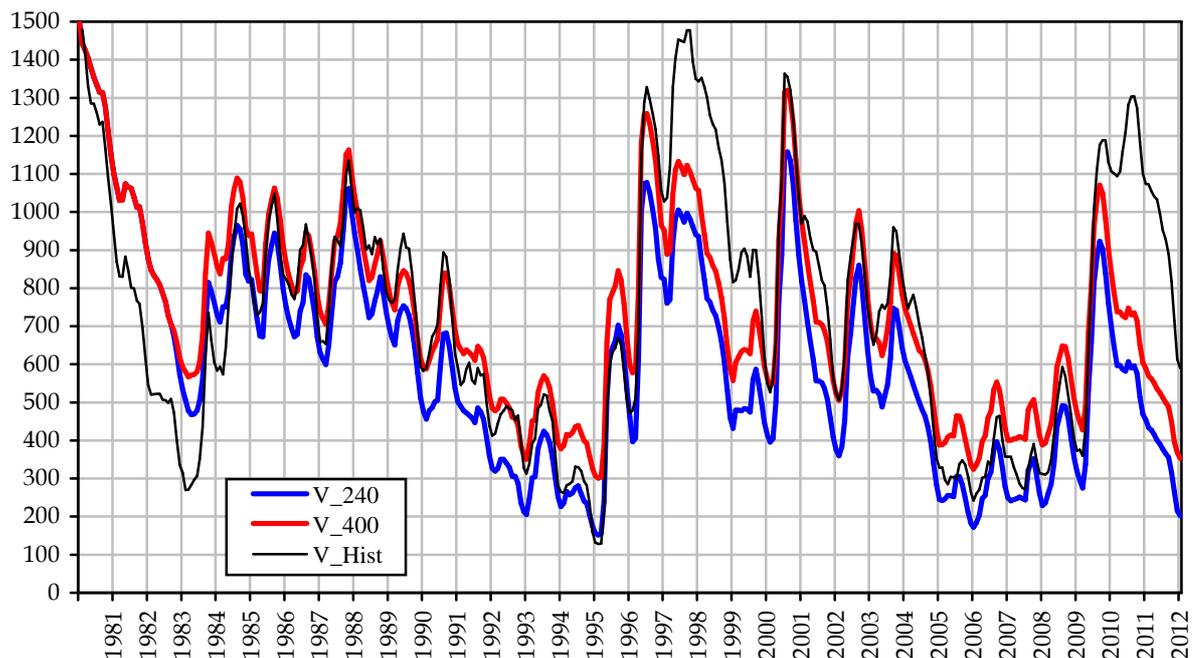


Figura 48. Existencias embalsadas mensuales. Hipótesis DMedHis

Como puede verse, el patrón de comportamiento de las existencias embalsadas es muy similar en los tres supuestos. Solo en los periodos de finales de los 90 y a partir de 2010, se elevan ocasionalmente por encima de las simulaciones, mientras que a comienzos de los 80 están por debajo.

Observando la evolución de las dos curvas de existencias simuladas puede verse que son idénticas, con total superposición, en los primeros años y que a partir de cierto momento, en

torno a 1983, se produce la separación, aumentando progresivamente la diferencia hasta que parece alcanzar un valor estable, avanzando las dos curvas en paralelo.

Para evaluar este paralelismo, la siguiente figura muestra la diferencia entre existencias mensuales embalsadas en los dos supuestos de reservas (400-240), permitiendo apreciar con toda claridad el mencionado comportamiento.

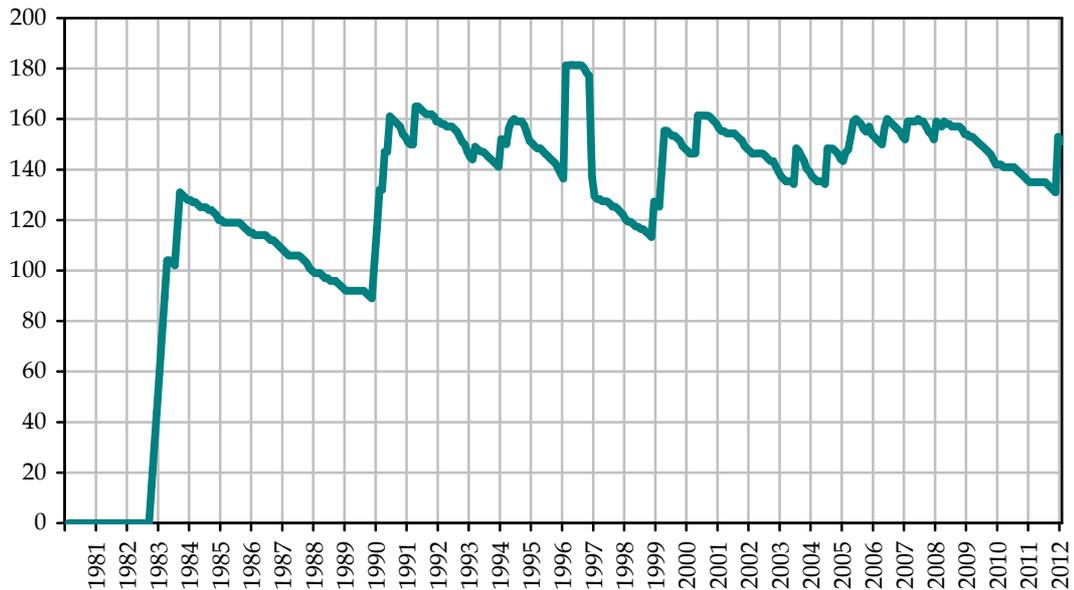


Figura 49. Serie de diferencias de las existencias embalsadas mensuales. Hipótesis DMedHis

En efecto, tras un periodo inicial de concordancia, la diferencia de existencias embalsadas va aumentando hasta alcanzar en poco tiempo unos 130 hm^3 , que van decayendo lentamente en 6 años hasta 90 hm^3 , y vuelve a subir estabilizándose en torno a los 160 hm^3 , con oscilaciones entre 120 y 180 hm^3 inducidas por las diferentes evaporaciones, saltos de nivel y trasvases asociados.

En consecuencia, y como ya se ha apuntado anteriormente, una vez salvada esta diferencia inicial de 160 hm^3 , una sola vez en toda la historia, el comportamiento del sistema a lo largo del tiempo es similar, con curvas de existencias embalsadas sensiblemente paralelas y desplazadas unos 160 hm^3 , sea cual sea la serie futura de aportaciones que se produzca.

Estas aportaciones afectarían a las desviaciones coyunturales respecto al valor de fondo de 160, pero no introducirán cambios sustanciales de comportamiento en ambos supuestos desde el punto de vista de la evolución de las existencias y de las cantidades trasvasables.

Para comprobar esta similitud de los posibles trasvases, en la siguiente figura se representan los volúmenes mensuales trasvasables desde 1980 hasta hoy, resultantes de las dos simulaciones de aplicación de la regla, con 240 y con 400 hm^3 de reserva, suponiendo en ambos casos el desembalse de referencia histórico de $316 \text{ hm}^3/\text{año}$.

En la figura se ha representado también el trasvase mensual histórico realmente producido.

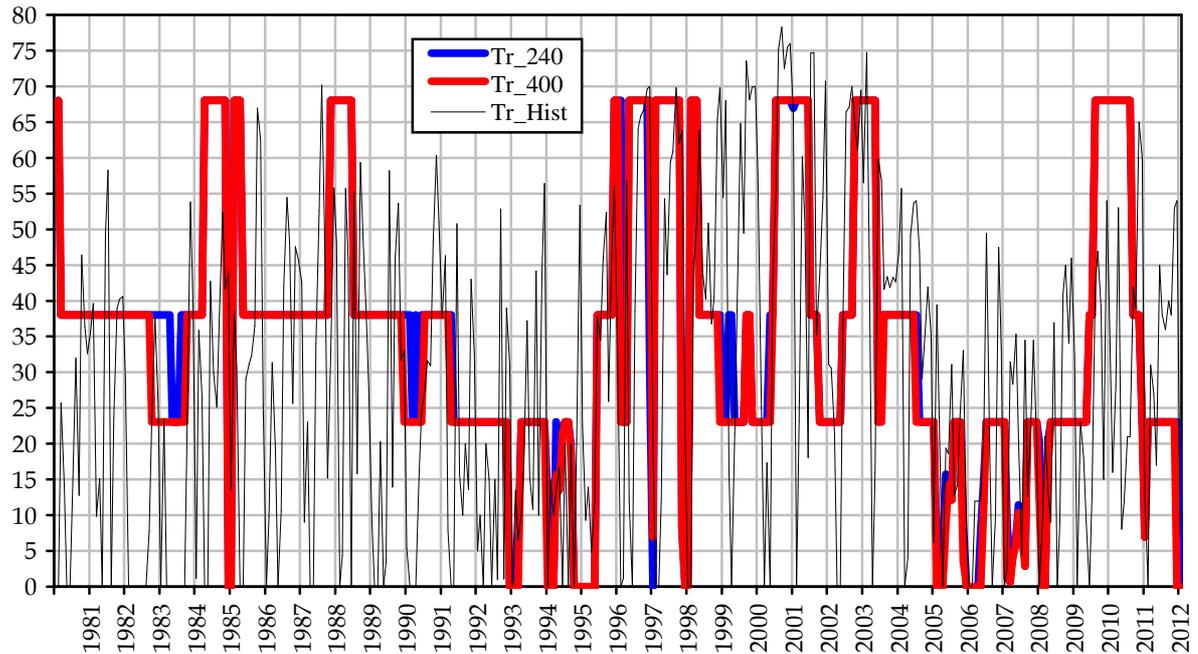


Figura 50. Trasvases mensuales en origen. Hipótesis DMedHis

Como se observa, ambas líneas de trasvase para reservas de 240 y 400 hm³ se superponen prácticamente en todo el periodo simulado 1980-2012, y la diferencia entre los volúmenes mensuales trasvasados en ambos casos es casi indistinguible, solo diferenciándose en unos pocos meses concretos y en magnitudes moderadas. Esta similitud de trasvase mensual es obviamente análoga a la de los trasvases anuales, que resultan de la acumulación de estos mensuales, y que ya se mostraron anteriormente.

El patrón de trasvases mensuales obedece obviamente a la activación de los distintos umbrales correspondientes a los diferentes niveles establecidos por la regla vigente. Puede verse que en las sequías de 1992-1996 y 2005-2009 se dan situaciones de excepcionalidad hidrológica (nivel 3, trasvase de 23 hm³/mes) e incluso de no trasvase (nivel 4). No obstante, en ningún caso dejó de suministrarse en su totalidad la demanda del Tajo, sin restricción alguna en ningún mes de toda la serie.

Es también interesante observar la gran irregularidad de los envíos históricos, mayor aún que la resultante de la estricta aplicación de la regla vigente. Tal irregularidad de envíos introduce efectos negativos en la explotación del sistema y es claramente desaconsejable, por lo que sería conveniente procurar su reducción, manteniendo obviamente los valores medios.

Para observar cuantitativamente este efecto de la irregularidad se han computado los porcentajes de presentación de los 4 diferentes niveles de la regla de explotación, a los que se añaden un nivel 5, correspondiente a fallos de garantía en el Tajo, y un nivel 6 indicativo del vaciado del embalse hasta su nivel mínimo de embalse muerto. Los resultados obtenidos son los mostrados en la figura.

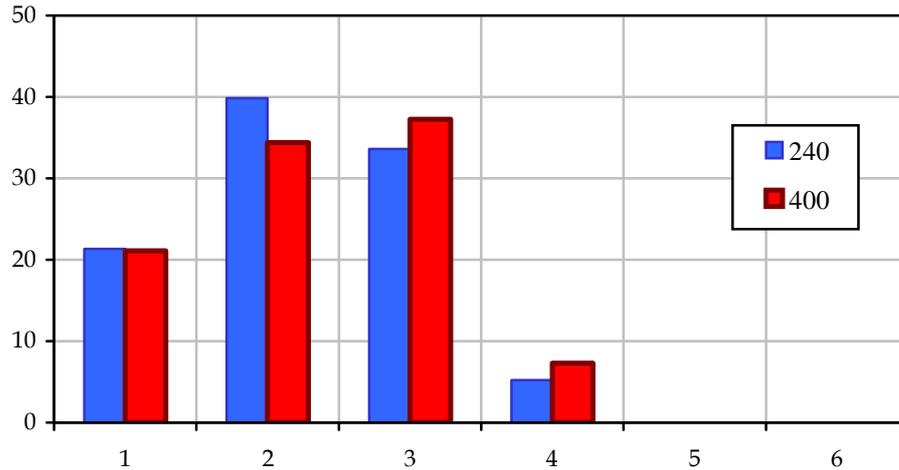


Figura 51. Porcentajes de presentación de niveles. Hipótesis DMedHis

Puede verse que en ambos supuestos de reservas los porcentajes de ocurrencia son similares, dominando el nivel 2 pero con una fracción similar de meses en nivel 3, del orden del 35%. El nivel 4 (no trasvase) se alcanza un 5-8% de los meses, y nunca se alcanzan los niveles 5 y 6, es decir, siempre se satisfacen plenamente las demandas propias del Tajo sin agotar nunca el embalse útil.

Es claro que no puede calificarse como *excepcional* una situación hidrológica que se produce un 40% de los meses (nivel 3 ó 4) por lo que, como se señaló, será necesario abordar técnicamente esta cuestión con el objetivo de reducir tal porcentaje.

7.3.2 Desembalse de referencia 365

Una vez analizado el comportamiento del sistema con los desembalses históricos, la segunda hipótesis contemplada es la de un desembalse de referencia de 365 hm³/año, correspondiente a las demandas previstas en el borrador de Plan del Tajo, suponiendo inactiva la concesión del CYII en Valdajos. Este es, como se señaló, el desembalse de referencia considerado como nominal o de diseño.

En este caso, y siguiendo el mismo proceso de análisis que en el supuesto anterior de desembalse medio histórico, la aplicación de la regla vigente da lugar a los trasvases anuales en origen mostrados en la figura.

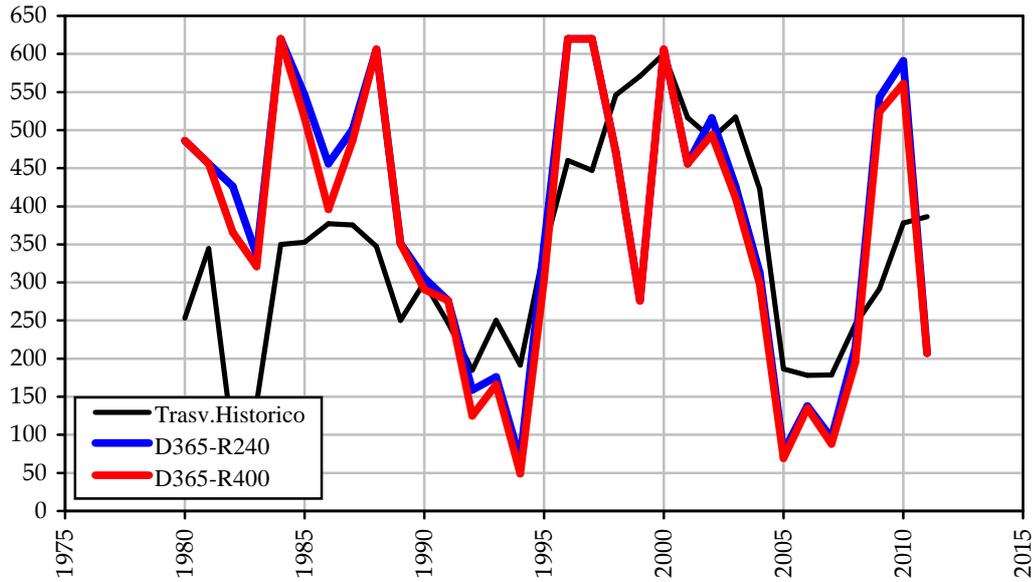


Figura 52. Trasvases anuales en origen (años hidrológicos). Hipótesis D365 (referencia)

Como se observa, son válidos los mismos comentarios generales anteriores para la hipótesis de desembalse histórico, pero con un cierto desplazamiento hacia abajo de las series debido, obviamente, al aumento de desembales hacia el Tajo.

La reserva adoptada sigue teniendo una influencia muy reducida, coincidiendo prácticamente las líneas azul y roja. Los trasvases medios en todo el periodo 1980-2011 serían ahora de 384 y 370 $\text{hm}^3/\text{año}$ respectivamente y los mínimos se reducen de forma apreciable hasta alcanzar los 50 hm^3 , valor manifiestamente insuficiente incluso para su aplicación exclusiva al abastecimiento urbano, y ello por razones de topología de la red de suministro urbano, aunque se movilizasen a plena carga las desaladoras existentes.

Se trata en consecuencia de una explotación que proporciona valores medios similares a los históricos, pero con una fuerte irregularidad interanual y unos mínimos inaceptables, que deben ser corregidos.

Para apreciar mejor estos efectos, la siguiente figura muestra, con el mismo código de colores para las tres situaciones contempladas, los datos de existencias embalsadas históricas y simuladas a escala mensual desde el año 1980 hasta hoy.

Ha de recordarse que, a diferencia de lo que sucedía en la hipótesis anterior de desembalse histórico, el registro histórico no es ahora estrictamente comparable a los otros dos supuestos, dado que el desembalse medio histórico hacia el Tajo ha sido, como se indicó, de 316 $\text{hm}^3/\text{año}$, frente a los 365 previstos como referencia con el nuevo borrador de Plan y utilizados en estas simulaciones. La comparación de los otros dos supuestos sí resulta significativa al producirse en idénticas condiciones de desembalse (365), con la única diferencia de fijar la reserva en 240 o en 400 hm^3 .

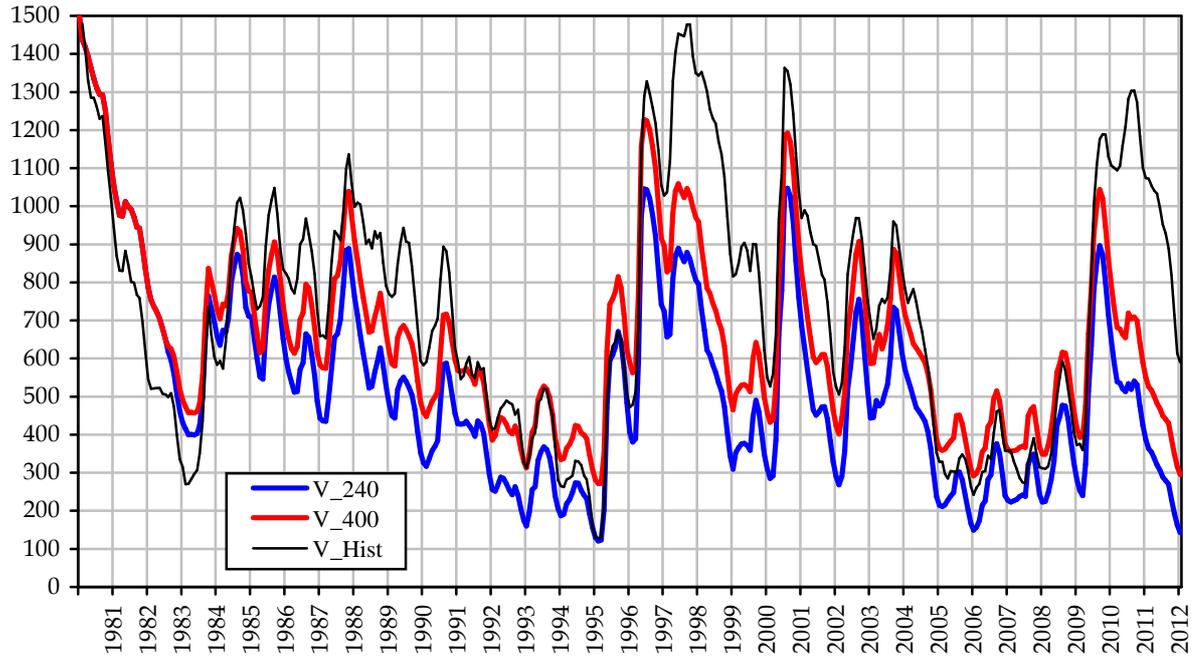


Figura 53. Existencias embalsadas mensuales. Hipótesis D365 (referencia)

Como puede verse, el patrón de comportamiento de las existencias embalsadas es similar en los tres casos, con la salvedad, ya apuntada al examinar la serie anual, de que el registro histórico está en general por encima de los simulados, al corresponder a un desembalse propio inferior al de referencia.

Observando la evolución de las existencias simuladas puede verse que, al igual que sucedía en el supuesto anterior, son iguales los primeros años, y a partir de cierto momento se produce la separación, aumentando progresivamente la diferencia hasta que parece alcanzar un valor estable.

Para observarlo mejor la siguiente figura muestra, como antes, la diferencia entre existencias embalsadas en los dos supuestos de reservas, permitiendo apreciar con toda claridad el mencionado comportamiento.

En efecto, tras un periodo inicial de concordancia, la diferencia de existencias embalsadas va aumentando hasta alcanzar en unos 5 años (valor similar al previsto en el régimen transitorio del borrador de Plan) un valor próximo a 160 hm^3 , en torno al cual se estabiliza con oscilaciones entre 120 y 180 hm^3 inducidas por las diferentes evaporaciones, saltos de nivel y trasvases asociados.

En consecuencia, y como ya se ha apuntado anteriormente y se observó en el supuesto de desembalse histórico, una vez salvada esta diferencia inicial, una sola vez en toda la historia, el comportamiento del sistema a lo largo del tiempo es similar, sea cual sea la serie futura de aportaciones que se produzca. Superado este transitorio inicial, si se dan rachas futuras de sequía, como es seguro que antes o después sucederá, los trasvasables producidos serán muy reducidos o incluso nulos, dependiendo de la intensidad de la sequía, pero esto sucederá en cualquier caso, con independencia de cual sea el valor adoptado para la reserva. Es falso, por tanto, que el aumento de 240 a 400 hm^3 suponga una reducción dramática de las posibilidades de trasvase, ni en condiciones ordinarias, ni en sequía, ni en periodos húmedos, con abundancia de agua.

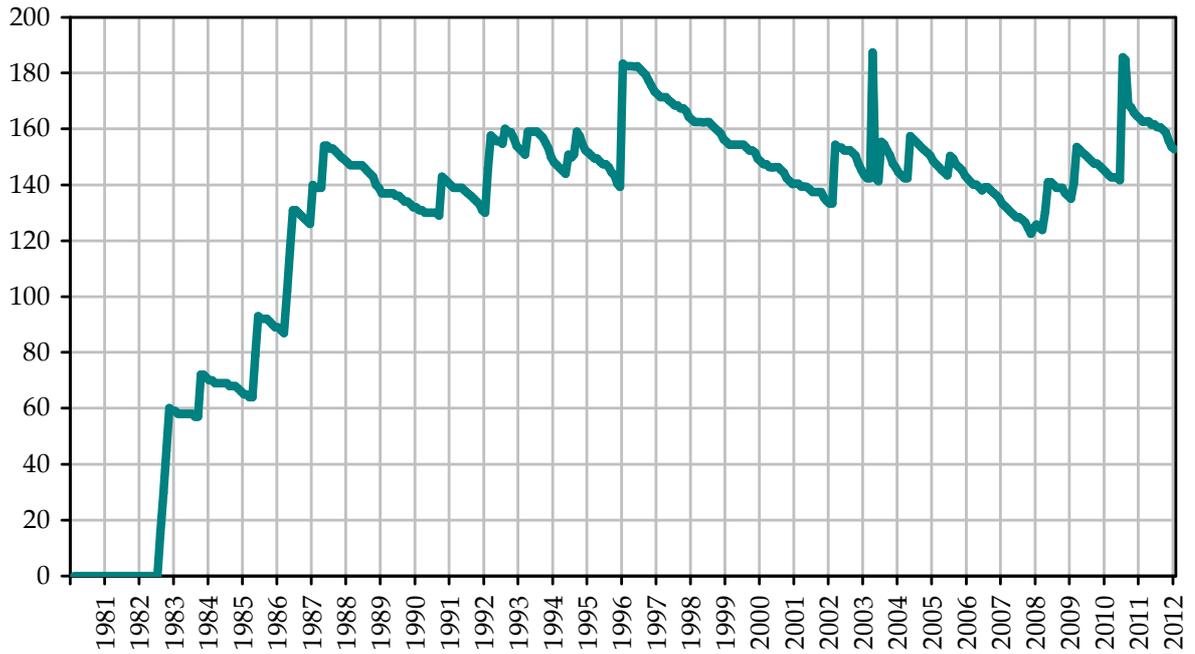


Figura 54. Serie de diferencias de las existencias embalsadas mensuales. Hipótesis D365 (referencia)

Para ilustrar estas circunstancias, en la siguiente figura se representan los volúmenes mensuales trasvasables desde 1980 hasta hoy, resultantes de las dos simulaciones de aplicación de la regla vigente, con 240 y con 400 hm³ de reserva, y suponiendo un desembalse de referencia de 365 hm³/año.

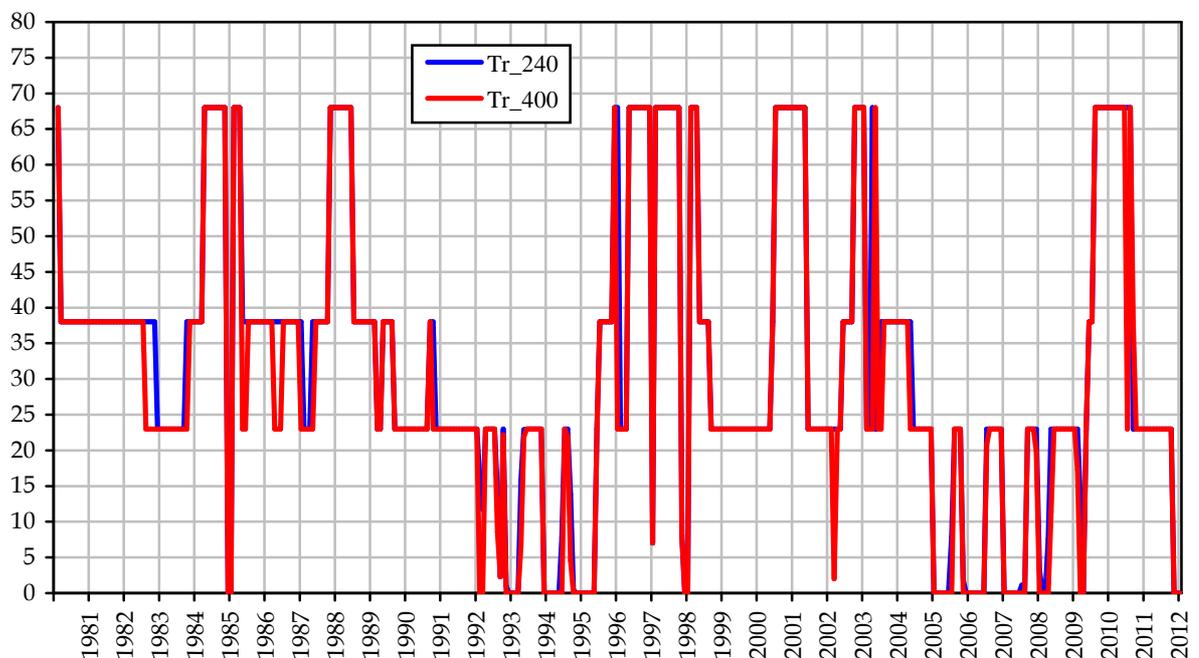


Figura 55. Trasvases mensuales en origen. Hipótesis D365 (referencia)

Como puede verse, al igual que sucedía en el supuesto de desembalse medio histórico, ambas líneas se superponen y la diferencia entre los volúmenes mensuales trasvasados en ambos casos es prácticamente indistinguible, solo diferenciándose en unos pocos meses concretos y

en magnitudes moderadas. Como se señaló, el patrón de trasvases mensuales reproduce obviamente la presentación de los umbrales correspondientes a los diferentes niveles establecidos por la regla vigente. Puede verse que en las sequías de 1992-1996 y 2005-2009 se dan situaciones de excepcionalidad hidrológica (nivel 3) e incluso de no trasvase (nivel 4). No obstante, en ningún caso dejó de suministrarse en su totalidad la demanda propia del Tajo, sin restricción alguna en ningún mes de toda la serie.

El examen del anterior gráfico de existencias mensuales permite ver que, en efecto, en esos periodos las simulaciones dan lugar a almacenamientos por ocasionalmente inferiores a 240 y 400 hm³ respectivamente, pero nunca alcanzando el valor mínimo de 118, que exigiría reducir los suministros propios del Tajo.

Los porcentajes de presentación de los diferentes niveles son ahora los mostrados en la figura.

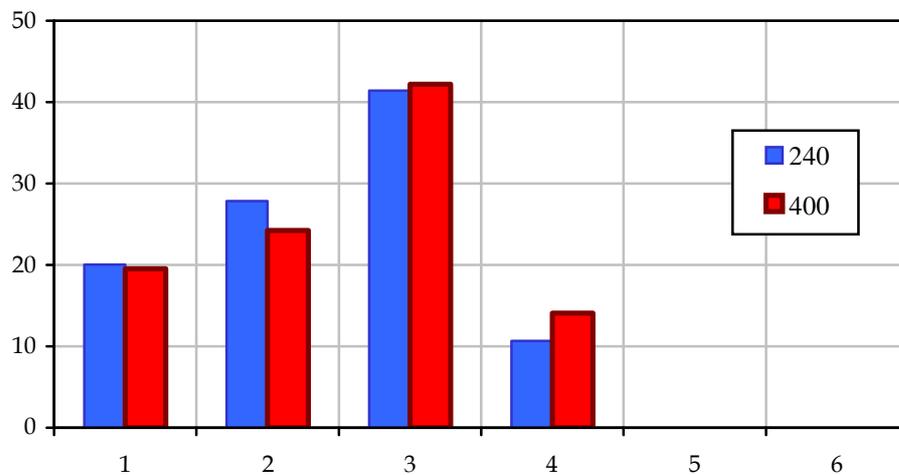


Figura 56. Porcentajes de presentación de niveles. Hipótesis D365

Puede verse que en ambos supuestos de reservas los porcentajes de ocurrencia siguen siendo similares, pero ahora domina claramente el nivel 3 que además aumenta alcanzando valores del 42%, y aumenta también el nivel 4 pasando del 5 al 10-15%. Los niveles 5 y 6 siguen sin alcanzarse nunca. La situación de *excepcionalidad* se daría ahora en más de la mitad de los meses.

Se trata en definitiva de un régimen de explotación absolutamente inadecuado, con mínimos demasiado reducidos y una muy alta ocurrencia de niveles 3 y 4, circunstancias que reafirman la necesidad de una reparametrización de la regla de explotación para estabilizar los envíos reduciendo su variación interanual.

7.3.3 Desembalse de referencia 425

La tercera hipótesis analizada es la de un desembalse de referencia de 425 hm³/año, correspondiente a las demandas previstas en el borrador de Plan del Tajo, y suponiendo permanentemente activa y a su máximo nivel la captación del CYII en Valdajos. Este es, como se apuntó, un desembalse de diseño adecuado para determinar las reservas mínimas que aseguren las garantías del Tajo, pero irreal para la explotación ordinaria previsible a corto plazo, al menos hasta la próxima revisión del Plan.

La aplicación de la regla vigente da lugar ahora a los trasvases anuales en origen mostrados en la figura.

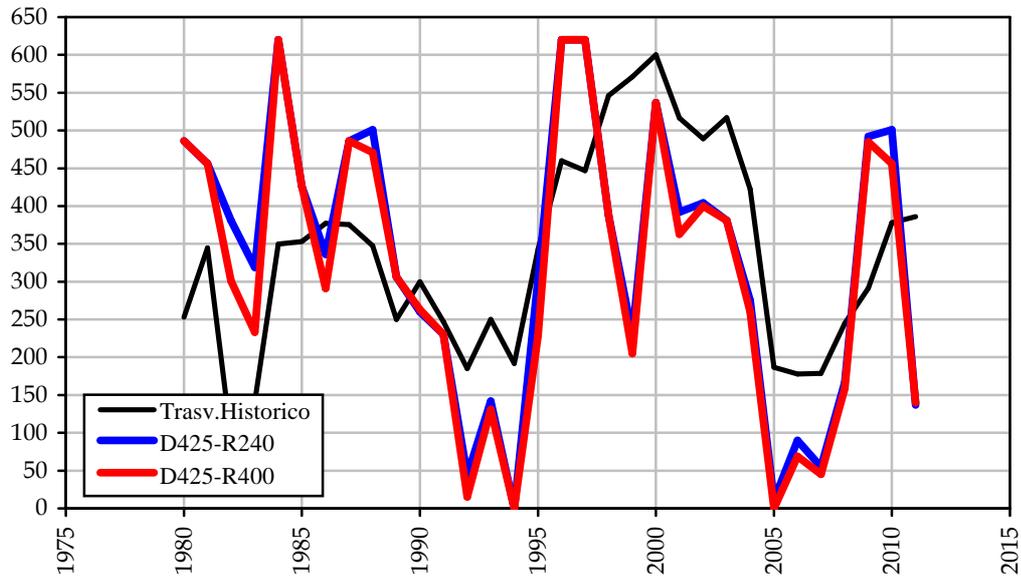


Figura 57. Traslases anuales en origen (años hidrológicos). Hipótesis D425

Puede verse que el efecto de la reserva sigue siendo poco importante, pero la situación empeora apreciablemente desde el punto de vista del desplazamiento hacia abajo y de los mínimos, que llegan incluso a alcanzar valores nulos. Los trasvasables medios anuales en el periodo 1980-2011 son de 331 y 315 $\text{hm}^3/\text{año}$ respectivamente, con una disminución de 25-30 $\text{hm}^3/\text{año}$ respecto al supuesto anterior.

A escala mensual los resultados de existencias son ahora los mostrados en el gráfico.

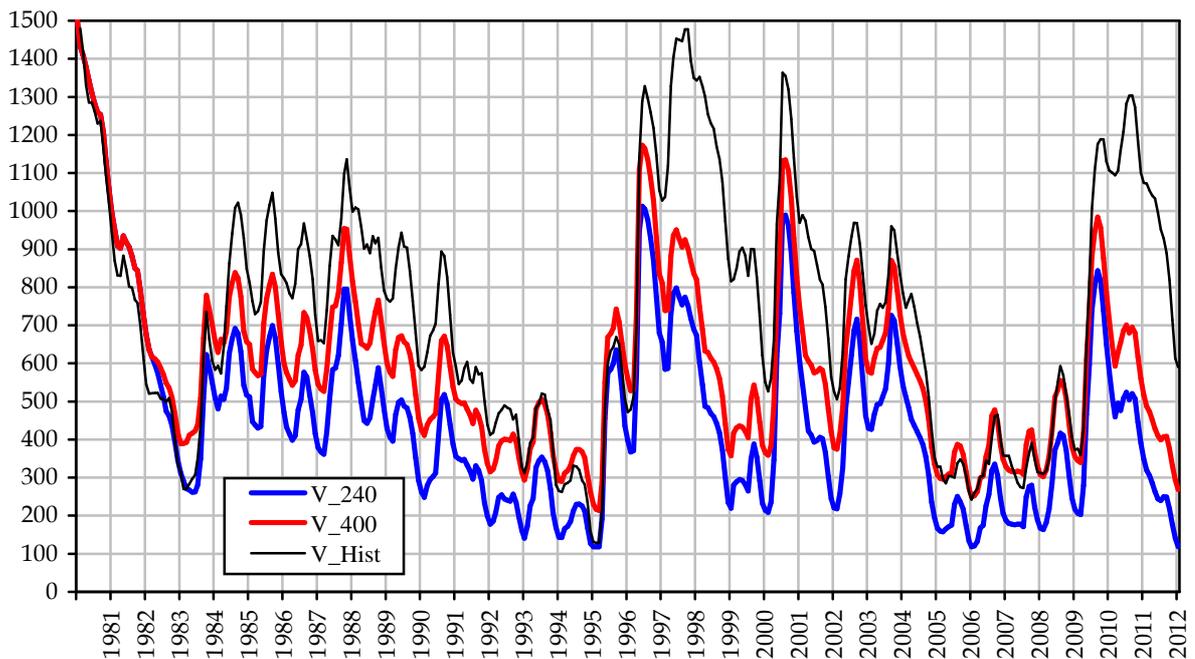


Figura 58. Existencias embalsadas mensuales. Hipótesis D425

Como se observa, el patrón de comportamiento de las existencias embalsadas es también similar en los tres casos, con la salvedad, ya apuntada al examinar la serie anual, de que el registro histórico está ahora claramente por encima de los simulados, al corresponder a un desembalse propio sensiblemente inferior.

Atendiendo a la evolución de las existencias simuladas puede verse que, al igual que sucedía en los supuestos anteriores, son iguales los primeros años, y a partir de cierto momento se produce la separación, aumentando progresivamente la diferencia hasta que parece alcanzar un valor estable.

Para observarlo mejor la siguiente figura muestra, como antes, la diferencia entre existencias embalsadas en los dos supuestos de reservas, permitiendo apreciar cómo, aún con cifras diferentes, se reproduce idéntico patrón de comportamiento que en los casos anteriores.



Figura 59. Serie de diferencias de las existencias embalsadas mensuales. Hipótesis D425

En efecto, tras un periodo inicial de concordancia, la diferencia de existencias embalsadas va aumentando hasta alcanzar en unos 2 años el valor de 160 hm³, en torno al cual se estabiliza con oscilaciones entre 100 y 200 hm³ inducidas por las diferentes evaporaciones, saltos de nivel y trasvases asociados.

Se repite la misma conclusión que antes: una vez salvada la diferencia inicial, una sola vez en toda la historia, el comportamiento del sistema a lo largo del tiempo es similar, sea cual sea la serie futura de aportaciones que se produzca. Ni siquiera con este desembalse de referencia, superior al anterior, el aumento de 240 a 400 hm³ supone una reducción dramática de las posibilidades de trasvase, ni en condiciones ordinarias, ni en sequía, ni en periodos húmedos.

La siguiente figura muestra la serie mensual de volúmenes trasvasables desde 1980 hasta hoy, resultantes como antes de las dos simulaciones de aplicación de la regla vigente, con 240 y con 400 hm³ de reserva, pero suponiendo ahora un desembalse de referencia de 425 hm³/año.

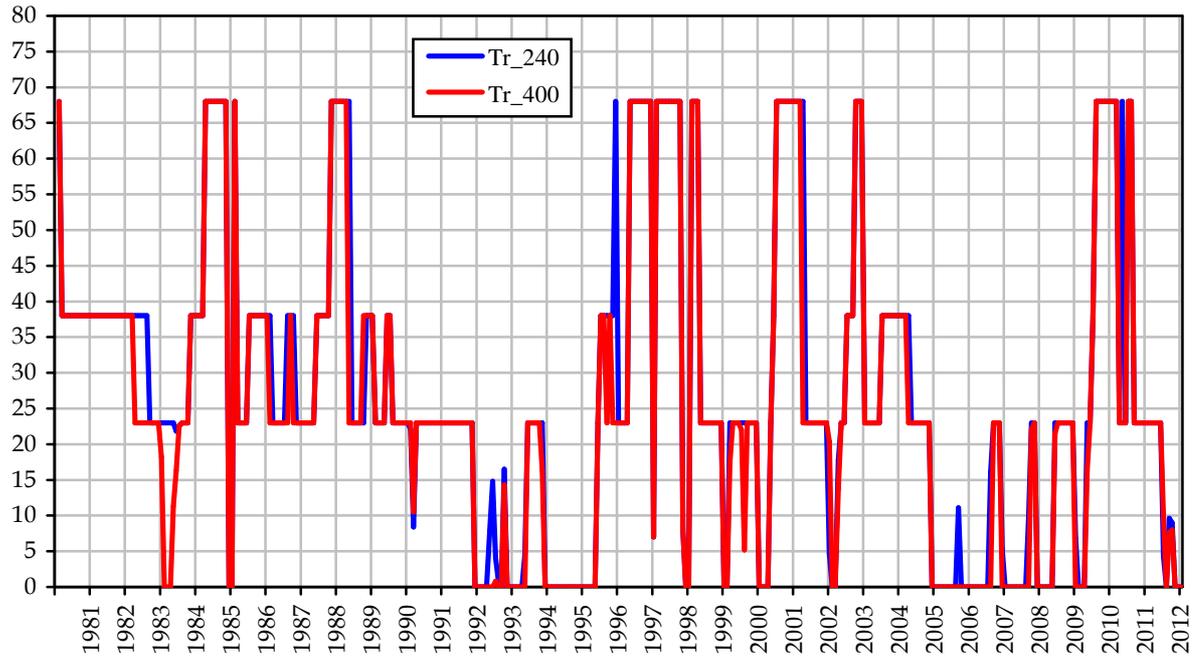


Figura 60. Trasvases mensuales en origen. Hipótesis D425

Al igual que sucedía en los supuestos anteriores de desembalse medio histórico y desembalse de referencia de 365, ambas líneas se superponen y la diferencia entre los volúmenes mensuales trasvasados es prácticamente indistinguible, solo diferenciándose en unos pocos meses concretos y en magnitudes reducidas, sitien ahora se alcanzan con mayor frecuencia valores de trasvase nulo y niveles de excepcionalidad.

En efecto, los porcentajes de presentación de niveles en este supuesto son los mostrados en la figura.

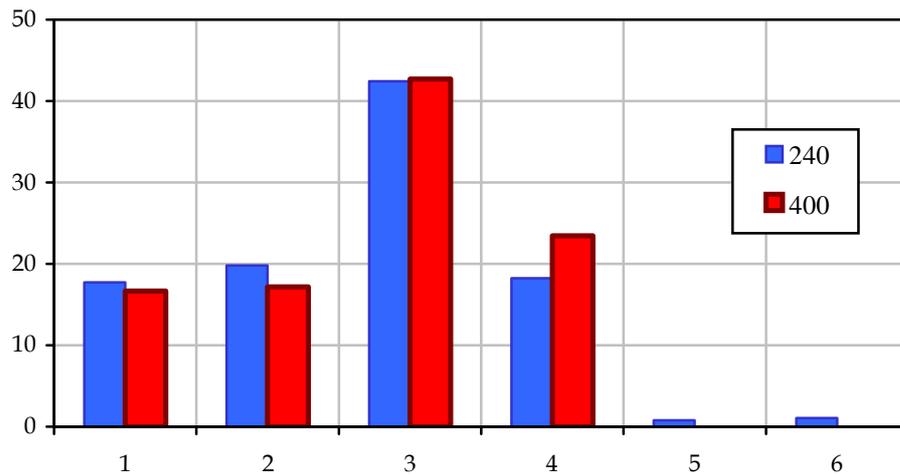


Figura 61. Porcentajes de presentación de niveles. Hipótesis D425

Puede verse que en ambos supuestos de reservas los porcentajes de ocurrencia siguen siendo muy similares, el nivel 3 se mantiene en torno al 43%, pero el nivel 4 aumenta hasta el 18-23%, e incluso, para reserva de 240 hm³, aparecen los niveles 5 y 6 un 1% de los meses.

Es interesante constatar que los niveles 5 y 6 se alcanzan para la reserva de 240 pero no para reserva de 400, lo que resulta lógico considerando el mayor margen de seguridad existente en este segundo caso.

En ambos casos es un régimen de explotación absolutamente inaceptable, que incumple el criterio de máxima garantía permanente para el Tajo, produce mínimos nulos, y presenta situaciones de nivel 3 ó 4 en más del 60% de los meses, lo que reafirma de nuevo la necesidad de reparametrización de la regla.

7.3.4 Efecto del periodo temporal elegido

Examinados los tres supuestos anteriores, y al hilo de los resultados obtenidos respecto a la indeseable irregularidad de los envíos, es interesante constatar hasta que punto resulta significativa para el funcionamiento del sistema la reducción de aportaciones experimentada en las últimas décadas, en la forma de un salto en los valores medios anuales que, como se señaló, se ha venido en denominar el *efecto 80*.

Cuando se diseñó la regla de explotación, hace ya 17 años, la serie disponible empleada obviamente no cubría todo el periodo más reciente, y el criterio de procurar la regularidad de trasvases, que ya entonces fue tenido en cuenta de forma explícita, consiguió satisfactoriamente su objetivo para aquella serie analizada. Sin embargo, y como ha quedado claramente de manifiesto en los epígrafes anteriores, la reducción en las aportaciones más recientes posteriormente observadas ha distorsionado este objetivo, haciendo necesaria su reconsideración.

Este efecto puede apreciarse con toda claridad utilizando en las simulaciones la serie completa disponible. Para ello, se reejecutan los cálculos en el supuesto de desembalse de referencia de 365, reserva de 400, y series hidrológicas del periodo 1912-2011. Se añade también el supuesto de desembalse 425 y reserva 400, que sería el más desfavorable para el trasvase conforme a lo dispuesto en el borrador del Plan del Tajo. Los trasvases anuales en origen resultantes en los tres casos son los representados en la figura.

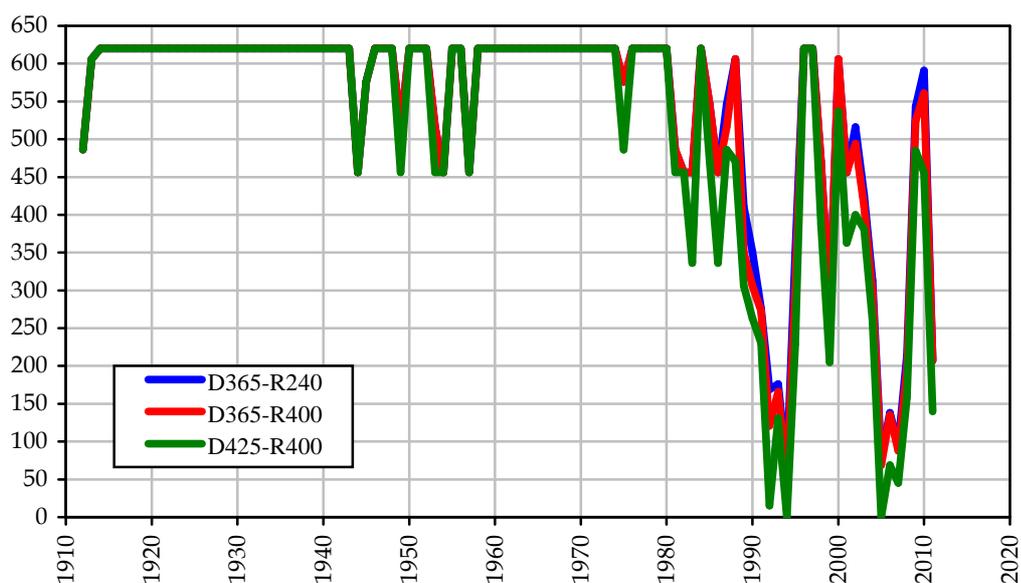


Figura 62. Trasvases anuales en origen (años hidrológicos). Serie completa

Puede verse que el efecto de la reserva es poco importante en todo el periodo, y los trasvasables anuales son muy altos y regulares (mínimo de 450 y máximo de 620 hm³/año presentado en la mayoría de los años), hasta llegar a 1980. Incluso adoptar un desembalse de referencia de 425 hm³/año en lugar de 365 apenas tiene influencia sobre el trasvase hasta comienzos de los años 80.

Sin embargo, a partir de entonces se suceden las crisis antes descritas, se alcanzan mínimos inaceptables, los valores medios se reducen, y la irregularidad de envíos aumenta de forma muy significativa.

La necesidad de reparametrización de la regla, manteniendo su estructura, resulta manifiesta. Además, y con perspectiva de futuro, cabe sugerir la conveniencia de disponer de un mecanismo normativo ágil que, una vez reevaluada técnicamente y sin alterar esa estructura, permita plantear la reparametrización de forma regular, p.e. similar a las revisiones de los planes hidrológicos, siguiendo la evolución del comportamiento hidrológico de cabecera, y redefiniendo los parámetros cuando los efectos de las nuevas circunstancias se revelen significativos.

Por otra parte, y es una consideración muy relevante para el futuro, la aceptación del *efecto 80* como una reducción de aportaciones de carácter estructural, a considerar de forma permanente al menos en los horizontes inmediatos de planificación hidrológica, podría conducir razonablemente a una reconsideración de la regla en la que, sin modificar los máximos legales, se admita como trasvase objetivo anual una cantidad inferior a estos máximos, de forma que se pueda garantizar técnicamente este volumen objetivo de forma permanente, sin apenas oscilaciones interanuales e incluso, en el extremo, sin oscilación alguna. Bastaría para ello con asimilar la demanda de trasvase atendible a la diferencia entre las medias de aportaciones y consumos propios del Tajo, descontadas pérdidas, suponiendo que existe capacidad de regulación suficiente, como de hecho sucede, para absorber la irregularidad de aportaciones.

Esta aproximación implicaría una renuncia a recibir volúmenes trasvasados mayores en años concretos, de mayor abundancia, a cambio de asegurar mayores envíos en los años más secos, y estabilizar completamente las transferencias evitando llegar a mínimos anuales indeseables. Es prematuro un pronunciamiento formal sobre esta muy importante cuestión, que podría plantearse en el futuro conforme sugiera la evolución hidrológica de la cabecera y según sean las opciones estratégicas que pudieran diseñarse en el marco de la planificación hidrológica nacional.

7.4 EFECTO DE LA RESERVA SOBRE LOS VOLÚMENES TRASVASABLES

Una vez analizado el efecto sobre el trasvase de los desembalses de referencia y reservas propuestas, puede extenderse este análisis para ver el efecto no solo de los valores de reserva de 240 y 400, sino de cualquier otro valor. El interés de este análisis es el de comprobar el efecto de esta importante variable sobre la explotación de la transferencia, cuestión sumamente polémica y que ha sido objeto de diferentes valoraciones, a menudo simplistas y desacertadas.

El argumento esgrimido es el de que la elevación de la reserva de 240 a 400 hm³ supone una grave afección al trasvase, verificable observando el número de meses en los últimos años en

el que las existencias han estado bajo los 400, y deduciendo que en esos meses no se hubiera podido producir trasvase alguno de haber estado vigente esa reserva.

Esta argumentación contiene dos errores. El primero es el de suponer que las existencias embalsadas con la reserva de 400 hubiesen sido iguales a las resultantes con la reserva de 240, y el segundo es suponer que los trasvases y existencias embalsadas históricas son las resultantes de aplicar la regla de explotación con 240, cuando es evidente que no lo han sido, como se mostró en la figura de trasvases anuales para la hipótesis de desembalse medio histórico.

Es obvio que las existencias dependen de las aportaciones, las derivaciones al Tajo, las derivaciones al trasvase y las pérdidas por evaporación. Una vez satisfechos al comienzo de la explotación y por una sola vez, de forma instantánea o en un breve periodo transitorio, los 160 hm³ de diferencia (véanse al efecto los gráficos mostrados en epígrafes anteriores sobre evolución de la diferencia entre existencias embalsadas en los dos supuestos básicos de reservas de 240 y 400), la lámina ya ha sido elevada y el resto del periodo hasta hoy, y para siempre, las existencias trasvasables (por encima de 400) hubieran sido básicamente las mismas que con la reserva de 240 o, dicho de otra forma, las existencias embalsadas hubiesen sido prácticamente las mismas correspondientes a los 240 pero elevadas en 160, con lo que, a igualdad de regla de explotación, el régimen de trasvases hubiese sido prácticamente el mismo. La única pequeña diferencia entre ambos regímenes de reservas es la debida al incremento de evaporación por aumento de la lámina de agua.

Además, obviamente, esto es así para cualquier régimen de aportaciones, haya o no haya sequía. Satisfechos ya los 160 por una sola vez al alcanzarse el nivel de 900 en cabecera, si en el futuro hay una sequía, con 400 de reserva se trasvasarán en la práctica los mismos volúmenes que si la reserva es de 240.

Pese a su simplicidad, el mecanismo de funcionamiento expuesto no parece haber sido bien comprendido y esta cuestión de la reserva se ha convertido, como se señaló, en un argumento de fuerte crítica y confrontación sociopolítica, lo que resulta sorprendente dadas las equivocaciones técnicas sobre las que se sustenta.

La voluntad de incrementar el valor de la reserva, comprensible desde la perspectiva del área de origen, no se fundamenta en proporcionar seguridad a las demandas del Tajo, ya plenamente garantizadas incluso con menos de 400, sino en alcanzar un mayor valor escénico o recreativo de los embalses, objetivo entendible pero que debe en todo caso ponderarse, desde una perspectiva del interés general, con el importante perjuicio socioeconómico inducido en las áreas receptoras por un menor trasvase de agua, y en unos volúmenes que no se aplican ni benefician a ningún uso del Tajo, sino que se entregan a la atmósfera mediante la evaporación.

Los mecanismos cualitativos expuestos pueden ser cuantificados numéricamente mediante el modelo de simulación construido.

Para ello se ha diseñado un experimento numérico consistente en fijar el desembalse de referencia en 365 hm³/año, ir modificando el valor de la reserva desde los 240 hasta 2000 hm³, y calcular en cada caso la curva de Consejo de Ministros correspondiente por simple desplazamiento de la curva actual en igual magnitud que el aumento de la reserva. Con esta única modificación, todos los demás valores nominales de la regla se mantienen iguales a los actuales, aplicándose mes a mes, en cada una de las hipótesis de reserva, y obteniéndose las series mensuales de trasvase resultantes en cada caso.

Los valores obtenidos son los mostrados en la figura, en la que se representan, en función de la reserva fijada (desde 240 a 2000) diferentes indicadores de la explotación del trasvase: el volumen trasvasado medio anual (línea azul, en el eje principal), el coeficiente de variación porcentual de esa serie anual (línea roja, eje secundario), el trasvase mínimo anual resultante (línea verde, eje secundario), y el porcentaje de presentación de los niveles 3 ó 4 (línea magenta, eje secundario).

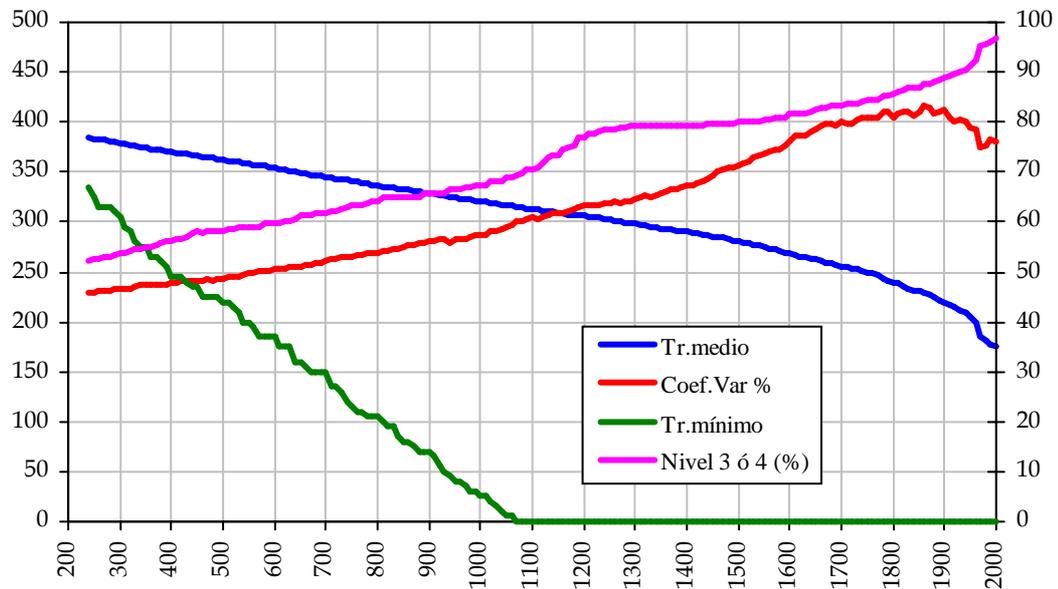


Figura 63. Efectos de la reserva sobre diferentes indicadores de explotación del trasvase

Como se observa, el efecto de afección sobre el trasvase medio decrece linealmente hasta valores por encima de 1000 hm³ de reserva, y va aumentando su pendiente a partir de 1500, confirmando el efecto que antes se describió.

Este efecto puede apreciarse aún con mayor claridad si se representa la derivada de esta curva, estimada numéricamente a partir de las pendientes en cada punto. El resultado es el mostrado en la figura, con un ruido numérico debido fundamentalmente a efectos de redondeo.

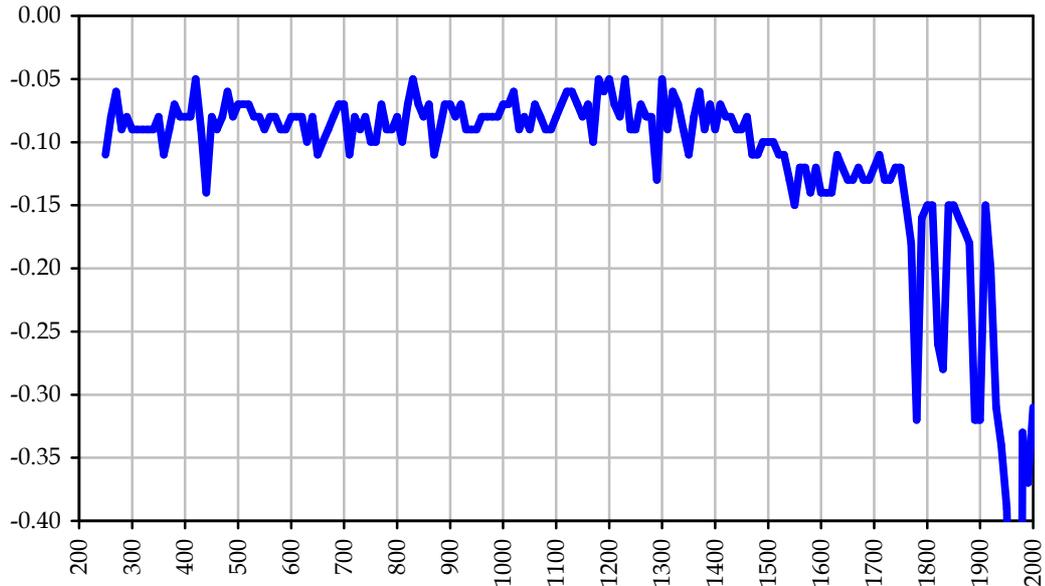


Figura 64. Derivada de la curva de reserva-volumen trasvasado medio anual

Las pendientes son sensiblemente estables desde 240 hasta 1400 en torno al valor de $-0.081 \text{ hm}^3/\text{hm}^3$, lo que indica que, en todo este rango, un incremento de 1 hm^3 de reserva supone una disminución total de $0.081 \text{ hm}^3/\text{año}$ de trasvase, debido al efecto conjunto de pérdida inicial única debida a la diferencia, más la mayor evaporación.

En el caso analizado, puesto que la serie empleada tiene una longitud de 32 años, 160 hm^3 de aumento supondrían una pérdida media por este concepto de $5 \text{ hm}^3/\text{año}$, mientras que la pérdida total es de $12.96 \text{ hm}^3/\text{año}$ (0.081×160). En consecuencia la pérdida por mayor evaporación, única permanente a lo largo del tiempo, es de unos $8 \text{ hm}^3/\text{año}$, valor concordante con la estimación ya anteriormente ofrecida. De forma general, para cualquier incremento de la reserva ΔR (hm^3), la pérdida anual por evaporación podría estimarse aproximadamente mediante pev ($\text{hm}^3/\text{año}$) = $0.05 * \Delta R$, es decir, de un 5% de este incremento, mientras que la pérdida anual total sería aproximadamente un 8% del mismo.

Volviendo a la figura anterior, se observa que no solo disminuye el trasvasable a medida que aumenta la reserva, sino que aumenta el coeficiente de variación de la serie anual, es decir, la irregularidad de los envíos, hasta valores del 80%. El trasvase mínimo es próximo a 70 hm^3 para 240, y decrece casi linealmente hasta anularse a partir de 1050 hm^3 .

Por último, la presentación de niveles 3 ó 4 pasa del 52% para 240 hasta el 70% para 1100, llegando a alcanzar casi el 100% para reservas extremas.

En definitiva, el efecto de aumento de la reserva empeora, obviamente, los indicadores de explotación. No obstante, el efecto sobre el trasvase medio es moderado y aumenta solo linealmente hasta valores de reserva muy elevados, mientras que los indicadores de irregularidad resultan inaceptables incluso para reservas muy reducidas. Como ya se ha señalado, es en este aspecto donde debe mejorarse la situación mediante una adecuada reparametrización de la regla de explotación que tenga como objetivo aumentar la regularidad de los envíos y contemple el *efecto 80*, es decir, adopte para los cálculos el registro hidrológico completo desde esa fecha hasta la actualidad.

7.5 EFECTO DE LA CURVA DE CONSEJO DE MINISTROS

Un último análisis que cabe plantear es el del efecto de fijar el desembalse de referencia en $365 \text{ hm}^3/\text{año}$ y la reserva en 400 hm^3 , y analizar el efecto sobre el sistema de elevar progresivamente la curva de Consejo de Ministros simplemente desplazando la actual, correspondiente a la reserva de 240.

Los resultados obtenidos se muestran en la figura, similar a la anterior, pero en la que las abscisas son el desplazamiento de la curva de Consejo de Ministros respecto a la actualmente vigente, y el trasvase mínimo, línea verde, se representa ahora en el eje primario.

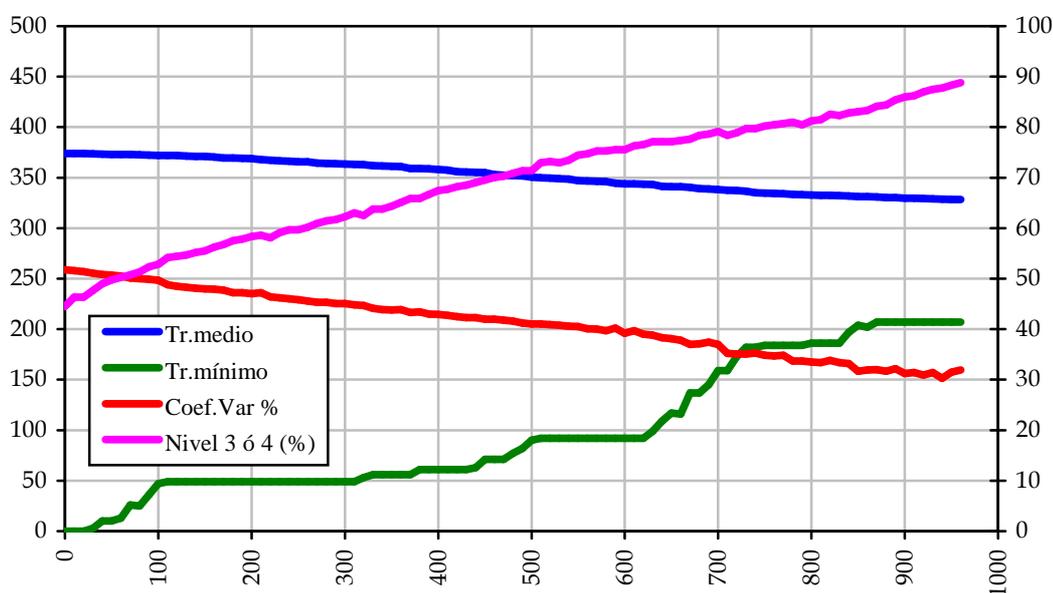


Figura 65. Efectos de la elevación de la curva de Consejo de Ministros sobre diferentes indicadores de explotación del trasvase

Como se observa, el efecto de afección sobre el trasvase medio decrece muy ligeramente como consecuencia de la elevación de la curva, mientras que el mínimo aumenta de forma significativa desde 0 hasta valores de $200 \text{ hm}^3/\text{año}$. En el rango de elevaciones moderadas de la curva (entre 100 y 300 hm^3 , donde se sitúan los 160 previstos por el Plan), el trasvase mínimo es del orden de $50 \text{ hm}^3/\text{año}$, valor claramente insuficiente.

El porcentaje de meses en niveles 3 ó 4 oscila entre el 42% para elevación nula y el 90% para cerca de 1000, valores también inadecuados para una explotación satisfactoria.

En conclusión, elevar la curva de Consejo de Ministros no afecta apreciablemente al trasvasable anual medio, pero sí afecta a la presentación de niveles de alerta aumentándolos de forma sensible, aunque ya con elevación nula ya resulta un porcentaje inadecuado.

Estas conclusiones reafirman la ya reiterada necesidad de reparametrización de la regla.

7.6 CONCLUSIONES

Los diferentes análisis realizados muestran con claridad que el efecto de la reserva sobre el volumen trasvasable medio no resulta, si bien cualquier elevación supone una mayor evaporación y, en consecuencia, un menor volumen de agua disponible para el conjunto del sistema, sin beneficio para nadie.

Sin embargo, sí que resulta necesario abordar una revisión de la regla tendente a aumentar la regularidad de los envíos reduciendo la presentación de meses con niveles 3 ó 4, demasiado frecuentes, y aumentando los niveles 1 y 2.

La explicación de este fenómeno debe buscarse en la aparente reducción de aportaciones experimentada en los últimos 30 años, fenómeno ya aludido y conocido como el *efecto 80*, que hace que el sistema sea poco estable y experimente oscilaciones bruscas intra e interanuales que deben ser corregidas.

Por otra parte, elevar la curva de Consejo de Ministros no afecta apreciablemente al trasvasable anual medio, pero sí afecta a la presentación de niveles de alerta aumentándolos de forma sensible, lo que reafirma la ya reiterada necesidad de reparametrización de la regla.

8. LA REGLA DE EXPLOTACIÓN

8.1 INTRODUCCIÓN

Como se ha mostrado, la aplicación en el pasado de la regla vigente, descrita en anteriores capítulos, ha sido desigual y errática, dando lugar en términos medios a unos valores históricos de trasvase inferiores a los que hubiesen resultado de su estricta aplicación (se aplicaron sobrecautelas innecesarias que la propia regla ya incorporaba), sin haber menoscabado en ningún momento las plenas garantías de la cuenca cedente. Estos resultados muestran, en definitiva, que la regla es un instrumento útil, que objetiva las decisiones de trasvase, elimina posibles tensiones y arbitrariedades, y debiera por ello gozar del mayor nivel normativo.

No obstante, estos valores medios encubren una irregularidad temporal en los envíos anuales que resulta incompatible con una explotación estable y ordenada de la transferencia.

Corregir este comportamiento requiere un trabajo técnico de reparametrización de la regla que, manteniendo su estructura, adapte sus parámetros al nuevo desembalse de referencia y las nuevas condiciones hidrológicas de la cabecera del Tajo, con aportaciones recientes sensiblemente inferiores a las registradas en el pasado. En los epígrafes que siguen se aborda esta tarea.

8.2 CONDICIONES NECESARIAS. DOMINIO FACTIBLE BÁSICO

La determinación de parámetros optimizados requiere la fijación previa de las condiciones que tales parámetros han de satisfacer o, dicho en términos formales, su *dominio* admisible, al que se limitará la búsqueda de soluciones. La exploración inicial de este dominio admisible y la aplicación del análisis de sensibilidad a los resultados previos obtenidos permitirán encontrar a su vez un subdominio óptimo, dentro del cual las soluciones no solo son admisibles sino deseables por superar todas determinados requisitos exigidos y encontrarse, por tanto, cerca del óptimo multicriterio. Este proceso de refinamiento se abordará posteriormente. Por el momento, las condiciones de necesario cumplimiento son las que siguen.

Para el umbral de reservas no trasvasables se ha fijado el valor de 400 hm³, considerándose como un dato previo fijo, sin margen de variación.

La definición del nivel 3 o de condiciones hidrológicas excepcionales se abordó en un capítulo anterior concluyéndose con una propuesta de trasvase máximo de hasta 20 hm³/mes y una curva de definición correspondiente dada en la tabla (datos en hm³).

oct	Nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	Jun	jul	ago	sep
613	609	605	602	597	591	586	645	673	688	661	631

Tabla 21. Situación hidrológica excepcional. Embalses requeridos a comienzo de cada mes

Estos valores pueden también considerarse en principio como fijos, sin perjuicio de eventuales análisis posteriores de sensibilidad que podrían modificar ligeramente el valor indicado.

La curva propuesta es obviamente distinta de la hoy vigente, debiendo preverse un proceso de transición concordante con el que se contemple para la transición de los 240 actuales a los 400 futuros. Una propuesta simple, no teóricamente rigurosa pero admisible en la práctica, sería prever una transición lineal entre ambas curvas en 5 años, con los resultados mostrados en la tabla (hm^3) para los diferentes valores de la reserva.

Reserva	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
400	613	609	605	602	597	591	586	645	673	688	661	631
368	580	579	580	581	575	572	568	625	652	662	630	600
336	549	551	554	559	555	553	552	604	630	635	601	568
304	518	523	528	537	535	534	536	583	608	608	572	536
272	487	495	502	515	515	515	520	562	586	581	543	504
240	456	467	476	493	495	496	504	541	564	554	514	472

Tabla 22. Transición de las curvas definitorias de la situación hidrológica excepcional

Ambas curvas difieren a su vez de la propuesta en el borrador de Plan Hidrológico del Tajo, obtenida por simple desplazamiento hacia arriba en 160 hm^3 de la curva de 240 vigente, lo que se deriva de suponer, erróneamente, que el desplazamiento de la curva de reservas desde 240 a 400 implica un idéntico desplazamiento de toda la curva de definición de nivel 3.

En cuanto al volumen mensual trasvasable en el nivel 1, si su valor es muy elevado dará lugar a envíos más rápidos e irregulares, mientras que valores reducidos suavizarán el ritmo de las transferencias. Existe no obstante un valor umbral mínimo que no puede ser reducido y es el correspondiente a la capacidad de transporte requerida para movilizar en un año el máximo nominal actual de 620 hm^3 cuando las condiciones hidrológicas de abundancia así lo permitan. Este valor estricto sería de $51.7 \text{ hm}^3/\text{mes}$, pero considerando un margen de explotación del 10%, aproximadamente equivalente a suponer que el canal se encuentra operativo 11 meses del año, el valor se eleva a 56.8, proponiéndose $57 \text{ hm}^3/\text{mes}$ como valor mínimo de referencia.

En consecuencia, el dominio admisible para el trasvase mensual en nivel 1 podría fijarse entre 57 y $75 \text{ hm}^3/\text{mes}$ (superior al máximo actual, y prácticamente equivalente a canal lleno continuo).

Para el nivel 2 no existe ninguna limitación inicial, pudiendo adoptar en principio cualquier valor entre los $20 \text{ hm}^3/\text{mes}$ propuestos para el nivel 3 y los $57 \text{ hm}^3/\text{mes}$ mínimos propuestos para el nivel 1. Nótese que aunque teóricamente podría adoptarse para el nivel 2 un valor inferior al 1 o superior al 3, parece razonable fijar un escalonamiento creciente. Se sugiere, en definitiva, emplear el rango $21\text{-}56 \text{ hm}^3/\text{mes}$.

Para los umbrales de definición del nivel 1, existencias embalsadas y aportaciones acumuladas en los últimos 12 meses, no existe en principio ninguna limitación, si bien cabe acotar sus dominios a valores razonables basados en la experiencia de los últimos años.

Así, el volumen de existencias, actualmente fijado en $1500 \text{ hm}^3/\text{año}$, resulta muy elevado a la vista de la reciente experiencia histórica pues, a diferencia de lo que sucedió en el pasado, en el que estos valores se superaron con relativa frecuencia, apenas se ha alcanzado nunca en las últimas décadas. La figura adjunta muestra esta circunstancia al representar el histograma acumulado de las existencias mensuales en el periodo de referencia, desde octubre de 1980 hasta septiembre de 2012. En la misma figura se representa también el histograma acumulado de la otra variable relevante, las aportaciones acumuladas en 12 meses consecutivos, para el mismo periodo temporal.

Puede verse que, curiosamente, ambas curvas son bastante coincidentes pese a no tener relación directa. Valores del orden de 1500 hm³ no se superan nunca en ambos casos, mientras que 1000 hm³ se superan en un 20% de los meses y 900 hm³ en un 30% de los meses. La mediana es del orden de 700 (aportaciones) y 740 (existencias).

Dada la estructura de la regla, en las que ambas variables intervienen de forma simétrica para la definición del nivel 1, parece razonable que se les atribuyan similares probabilidades de presentación. Dominios en principio admisibles serían entre 900 y 1500 hm³ para ambas variables, correspondientes a percentiles entre el 70% y el 100%. No obstante, asumir un percentil del 100% equivale en la práctica a renunciar al nivel 1 para situarnos permanentemente en los inferiores, lo que no parece deseable dado que exigiría a su vez aumentar el trasvasable mensual de nivel 2 hasta al menos 57 hm³/mes, por las consideraciones antes expuestas sobre la necesaria capacidad de transporte. Se sugiere por tanto utilizar tentativamente el percentil del 90-95%, reduciendo la cota superior de ambos parámetros a unos 1300 hm³. Con todo ello el dominio básico reduce la dimensionalidad del problema a las 2 variables de trasvase en niveles 1 y 2. En posteriores análisis de sensibilidad, con un dominio extendido, podrá refinarse esta magnitud valorando su impacto sobre la explotación del sistema.

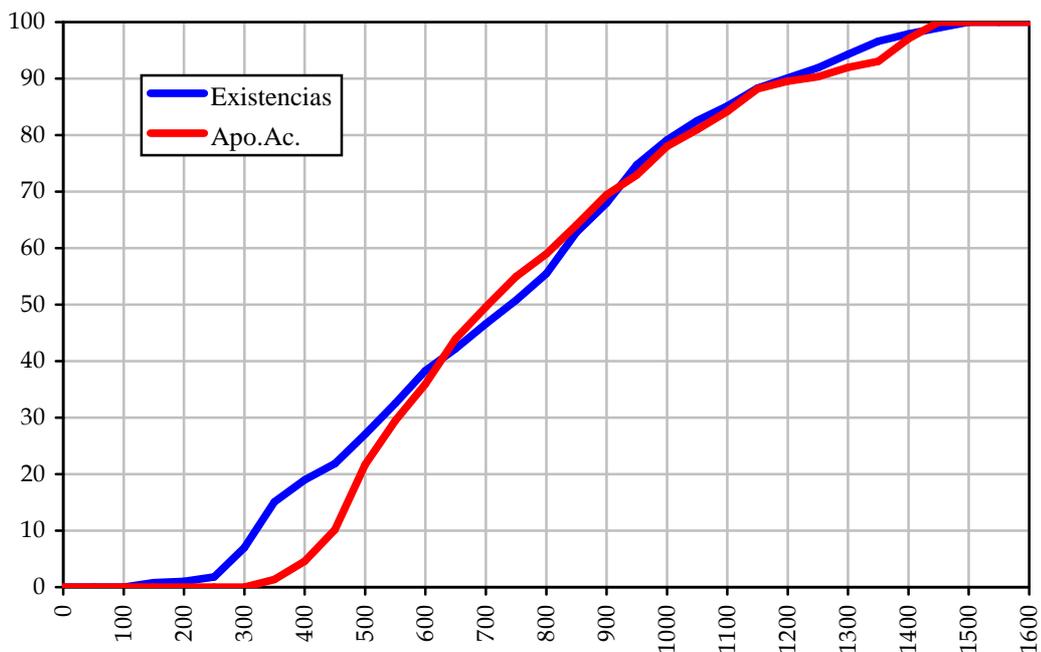


Figura 66. Histogramas acumulados de existencias mensuales embalsadas y aportaciones acumuladas en 12 meses

Con estos dominios admisibles para cada parámetro el espacio factible queda perfectamente definido y pueden ya realizarse los cálculos iniciales de simulación de aplicación de la regla para preseleccionar las opciones más idóneas. Ello requiere no obstante, como requisito previo, una definición formal de la *idoneidad*, cuestión que se aborda seguidamente.

8.3 INDICADORES OBJETIVO

Como se ha señalado, una vez definido el dominio conjunto o espacio de parámetros factibles, evaluar un conjunto concreto de parámetros requiere definir formalmente cual es el objetivo perseguido y que indicadores numéricos pueden usarse para definir formalmente este objetivo.

Se requiere, en definitiva, disponer de una métrica o conjunto de indicadores que asignen a cada simulación (cada conjunto de parámetros de la regla) uno o varios valores numéricos que permitan elegir la más adecuada.

El objetivo general perseguido ha de ser, como se ha señalado, procurar la mayor estabilidad y regularidad posible a los envíos interanuales, con pleno respeto a la prioridad de la cuenca cedente y las determinaciones de su planificación hidrológica.

Este objetivo general puede describirse mediante diferentes criterios parciales, cada uno de los cuales puede expresarse mediante distintos indicadores. Así, uno básico es el del *porcentaje de presentaciones de la situación de nivel 3*, que debe ser minimizado de forma que obedezca a situaciones de verdadera excepcionalidad y no alcance las tasas actuales del orden del 40%, sumamente elevadas e inadmisibles, como se mostró anteriormente. Por supuesto la *presentación del nivel 4* ha de quedar también reducida. Un porcentaje máximo de situaciones de nivel 3 podría ser en principio del 20%, la mitad del actual. Ha de tenerse en cuenta que reducir mucho este valor forzaría a la regla a evitar la curva de situaciones excepcionales exigiendo trasvases inferiores en los niveles 1 y 2. Para el nivel 4, el porcentaje puede en principio reducirse aún más, tentativamente hasta un 10% como máximo.

Otro indicador de la irregularidad es el *coeficiente de variación de la serie anual*, que debe también ser minimizado. El coeficiente de variación presenta el inconveniente de no considerar la secuencia de presentación de los datos, tratando de igual forma rachas largas que muy cortas. Para superar este efecto puede considerarse un *coeficiente de irregularidad* basado en los valores absolutos de las diferencias entre datos consecutivos, tal y como el indicador de torrencialidad de caudales de Richards-Baker o similar. Este indicador debe utilizarse no como un filtro rígido sino con relativa flexibilidad, para seleccionar entre opciones con resultados similares para los otros criterios principales.

Otro indicador de regularidad es, simplemente, el mínimo de la serie anual. En nuestro caso este indicador tiene además una significación muy importante pues supone procurar que el trasvase mínimo anual alcanza al menos un cierto nivel de emergencia considerado como crítico. Por tal motivo este indicador debiera considerarse como principal. Se supone que menos de 90-100 hm³/año resultarían en principio indeseables.

No de irregularidad pero si de mejor opción sería el indicador de *trasvase medio anual*. Los valores resultantes para las diferentes opciones manejadas van a ser similares pero, a igualdad de otras condiciones, este indicador debe marcar la preferencia, por encima incluso de una ligeramente mayor irregularidad.

Finalmente, otro indicador de interés es el de los *vertidos incontrolados* desde los embalses por llenado, expresado como volumen medio anual vertido (hm³/año) y como porcentaje de meses en los que se produce algún vertido (%). Si se producen tales vertidos cabe pensar o que existen unas aportaciones y capacidad de regulación tan relativamente grandes que hay recursos sobreabundantes para satisfacer todas las demandas conjuntas Tajo-Segura, o bien que hay un defecto estructural de la regla que fuerza a menores sueltas para trasvase de las que serían necesarias, obviamente respetando la prioridad y demandas del Tajo, y ello provoca cuellos de botella en los desembalses que terminan por llenar los embalses y desaguar de forma incontrolada.

Dilucidar entre ambas posibilidades requiere comprobar si existen regiones diferenciadas del dominio factible donde no hay vertidos y otras regiones donde si los hay, lo que apuntaría a problemas de parametrización de la regla, diferenciando este caso de aquel otro en el que los

vertidos se producen en todo el dominio, con lógicas diferencias poco significativas, lo que apuntaría a la sobreabundancia de recursos con relación a las demandas establecidas.

Como puede verse, los diferentes indicadores señalados se expresan en unidades heterogéneas y su importancia relativa depende de una ponderación subjetiva y no siempre sencilla de establecer. En estas circunstancias cabe el recurso a técnicas de elección multicriterio o, de forma directa, al procedimiento de filtrado sucesivo dentro del dominio elegido.

8.4 ANÁLISIS PREVIOS EN EL DOMINIO FACTIBLE

Una vez definidos los dominios factibles de los parámetros e identificados los indicadores de explotación, puede abordarse la búsqueda de parámetros satisfactorios según los diferentes indicadores sugeridos. Esta búsqueda se abordará en dos fases: una inicial o previa que permite de forma visual acotar el dominio factible inicial o básico mediante análisis de sensibilidad y contrastes de los parámetros principales, fijando los definitorios del nivel 1, y otra detallada en la que se aborda la búsqueda y selección de parámetros recorriendo todo el dominio extendido seleccionado, incluyendo los definitorios de nivel 1 e incluso posibles desplazamientos de la curva de nivel 3.

La razón de recurrir a estas dos fases es doble: por una parte, es conveniente disponer de una imagen visual de las superficies de respuesta de los indicadores frente a cambios en los parámetros principales, pues ello proporciona una valiosa intuición de la respuesta del sistema, no existente en una búsqueda numérica ciega y masiva; por otra parte, la *maldición de la dimensionalidad* puede hacer que tal búsqueda directa resulte inabordable si la resolución es suficientemente fina.

Entrando, pues, en los análisis previos, un primer cálculo de interés es el de la evaluación de la explotación resultante para las magnitudes de los parámetros vigentes, es decir, 68 hm³/mes de trasvase en nivel 1, 38 hm³/mes de trasvase en nivel 2, 1000 hm³ de aportaciones acumuladas para la definición del nivel 1, y 1500 hm³ de existencias embalsadas para la definición del nivel 1. Se supone fijado el trasvase mensual de 20 hm³ para el nivel 3, así como su curva de definición antes mostrada.

Con ello, los indicadores obtenidos son los mostrados en la tabla

Indicador	Vigente
Probabilidad nivel 1 (%)	20.3
Probabilidad nivel 2 (%)	27.6
Probabilidad nivel 3 (%)	39.3
Probabilidad nivel 4 (%)	12.8
Trasvase mínimo anual (hm ³)	57
Trasvase medio anual (hm ³)	371
Coefficiente de irregularidad	0.365
Coefficiente de variación	0.495
Vertido medio anual (hm ³)	0
Porcentaje de meses con vertido (%)	0

Tabla 23. Indicadores de explotación de la regla en situación actual

Puede verse que estos valores son inaceptables conforme a los estándares antes sugeridos, no cumpliendo este filtrado inicial de alternativas ni en la probabilidad del nivel 3 ni en el nivel 4 ni en el trasvase mínimo.

Para mejorar esta situación se ha abordado la simulación del sistema en el dominio básico considerando como variables los volúmenes mensuales derivables en los niveles 1 y 2, con la serie de aportaciones mensuales de referencia, desde 1980 a 2012 y suponiendo que la aportación acumulada y las existencias definitorias del nivel 1 se fijan en 1300 hm³. Los resultados obtenidos son los mostrados en las siguientes figuras, que proporcionan una primera imagen visual muy ilustrativa del problema.

En primer lugar se representa la variación de la probabilidad de presentación del nivel 3 en función del volumen mínimo trasvasable en nivel 1 (ordenadas) y en nivel 2 (abcisas). La resolución numérica adoptada ha sido de 1 hm³/mes para ambas variables, dentro de los dominios antes sugeridos.

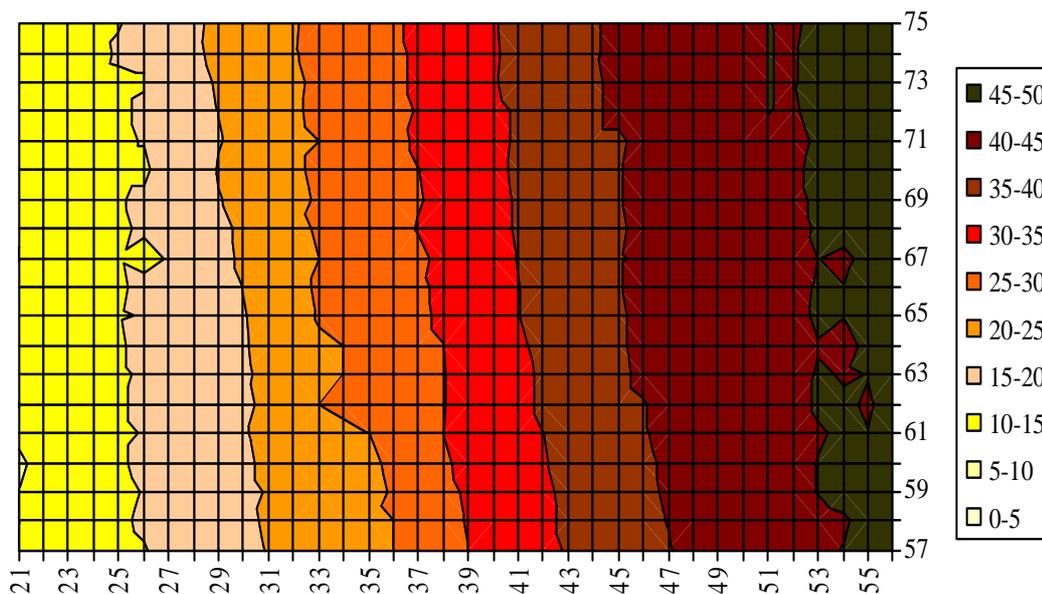


Figura 67. Probabilidad de presentación del nivel 3

Es interesante observar que la variable determinante es el trasvase mensual en nivel 2, siendo mucho menos influyente el fijado para el nivel 1 (apenas 2-3 puntos porcentuales en todo el dominio considerado). Para 25-26 hm³/mes en nivel 2 se alcanza el 15% de probabilidad del nivel 3, y para valores mayores de unos 30 hm³/mes se supera el 20% de probabilidad. Los resultados para el trasvase anual mínimo producido muestran asimismo una reducida influencia del trasvase en nivel 1.

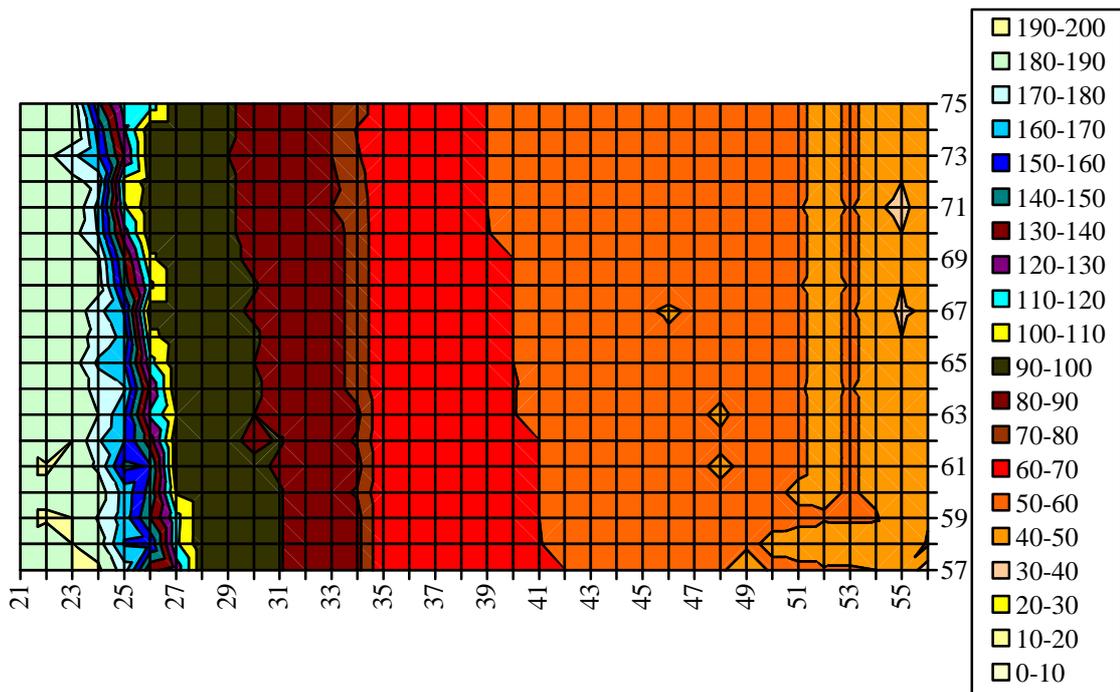


Figura 68. Trasvase mínimo anual

Valores mayores de 27-28 hm^3/mes en nivel 2 dan lugar a trasvases mínimos anuales inferiores a 100 $\text{hm}^3/\text{año}$, observándose una fuerte variación para el rango más pequeño de valores en nivel 2, muy amortiguada a partir también de unos 27 hm^3/mes . A partir de unos 31-33 hm^3/mes , se baja de 90-80 $\text{hm}^3/\text{año}$, en zona ya progresivamente inasumible.

En cuanto al índice de irregularidad, la respuesta es diferente a la de los anteriores indicadores, apreciándose que las menores irregularidades, con valores inferiores al 25%, se producen en torno a 27-37 hm^3/mes para el nivel 2 junto con 57-60 hm^3/mes para el nivel 1.

Dado que, como se vio, los indicadores de probabilidad del nivel 3 y trasvase mínimo son relativamente indiferentes del trasvase en nivel 1, por aplicación de este criterio debiera elegirse un valor reducido para este valor, del orden de 57-61 hm^3/mes , junto con valores del orden de 28-33 para el nivel 2.

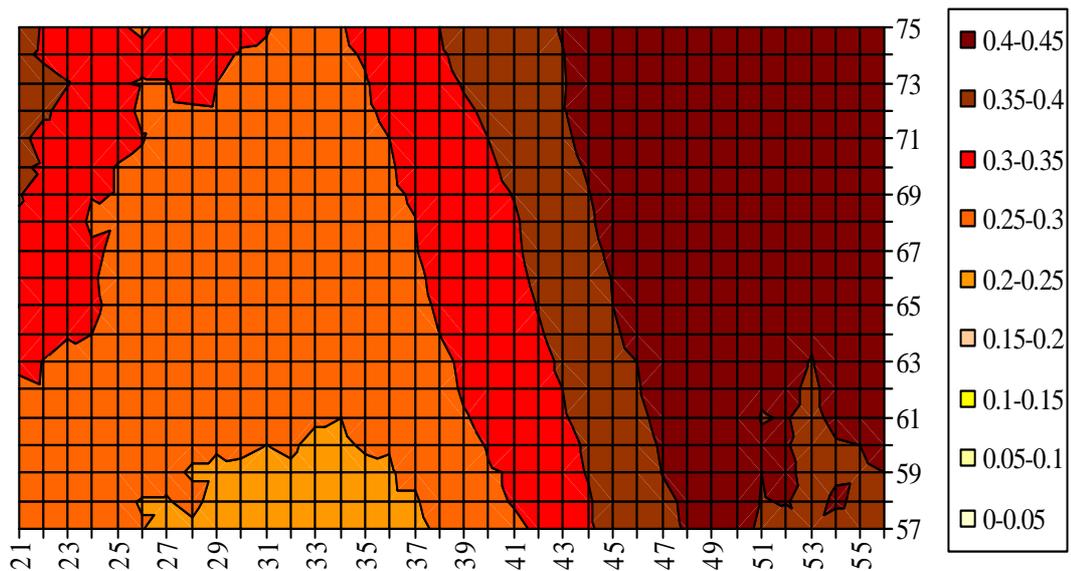


Figura 69. Índice de irregularidad

Finalmente, los resultados para el indicador de trasvase medio anual son los mostrados, con un comportamiento similar al de probabilidad de nivel 3 y trasvase mínimo, si bien mucho más suavizado que éste último.

Aunque el comportamiento de las isóneas es similar a los señalados, el trasvase medio anual aumenta con el trasvasable mensual en nivel 2 y también, aunque mucho menos, con el del nivel 3. Los mejores resultados de este indicador se obtienen, por tanto, justamente en sentido contrario a los mejores resultados para el indicador de probabilidad de nivel 3 y de trasvase mínimo. Ello apunta a la necesidad de un cierto compromiso que, dando preferencia al criterio de estabilidad y mínimo, valore también de algún modo el de trasvase medio anual.

Debe recordarse que estas diferencias en los valores medios trasvasados no se deben a diferencias o limitaciones de los suministros al Tajo, que se mantienen fijos en todos los casos, sino a diferencias en la evaporación de los embalses por diferencias en los niveles y oscilaciones de la lámina de agua, e incluso posibles vertidos ocasionales. A partir de unos 35-39 hm³/mes las diferencias tienden a ser más reducidas, de a lo sumo 10 hm³/año en todo el recorrido, lo que sugiere que estas cifras podrían resultar satisfactorias.

Como puede verse, el criterio razonable de procurar que el medio anual resultante de la nueva regla sea al menos igual al medio histórico realmente producido (338 hm³/año) se satisface en prácticamente todo el dominio mostrado, bastando con que el nivel 2 supere los 23 hm³/mes, para cualquier valor del nivel 3. Ello supone una garantía de que este importante indicador no va a verse empeorado como consecuencia de la nueva regulación.

Cabe señalar, asimismo, que no se producen vertidos incontrolados de los embalses en ningún caso para todo el dominio definido. Observando las magnitudes involucradas, tal efecto se debe sin duda a las relativamente reducidas aportaciones empleadas (serie 1980-2012) frente a la demanda y la importante capacidad de regulación disponible.

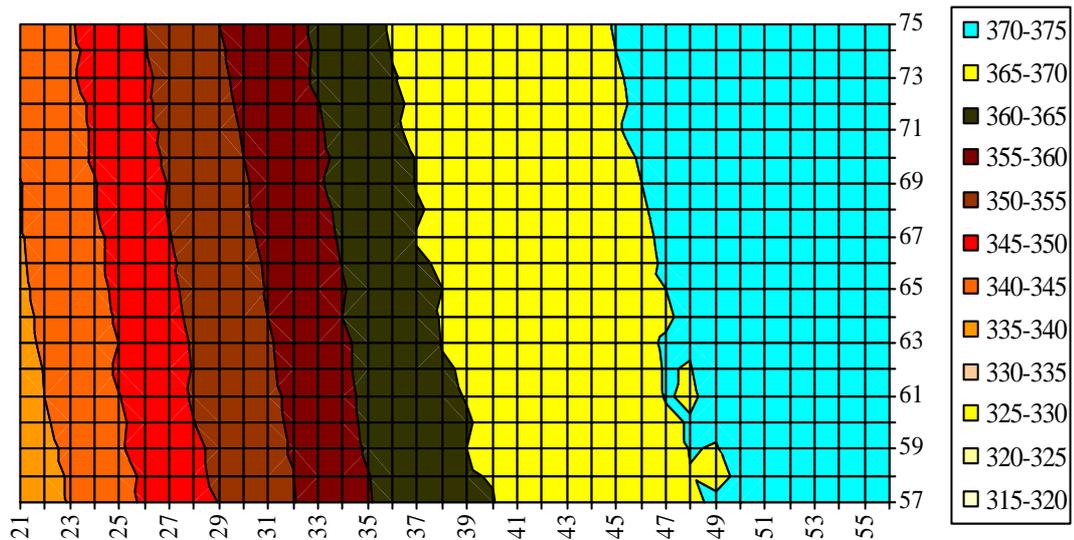


Figura 70. Trasvase medio anual

En síntesis, ponderando los resultados obtenidos para los cuatro indicadores expuestos, valores adecuados de compromiso estarían en las horquillas entre 28-33 hm³/mes para el nivel 2 y 57-61 hm³/mes para el nivel 1. Cifras medias redondeadas de 30 y 60 hm³/mes respectivamente podrían admitirse en principio como válidas.

La comparación de indicadores entre los ya mostrados resultantes de la regla vigente y los resultantes de la aplicación de esta propuesta de 30, 60, 1300, en ambos casos con la serie de referencia 1980-2012, puede verse en la tabla.

Indicador	Vigente	Propuesto
Probabilidad nivel 1 (%)	20.3	10.9
Probabilidad nivel 2 (%)	27.6	64.6
Probabilidad nivel 3 (%)	39.3	19.0
Probabilidad nivel 4 (%)	12.8	5.5
Trasvase mínimo anual (hm ³)	57	93
Trasvase medio anual (hm ³)	371	353
Coefficiente de irregularidad	0.365	0.253
Coefficiente de variación	0.495	0.335
Vertido medio anual (hm ³)	0	0
Porcentaje de meses con vertido (%)	0	0

Tabla 24. Indicadores de explotación de la regla en situación actual y propuesta

Todos los indicadores mejoran, con la excepción del trasvase medio anual, que se reduce en 18 hm³, pero aumentando el mínimo trasvasado en 36 hm³. Las probabilidades del nivel 3 y 4 se reducen a menos de la mitad.

Sin perjuicio de que cabe desde luego una cierta subjetividad en la ponderación de los indicadores, nos parece que el resultado de compromiso sugerido es globalmente aceptable, pues mejorar un indicador es a costa de empeorar algún otro, y en ocasiones cerca de sus umbrales críticos. No obstante, con el sistema de simulación desarrollado es inmediato analizar cualquier supuesto que se desee obteniendo sus indicadores de forma inmediata.

Las posibles mejoras podrían orientarse a reducir aún más las probabilidades de los niveles 3 y 4 y a aumentar el mínimo anual trasvasable. Ello afectaría, no obstante, al trasvasable medio de forma negativa. Dilucidar estos extremos requiere la ejecución de simulaciones de detalle, en el dominio extendido, tal y como se planteará más adelante.

8.5 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Tras la estimación inicial antes descrita, en el dominio básico, procede realizar diferentes análisis de sensibilidad a sus resultados con el objetivo de verificar la robustez de las magnitudes propuestas. Seguidamente se desarrollan diferentes análisis de esta naturaleza.

8.5.1 Series de aportaciones empleadas

Todos los cálculos expuestos han sido realizados empleando la serie hidrológica de aportaciones mensuales entre 1980 y 2012 (serie de referencia), caracterizada por valores apreciablemente reducidos respecto a los anteriores. Una comprobación de interés es la de repetir los mismos cálculos pero utilizando la serie completa disponible, desde 1912 hasta 2012. Los resultados obtenidos son los mostrados seguidamente.

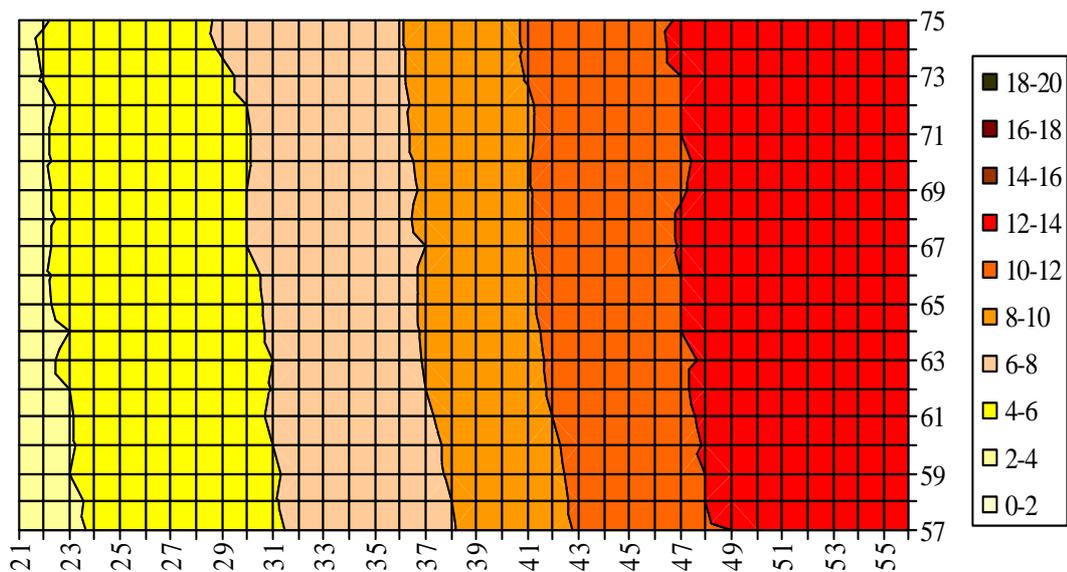


Figura 71. Probabilidad de presentación del nivel 3. Serie completa

En primer lugar, para el indicador de probabilidad del nivel 3 los valores son, como cabía esperar, muy inferiores a los de la serie reciente, no alcanzándose el 15% en todo el dominio de las variables. El patrón estructural de relativa independencia respecto a la variación del trasvase mensual en nivel 1 se sigue manteniendo. Los valores sugeridos de 30-60 son perfectamente válidos.

El trasvase mínimo anual es prácticamente el mismo, como es lógico dado que la serie completa incluye a la reciente.

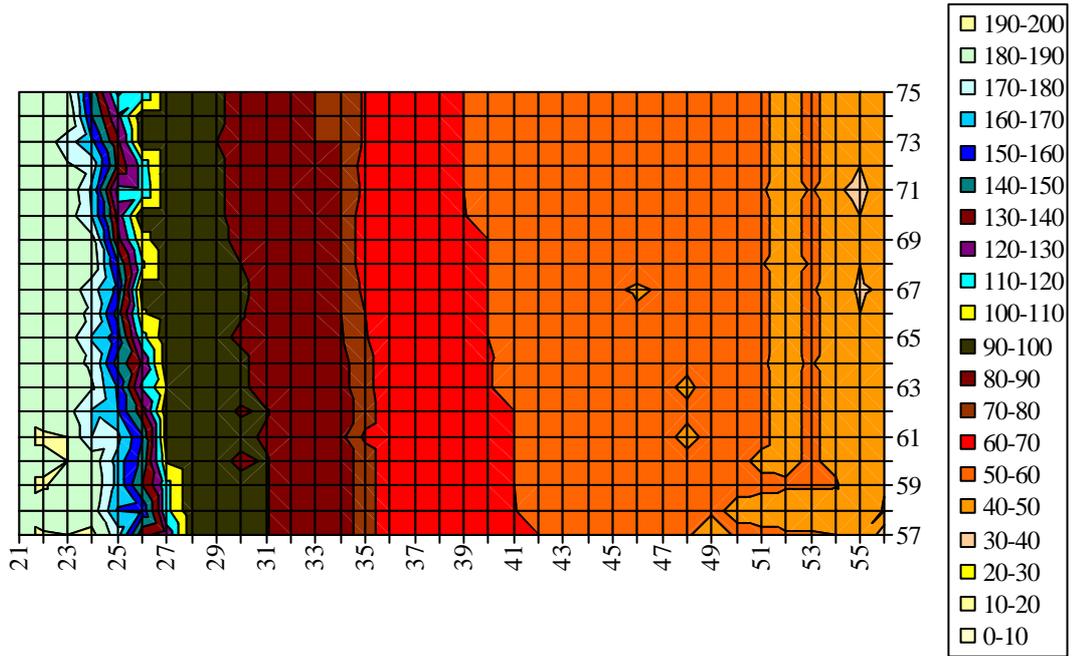


Figura 72. Traslase mínimo anual. Serie completa

El indicador de irregularidad muestra la misma forma que antes, pero con valores obviamente diferentes, mas reducidos. La propuesta de 30-60 sigue siendo válida.

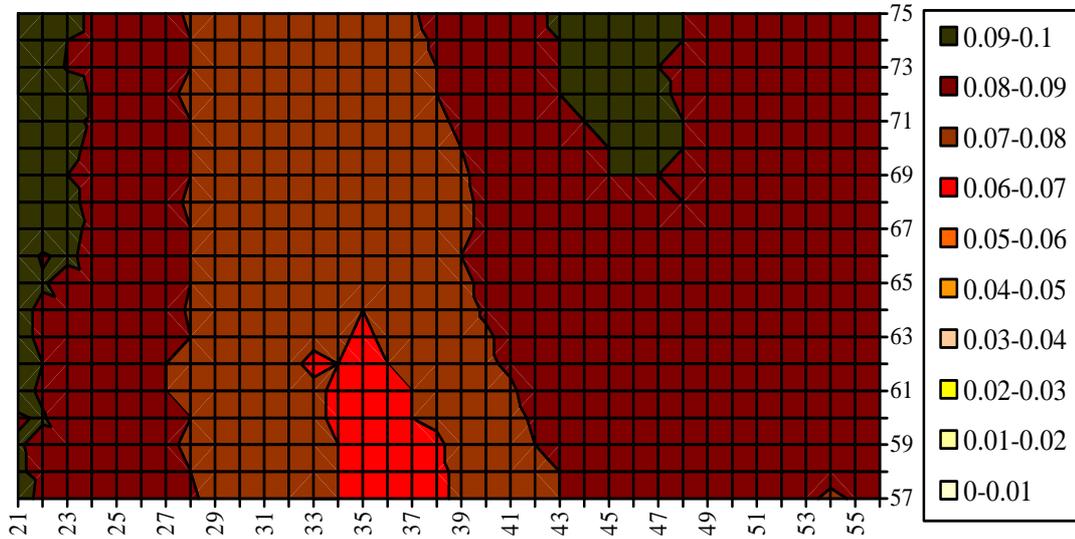


Figura 73. Índice de irregularidad. Serie completa

Para el trasvase medio anual, el patrón es similar al anterior, pero la influencia del nivel 1 es mas acentuada, especialmente para los valores inferiores del nivel 2. La propuesta 30-60 sigue siendo aceptable. Nótese que para todo este dominio se trasvasarían, en valores medios, volúmenes superiores a los 500 hm³/año.

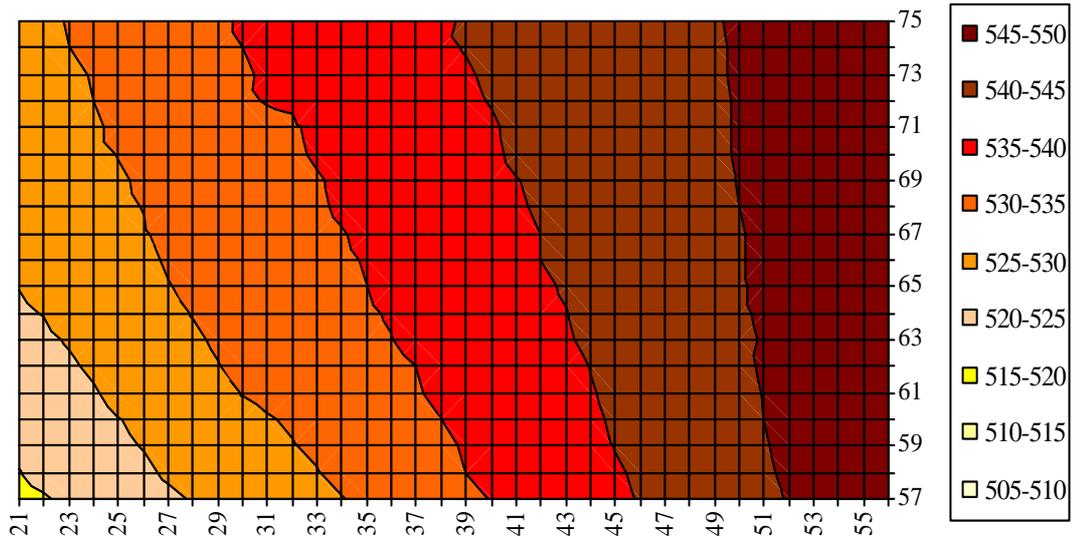


Figura 74. Trasvase medio anual. Serie completa

En conclusión, para los 4 indicadores contemplados el empleo de la serie completa ratifica la aceptabilidad de los valores apuntados de 30 y 60 hm³/mes para el trasvase en niveles 2 y 1 respectivamente. Pero hay otro indicador que podría resultar revelador, y es el de vertidos incontrolados desde los embalses. Los resultados obtenidos son los mostrados en la figura.

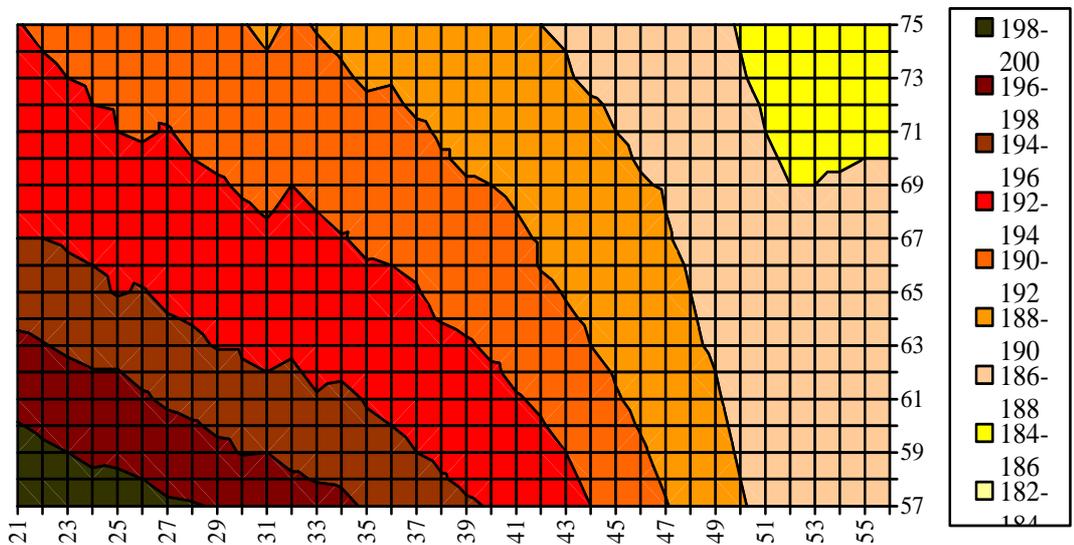


Figura 75. Vertido medio anual. (hm3/año)

Como se señaló, para la serie reciente, desde 1980, estos vertidos son nulos en todo el dominio representado pero puede verse que para la serie larga se producen vertidos en cuantía significativa para todo ese dominio. Ello revela que con el registro histórico completo se produce una situación de relativa abundancia y tanto las demandas propias del Tajo como las del trasvase pueden ser, en principio, adecuadamente atendidas.

En términos porcentuales, entre un 9 y un 12% del total de meses se producen vertidos en todo el dominio, aunque teniendo lugar únicamente en el primer periodo, hasta 1980.

Esta circunstancia ilustra una vez más sobre la conveniencia, ya reiterada, de actualizar las condiciones y parámetros de la regla de explotación para adaptarlos a las variables coyunturas hidrológicas.

Para investigar la posibilidad de que haya regiones del espacio factible donde este comportamiento no se produzca y, por tanto, no sea estructural para esta serie hidrológica, se han reiterado los cálculos anteriores pero permitiendo que los parámetros de aportaciones acumuladas y embalse de nivel 1 no sean fijos, sino que también puedan modificarse al igual que los relativos a trasvases en los distintos niveles.

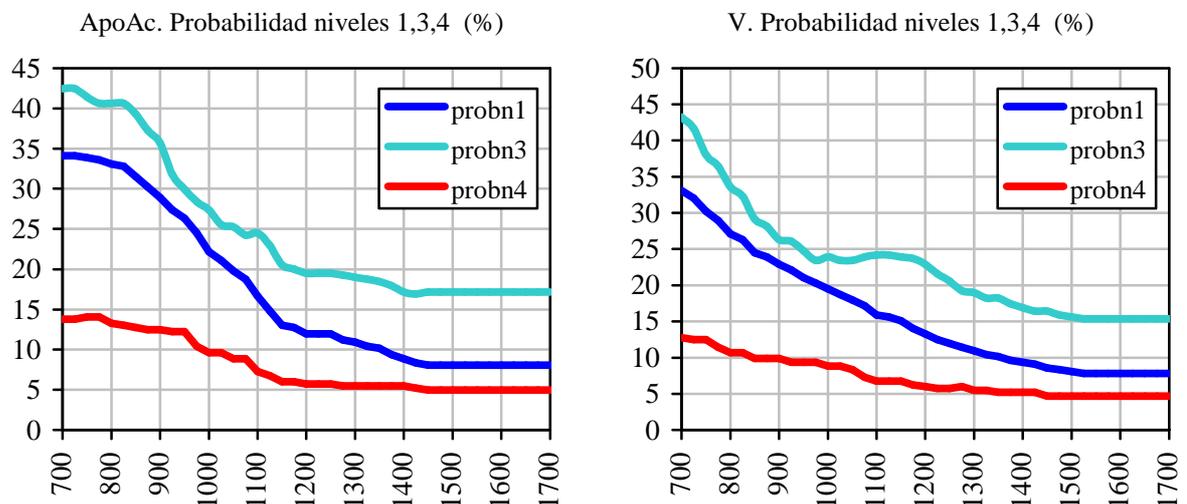
Los resultados obtenidos en esta búsqueda exhaustiva (más de 300000 hipótesis ensayadas utilizando el registro de 100 años) muestran que en ningún caso, sea cual sea la combinación de parámetros en todo el espacio admitido como factible, se consigue anular el vertido, ni siquiera reducirlo por debajo de 180 hm³/año de media. Se trata por tanto de un comportamiento estructural, debido a la elevada cuantía relativa de las aportaciones frente a las demandas en el primer periodo de la serie, y al que la parametrización no puede afectar de forma significativa.

8.5.2 Definición del nivel 1

En los análisis anteriores, y por las razones expuestas, se supuso que los parámetros definidores del nivel 1, aportaciones acumuladas y existencias, quedaban fijados en 1300 hm³. Procede contrastar ahora hasta que punto tal especificación puede influir en los resultados de la explotación.

Para ello se han simulado explotaciones con la serie de referencia manteniendo fija la especificación de parámetros 20/30/60 y variando los parámetros de aportaciones acumuladas y existencias definitorias del nivel 1.

Los resultados para los distintos indicadores son los mostrados en las figuras, con la primera columna correspondiente a la variación del parámetro de aportaciones acumuladas en los 12 meses anteriores (ApoAc, hm³), suponiendo fijo en 1300 el parámetro de existencias, y la segunda columna correspondiente la variación de existencias embalsadas (V, hm³), suponiendo fijo en 1300 el parámetro de aportaciones acumuladas.



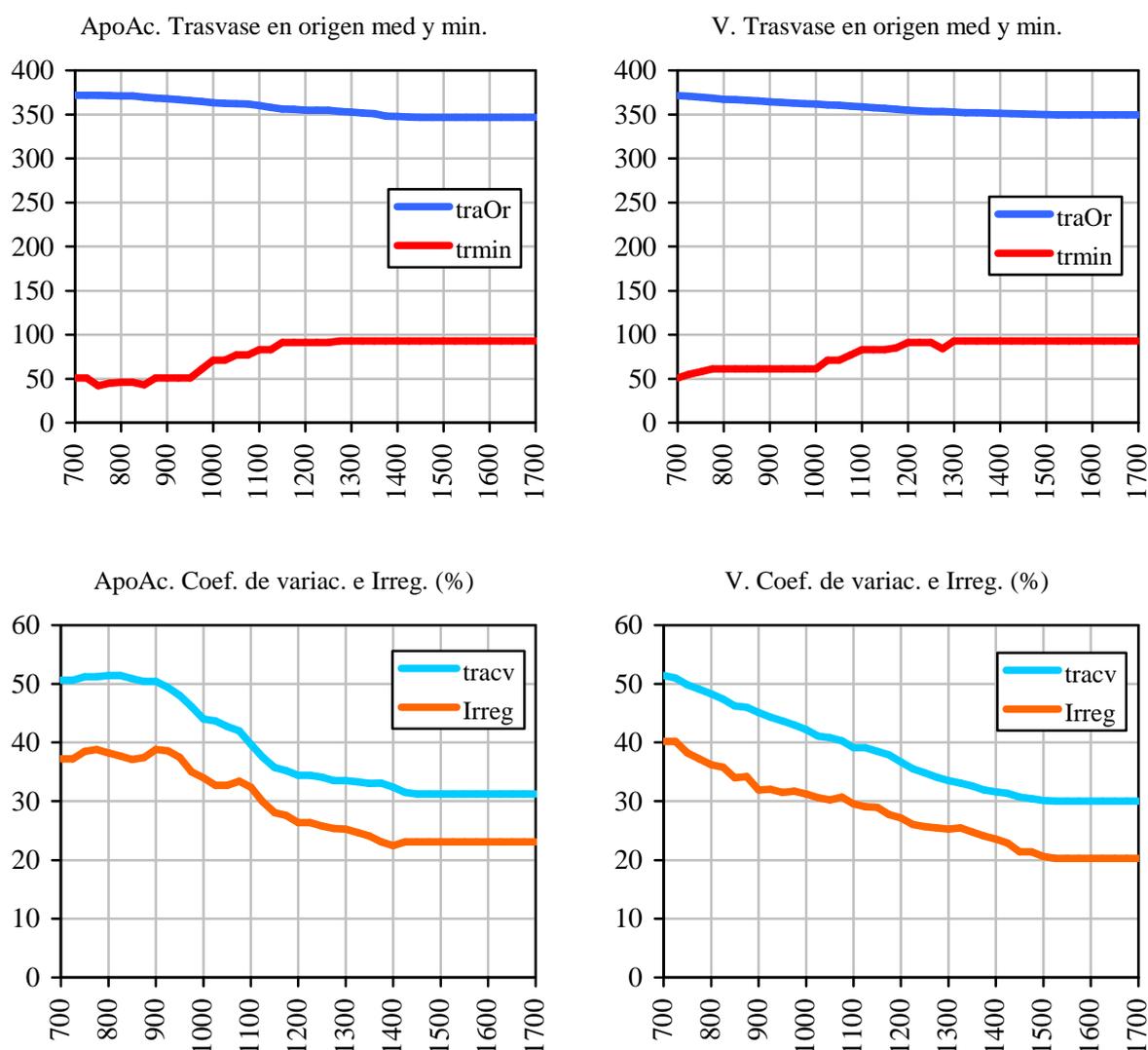


Figura 76. Indicadores resultantes según los parámetros de definición del nivel 1

En general, ambos parámetros inducen no solo un comportamiento análogo en la respuesta de los indicadores, sino también con unas magnitudes muy similares en ambos casos.

Observando los gráficos de probabilidad de presentación de niveles puede verse que, para ambas variables, las probabilidades de los diferentes niveles decrecen con el aumento de la variable, inicialmente con mayor pendiente hasta alcanzar una cierta estabilización en torno a los 1200 hm³ para aportaciones y 1400 hm³ para existencias, valores objetivo de los que no debiera en principio descenderse.

Similares valores son los de estabilización de los volúmenes trasvasados medios y mínimos anuales. El trasvasado medio decrece muy ligeramente con las variables, pero encontrándose siempre en el intervalo 350-370 hm³/año. Sin embargo el trasvase mínimo sí que se ve negativamente afectado bajo valores del orden de unos 1200 para aportaciones y 1300 para existencias, bajo los cuales no se aseguran 100 hm³/año mínimos en toda la serie.

Finalmente, los indicadores de variabilidad decrecen con el aumento de las variables, hasta valores estabilizados del orden de 1400-1500.

En conclusión, valorando conjuntamente todos estos resultados, un valor inicial en torno a 1300 como magnitud de referencia para ambos parámetros parece equilibrado para todos los indicadores, con ligera desviación hacia 1200 en aportaciones y 1400 en existencias. En análisis detallados, de dominio extendido, cabría ensayar por tanto una horquilla igual para ambos parámetros entre 1000 y 1500.

8.5.3 Volumen trasvasable en nivel 3

Hasta ahora se ha supuesto que el volumen trasvasable en nivel 3, de condiciones hidrológicas excepcionales, viene fijado por los requerimientos y necesidades mínimas estrictas analizadas en capítulos anteriores, y no es por tanto, en principio, un parámetro variable de la regla. No obstante, resulta de interés teórico observar el impacto que tendría la modificación de esta cifra sobre los indicadores de explotación si se supone de magnitud variable.

Para su evaluación, se fija el resto de parámetros a los valores sugeridos y se simula la aplicación de la regla modificando únicamente este parámetro en una horquilla muy amplia, aún fuera de los límites viables, con objeto de perfilar mejor su influencia. Los resultados obtenidos son los mostrados en las figuras.

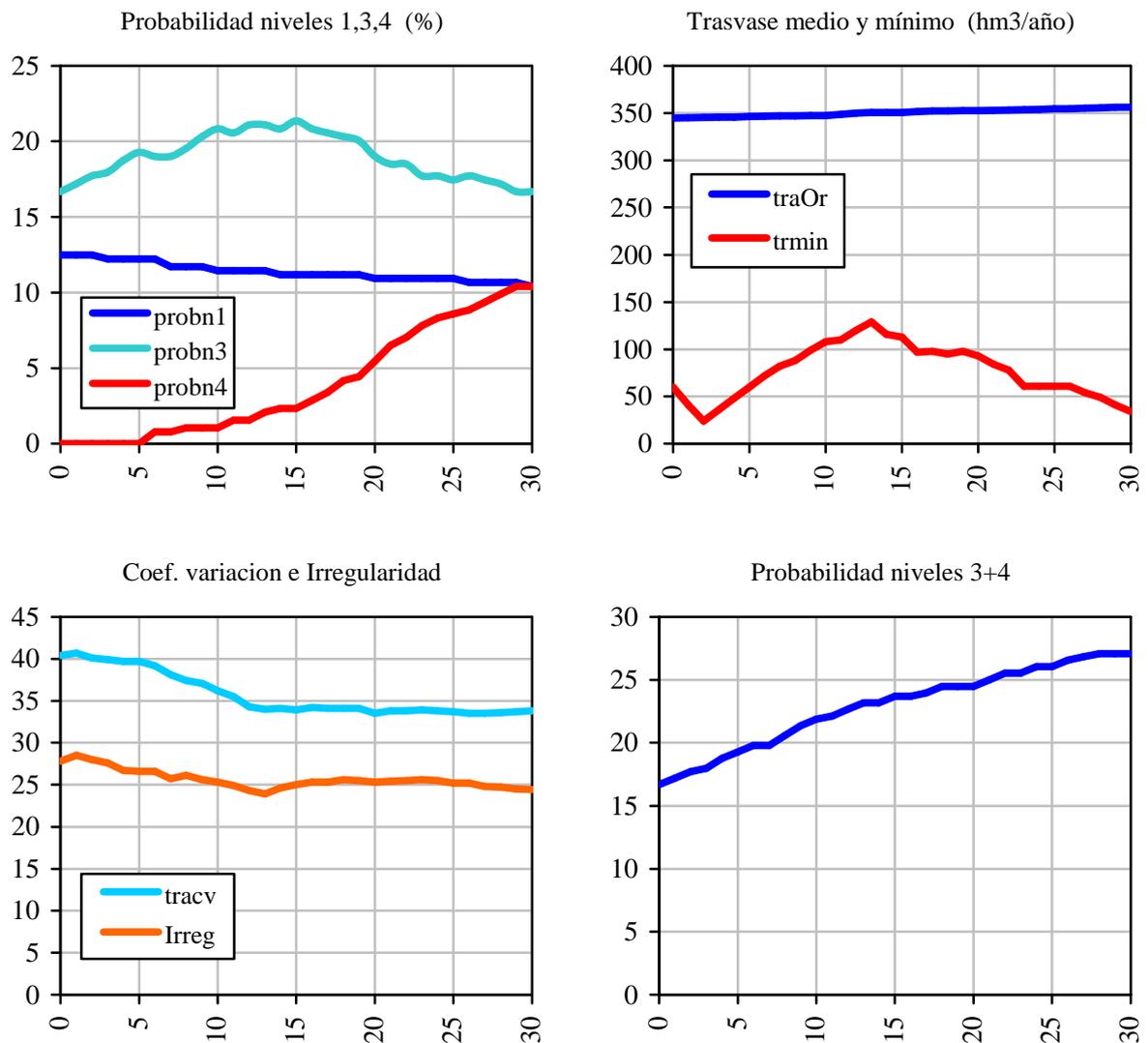


Figura 77. Indicadores resultantes según el trasvasable mensual en nivel 3

Puede verse que las probabilidades de presentación del nivel 3 muestran un máximo en torno a 15 hm³/mes, y decrecen para valores mayores. Sin embargo la probabilidad de nivel 4 aumenta apreciablemente a partir de 5, alcanzando el 5% para los 20 de referencia. La mejora de la probabilidad de nivel 3 se ve claramente anulada por el empeoramiento de la probabilidad de nivel 4, tal y como se aprecia en el gráfico de probabilidad suma de ambos niveles, que es el más revelador.

Reducir el valor de 20 supondría una pequeña mejora en las probabilidades pero que en ningún caso es determinante (no llega a anularlas), y que afecta al mínimo estrictamente necesario para necesidades básicas en la cuenca de destino. Como se observa, pasar de un mínimo de 20 a 10 supondría una mejora porcentual tan solo del 3%, por lo que esta reducción no se considera aconsejable.

Atendiendo a los volúmenes trasvasados, el medio es prácticamente insensible a este parámetro pero el mínimo supera los 100 hm³/año solo para valores entre 10 y 20, decreciendo fuera de este intervalo, lo que apunta a no alejarse significativamente de los 20 propuestos.

Finalmente, la irregularidad de los envíos permanece estable a partir de 15 y aumenta para valores inferiores a esa magnitud.

Ponderando las circunstancias expuestas se puede concluir que la magnitud de 20 hm³/mes ofrece un prudente equilibrio entre los distintos criterios, por lo que puede adoptarse razonablemente como valor de referencia.

Aumentar el valor de 20 hm³/mes supone tanto aumentar la probabilidad de presentación de niveles 3 y 4 como reducir el mínimo anual trasvasado. Reducirlo a 15 hm³/mes, considerado el mínimo absoluto teórico posible, supone rebajar únicamente 2 puntos la probabilidad de niveles 3 y 4, manteniendo prácticamente inalterados el resto de indicadores, y a costa de una situación mucho más desfavorable en el área receptora, por lo que esta opción se estima inconveniente. Considerando que, a diferencia de los otros niveles, se trata de un valor máximo y no de un fijo, una horquilla adecuada para análisis detallados de sensibilidad podría estar entre 20 y 25 hm³/mes, similar al valor actualmente vigente.

8.5.4 Margen de discrecionalidad en nivel 3

En los análisis anteriores se ha supuesto que el volumen trasvasable en nivel 3, de condiciones hidrológicas excepcionales, se produce de forma automática si se alcanza este nivel. Puesto que la decisión final en esta situación hidrológica excepcional es discrecional, y el valor de referencia es en realidad un máximo, es oportuno ensayar lo que sucedería si se adopta un criterio restrictivo que, razonablemente, podría consistir en limitar el envío todo el año tan solo para las necesidades estrictas de abastecimiento (evaluados en 8.4 hm³/mes en origen), y alcanzar el máximo (20 hm³/mes en origen) tan solo en el periodo de junio a septiembre, donde las necesidades de riego son mayores. Ello supone en definitiva considerar que los envíos en nivel 3 no son fijos todo el año sino que pueden variar estacionalmente.

Los resultados del contraste de este supuesto estacional frente al resultante de considerar fijo el parámetro de referencia de 20 hm³/mes son los mostrados en la tabla.

Indicador	Fijo	Estacional
Probabilidad nivel 1 (%)	10.9	11.5
Probabilidad nivel 2 (%)	64.6	65.6
Probabilidad nivel 3 (%)	19.0	20.8

Indicador	Fijo	Estacional
Probabilidad nivel 4 (%)	5.5	2.1
Trasvase mínimo anual (hm ³)	93	104
Trasvase medio anual (hm ³)	353	351
Coefficiente de irregularidad	0.253	0.245
Coefficiente de variación	0.335	0.341
Vertido medio anual (hm ³)	0	0
Porcentaje de meses con vertido (%)	0	0

Tabla 25. Indicadores de explotación para nivel 3 fijo y estacional

Puede verse que los resultados son muy similares, con una ligera mejora tanto en la probabilidad de nivel 4 como en el trasvase mínimo anual, y un pequeño empeoramiento en la probabilidad de nivel 3 y el trasvase medio anual.

La conclusión que cabe extraer es que las posibles políticas de decisión en estas circunstancias hidrológicas excepcionales, tal y como una reducción estacional por usos, no tienen un efecto significativo sobre los indicadores globales de explotación, y son otros criterios de oportunidad y coyuntura los que deben regir estas determinaciones prácticas en cada caso concreto.

8.5.5 Curva de definición de condiciones excepcionales

En los análisis anteriores se ha supuesto que la curva de definición del nivel 3 es la correspondiente a las condiciones de explotación expuestas en su correspondiente capítulo, y no se modifica con el resto de parámetros. Dado que el control final de comportamiento de la regla se ejerce mediante el cómputo de las probabilidades de presentación de los distintos niveles, cualquier explotación que proporcione probabilidades nulas de nivel 5 (fallos de garantía en el Tajo) y nivel 6 (vaciado del embalse) sería aceptable, dado que no comprometería en nada la completa satisfacción de las demandas y requerimientos ambientales propios del Tajo.

Para evaluar el impacto de modificar la curva definitoria del nivel 3 se ha supuesto que el resto de parámetros se fijan a sus valores de referencia, y se ha desplazado la curva completa desde su valor de referencia hasta -300 a +500 hm³ adicionales. Esto supone pasar del intervalo propuesto, con máximo de 688 en julio y mínimo de 586 en abril (desplazamiento 0), a recorrer todo el rango desde una curva rebajada, con máximo de 388 y mínimo de 286, hasta otra elevada con máximo de 1188 y mínimo de 1086 hm³.

Los resultados obtenidos en función del valor de desplazamiento de la curva son los mostrados en las figuras.

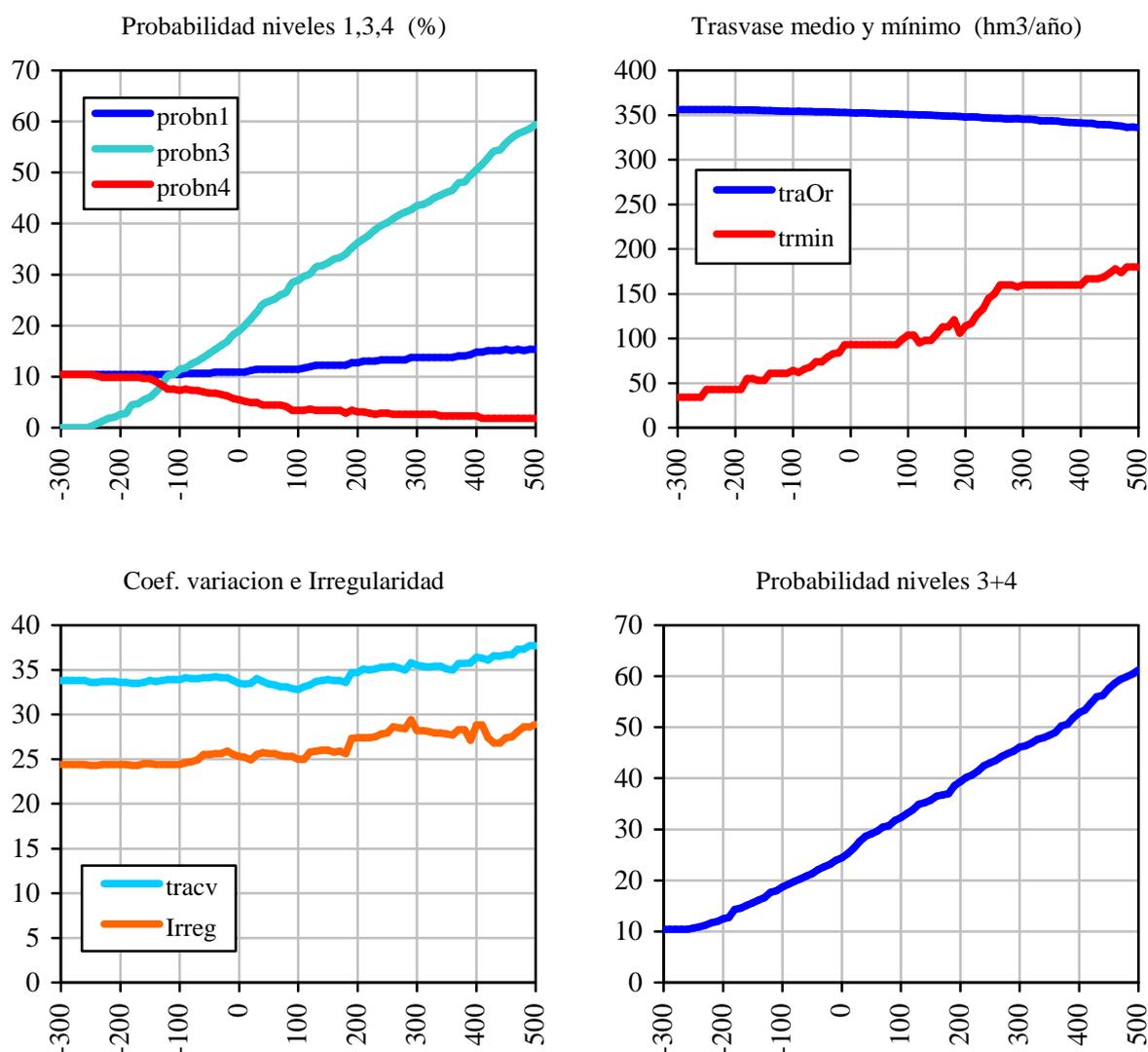


Figura 78. Indicadores resultantes según el trasvasable mensual en nivel 3

Puede verse que la probabilidad de presentación del nivel 3 crece de forma prácticamente lineal en todo el recorrido, a tasas importantes, mientras que la del nivel 4 decrece de forma mucho más contenida. Como se aprecia en el gráfico de probabilidad suma de ambos niveles, el efecto conjunto queda claramente dominado por el nivel 3 de forma que el crecimiento de esta probabilidad conjunta adversa es importante y sostenido. En ningún caso se alcanzan los niveles 5 ó 6. Este resultado, en principio sorprendente, se explica porque la barrera de 400 hm³ actúa impidiendo cualquier trasvase bajo este umbral, al margen de la curva establecida, y los 400 tienen, como se vio, un importante margen de seguridad implícito que llega a anular estos posibles riesgos.

Atendiendo a los volúmenes trasvasados, el medio es prácticamente insensible a desplazamientos de la curva en todo el recorrido, mientras que el mínimo va aumentando desde -300 hasta estabilizarse en 100 hm³/año para desplazamientos entre 0 y 200, y aumentando de nuevo a 150 hm³/año desde desplazamientos de 250 hasta prácticamente el final del rango.

Finalmente, la irregularidad de los envíos permanece estable hasta unos 200, creciendo ligeramente desde ese valor.

En síntesis, elevar la curva de definición de nivel 3 no solo no proporciona mas seguridad, sino que aumenta sensiblemente la probabilidad de niveles 3 y 4 sin ninguna ventaja apreciable excepto la elevación del mínimo, y ello para desplazamientos mayores de 250 que suponen, a su vez, aumentar en casi 20 puntos porcentuales la probabilidad de presentación de los niveles 3 ó 4.

Por otra parte, reducir la curva mantiene plenamente la garantía para el Tajo y reduce la probabilidad de presentación del nivel 3 ó 4, pero a costa de empeorar el mínimo anual trasvasado. Para análisis más detallados podría adoptarse una horquilla con desviación máxima de $\pm 100 \text{ hm}^3$ respecto a la curva de referencia.

Una curiosidad final, sin sustento técnico y meramente especulativa, sería la de verificar el funcionamiento de la curva vigente, correspondiente a los 240, pero con los nuevos parámetros propuestos, y el efecto de la propuesta del PHT, que es la anterior desplazada en bloque 160 hm^3 . Los resultados de la explotación son los mostrados en la tabla, en la que se incluye también, a efectos comparativos, los correspondientes a la nueva curva propuesta.

Indicador	C.Propuesta	C.Vigente	C.Vig.+160
Probabilidad nivel 1 (%)	10.9	10.4	11.4
Probabilidad nivel 2 (%)	64.6	71.9	60.2
Probabilidad nivel 3 (%)	19.0	10.2	23.4
Probabilidad nivel 4 (%)	5.5	7.6	5.0
Trasvase mínimo anual (hm^3)	93	61	93
Trasvase medio anual (hm^3)	353	355	352
Coefficiente de irregularidad	0.253	0.242	0.255
Coefficiente de variación	0.335	0.338	0.340
Vertido medio anual (hm^3)	0	0	0
Porcentaje de meses con vertido (%)	0	0	0

Tabla 26. Indicadores de explotación según la curva de nivel 3 adoptada

Puede verse que los resultados son similares para la propuesta y la vigente, con un cierto incremento de probabilidades de nivel 3 y 4 en la nueva curva, pero con mayor volumen de trasvase mínimo anual. El trasvase medio y la irregularidad son prácticamente iguales. Para la Vigente desplazada (propuesta en el borrador de PHT) se empeora la probabilidad conjunta de niveles 3 y 4 y el resto de indicadores es prácticamente idéntico al resultante de la nueva propuesta, por lo que se trata de una opción inferior, sin perjuicio de la falta de rigor en su determinación.

Recuérdese que, en los tres casos, todos los parámetros se suponen iguales a los nuevos propuestos, cambiando tan solo la curva adoptada. La comparación estricta de la situación vigente con la nueva propuesta se llevó a cabo anteriormente, con manifiesta ventaja de la nueva propuesta.

8.5.6 Situaciones vigente y propuesta

Un contraste final de interés es el de los resultados que se obtienen en la situación vigente, entendiendo por tal la correspondiente a los parámetros de la regla 68/38/23/1000/1500 y curva vigente (correspondiente a los 240 de reserva) frente a la propuesta de 60/30/20/1200/1500 y nueva curva sugerida.

La evolución mensual de volúmenes trasvasados en ambos supuestos es la mostrada en la figura.

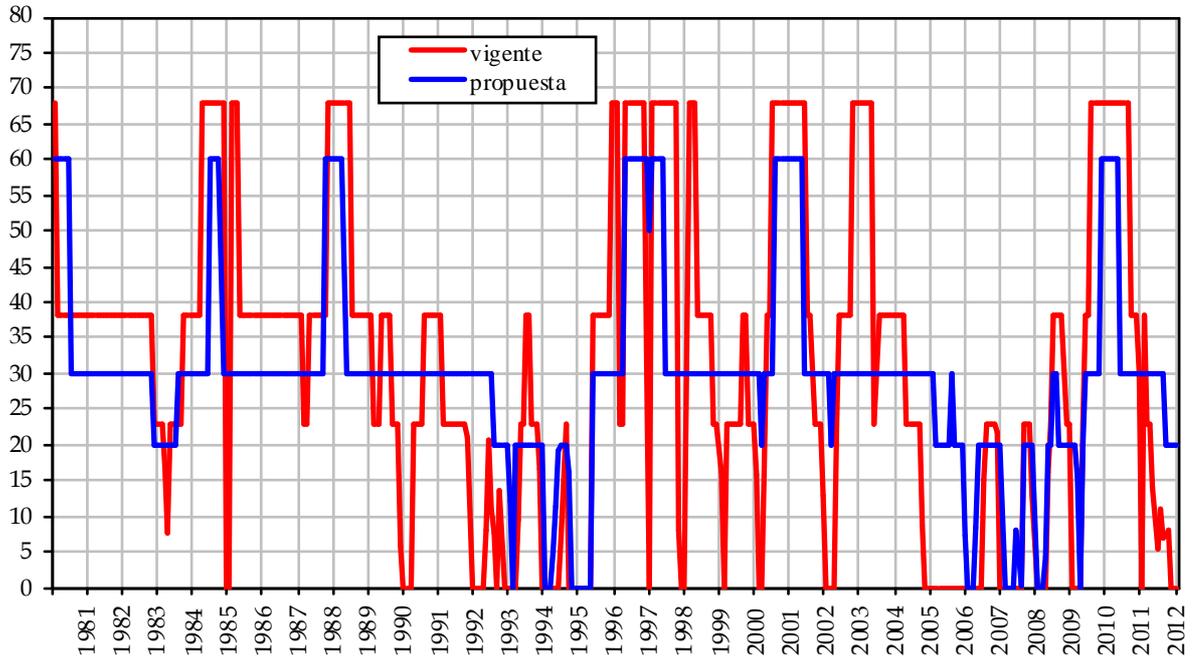


Figura 79. Trasvases mensuales en origen. Parámetros vigentes y propuestos

Puede verse que los envíos son mucho más estables con la nueva propuesta que con la situación vigente, reduciéndose tanto las puntas como los valores mínimos. Singularmente debe observarse la importante disminución del número de ceros mensuales, consiguiéndose el objetivo de una mayor regularidad y estabilidad en los envíos. Entre 1996 y 2006 numerosos meses no se habría enviado agua con los parámetros vigentes, mientras que los propuestos habrían conseguido ningún nulo y un régimen prácticamente continuo en los niveles 2 y 1 en el mismo periodo.

A escala anual, la serie de trasvases resultantes es la mostrada en la figura, en la que se representan también las líneas medias de las series obtenidas.

Puede verse que el régimen propuesto es, en efecto, también más estable a escala anual. Los menores valores entre 1984 y 1988 se compensan con los mayores entre 1989 y 1994, al igual que sucede en los periodos 2001-2004 y 2007-2008. Con la propuesta nunca se baja de 91 hm³/año, mientras que con el régimen vigente se baja de ese trasvase en 4 ocasiones, llegando a alcanzarse mínimos de 0, 30, 60 y 81 hm³/año, claramente inadmisibles.

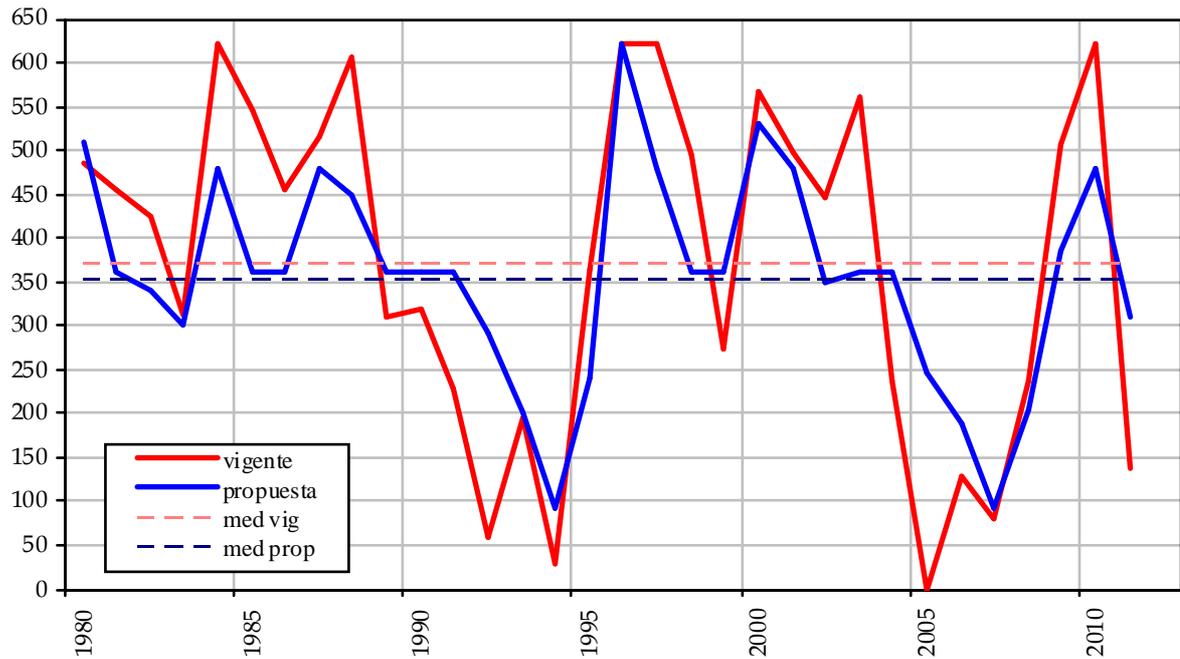


Figura 80. Trasvases anuales en origen. Parámetros vigentes y propuestos

Los trasvases medios anuales (unos $355 \text{ hm}^3/\text{año}$) son superiores (del orden del 5%) a los históricamente producidos en el mismo periodo ($338 \text{ hm}^3/\text{año}$) e inferiores (del orden del 5%) a los teóricos que resultarían con los parámetros vigentes (unos 373), debido, como ya se comentó en relación con la variación de la reserva, a la mayor evaporación por elevación de la lámina de agua, tal y como puede verse en la siguiente figura de existencias embalsadas cada mes. En ella se aprecia que el régimen vigente bajaría de 400 muchos meses de distintos años, mientras que la propuesta solo lo hace en un año, manteniéndose siempre con niveles de existencias superiores.

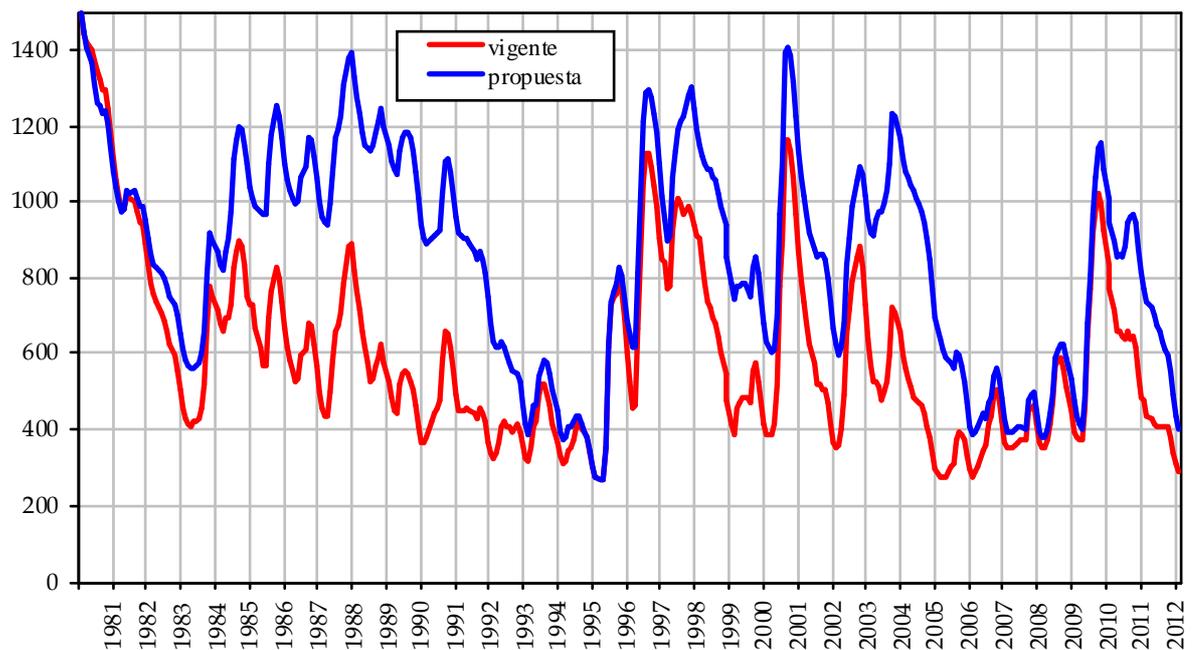


Figura 81. Existencias mensuales embalsadas. Parámetros vigentes y propuestos

Por último, los porcentajes de presentación de los distintos niveles en ambos casos son los ofrecidos en el gráfico. Se observa que el nivel 2 aumenta sensiblemente con la nueva propuesta, mientras que disminuye de forma significativa el nivel 3 y sobre todo el 4, minimizando la presentación de situaciones extremas con trasvase nulo.

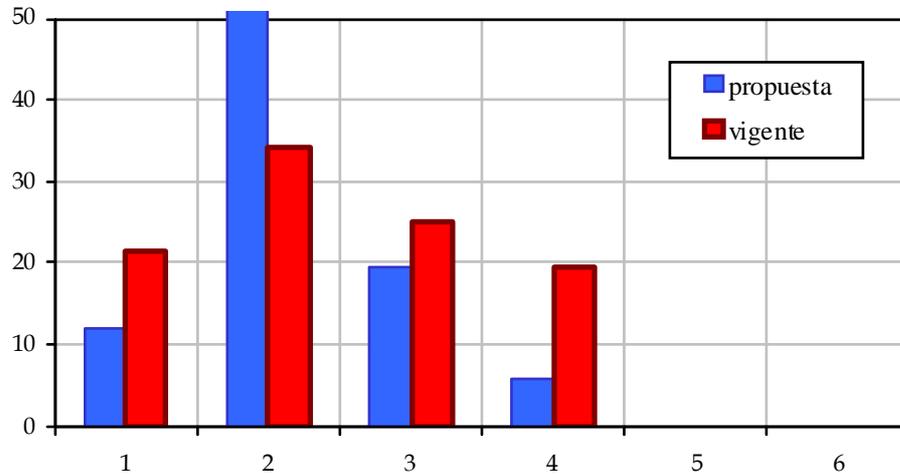


Figura 82. Porcentajes de presentación de niveles con parámetros vigentes y propuestos

En efecto, como ya se indicó, en el peor año la nueva propuesta permitiría trasvasar 91 hm^3 , mientras que la situación vigente trasvasaría 0 hm^3 . Este trasvase anual nulo es absolutamente inadmisibles por lo que debe sin duda procederse a adoptar los nuevos parámetros recomendados.

8.5.7 Conclusión

En los epígrafes anteriores se examinado exhaustivamente la vigente regla de explotación, proponiendo inicialmente nuevos parámetros para su adecuación a los cambios experimentados desde su promulgación inicial en 1997.

El análisis de los nuevos valores propuestos muestra su idoneidad general según los diferentes indicadores de explotación empleados, y los diversos análisis de sensibilidad realizados permiten confirmar su robustez y sugerir las posibles horquillas de valores que, con comportamiento similar al inicial, cabría considerar en un análisis numérico completo de variación de todos los parámetros de forma simultánea. El conjunto de estas horquillas configura un dominio de variación de parámetros más refinado, adecuado para la optimización y selección final de las mejores opciones mediante una ejecución masiva de toda la combinatoria de hipótesis posibles, y el filtrado sucesivo de los resultados imponiendo condiciones consideradas como mínimas o deseables para los distintos indicadores.

Además de la existencia de estas horquillas admisibles, un resultado relevante es la fuerte dependencia de los resultados según el empleo de la serie completa (1912-2012) o la de referencia (1980-2012), lo que advierte de la existencia de una incertidumbre de fondo, vinculada a la variabilidad hidrológica futura, que no puede ser resuelta.

Por otra parte, y como ya se ha apuntado, la aceptación del *efecto 80* como una reducción de aportaciones de carácter estructural, a considerar de forma permanente al menos en los

horizontes inmediatos de planificación, podría conducir razonablemente a una reconsideración de la regla en la que, sin modificar los máximos legales, se admita como trasvase objetivo anual una cantidad inferior a estos máximos, lo que permitiría garantizar este volumen objetivo de forma permanente, sin apenas oscilaciones interanuales.

8.6 ANÁLISIS DETALLADO EN EL DOMINIO EXTENDIDO

Una vez identificado el dominio optimizado de interés, se procederá a una exploración numérica completa del mismo, utilizando todas las posibles combinaciones de todos los parámetros dentro de este dominio. El proceso y resultados son los que siguen.

8.6.1 Dominio de búsqueda

Resumiendo resultados de epígrafes anteriores, un dominio extendido de búsqueda adecuado para la evaluación y contraste intensivo es el mostrado en la tabla, donde se incluyen todas las variables numéricas que intervienen en la regla, su rango individual y su resolución.

Parámetro	Dominio
Umbral de existencias no trasvasables (hm ³)	400
Volumen trasvasable en nivel 1 (hm ³ /mes)	57,61 (1)
Volumen trasvasable en nivel 2 (hm ³ /mes)	28,33 (1)
Volumen máximo trasvasable en nivel 3 (hm ³ /mes)	20,25 (1)
Aportación acumulada definitiva del nivel 1 (hm ³)	1000,1500 (100)
Existencias embalsadas definitivas del nivel 1 (hm ³)	1000,1500 (100)
Desplazamiento de la curva propuesta definitiva del nivel 3	-100,100 (50)

Tabla 27. Dominio de búsqueda refinado

La combinación de todas estas posibles opciones da lugar a 32400 alternativas que se ensayan en una misma ejecución con los resultados descritos seguidamente.

8.6.2 Resultados obtenidos

Las representaciones de todos los indicadores de probabilidad de ocupación de nivel 3 ó 4 frente a la probabilidad de nivel 4, de trasvase medio anual frente al mínimo anual, de coeficiente de variación frente a coeficiente de irregularidad, y de trasvase medio anual frente a probabilidad de niveles 3 ó 4 son las mostradas en las figuras.

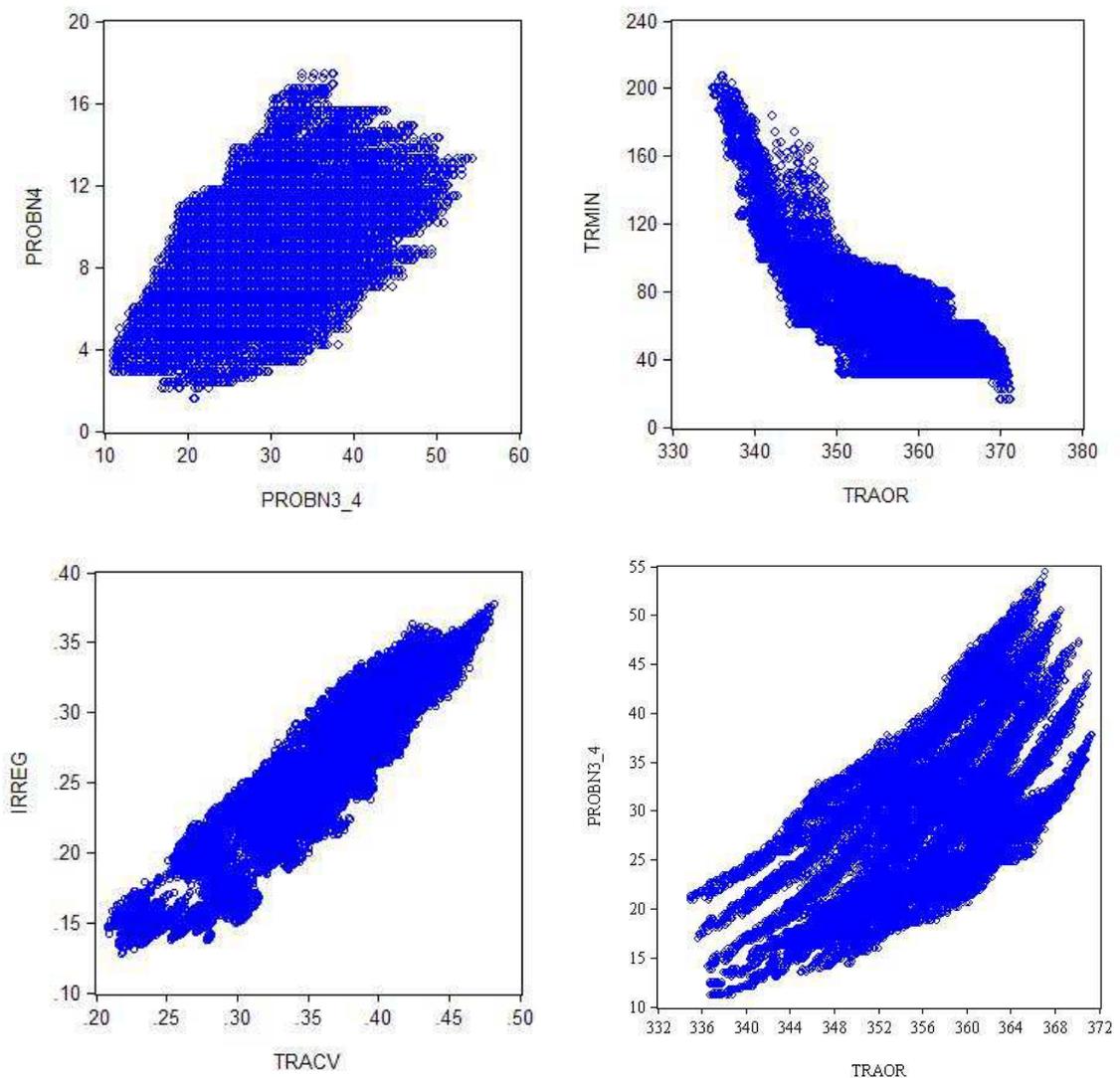


Figura 83. Indicadores de ejecución detallada

Puede verse que la probabilidad de presentación del nivel 3 ó 4 presenta cierta correlación positiva con la de nivel 4, como era de esperar, así como el coeficiente de variación con el de irregularidad, como también era esperable. La correlación es sin embargo negativa para el trasvase medio y el mínimo, lo que apunta a la necesidad de un compromiso entre estos indicadores, ya apuntado en los análisis anteriores. Trasvase medio y probabilidad de niveles 3 ó 4 presentan también correlación positiva, subrayando la necesidad de una solución de compromiso.

Analizando interactivamente esta masa de datos, se ha comprobado en efecto que ir hacia los valores óptimos según un indicador empeora otros indicadores hasta niveles inaceptables. En ausencia de una ponderación de criterios que podría permitir la selección de un óptimo absoluto, una solución de compromiso basada en filtros de exigencias mínimas es la dada en la tabla.

Indicador	Filtro
Probabilidad nivel 3 ó 4 (%)	< 24
Probabilidad nivel 4 (%)	< 6

Indicador	Filtro
Probabilidad nivel 5 ó 6 (%)	0
Trasvase mínimo anual (hm ³)	> 92
Trasvase medio anual (hm ³)	> 352
Coefficiente de irregularidad	< 0.26
Vertido medio anual (hm ³)	0
Porcentaje de meses con vertido (%)	0

Tabla 28. Propuesta de solución de compromiso basada en filtros

Puede comprobarse en la figura adjunta, de parametrizaciones compatibles con los filtros, que esta propuesta de filtros prácticamente incluye entre sus soluciones compatibles la propuesta de parámetros sugerida en epígrafes anteriores, por lo que esta propuesta puede darse por satisfactoria con la pequeña corrección de sustituir los 1300 hm³ iniciales de la aportación acumulada por el valor de 1200.

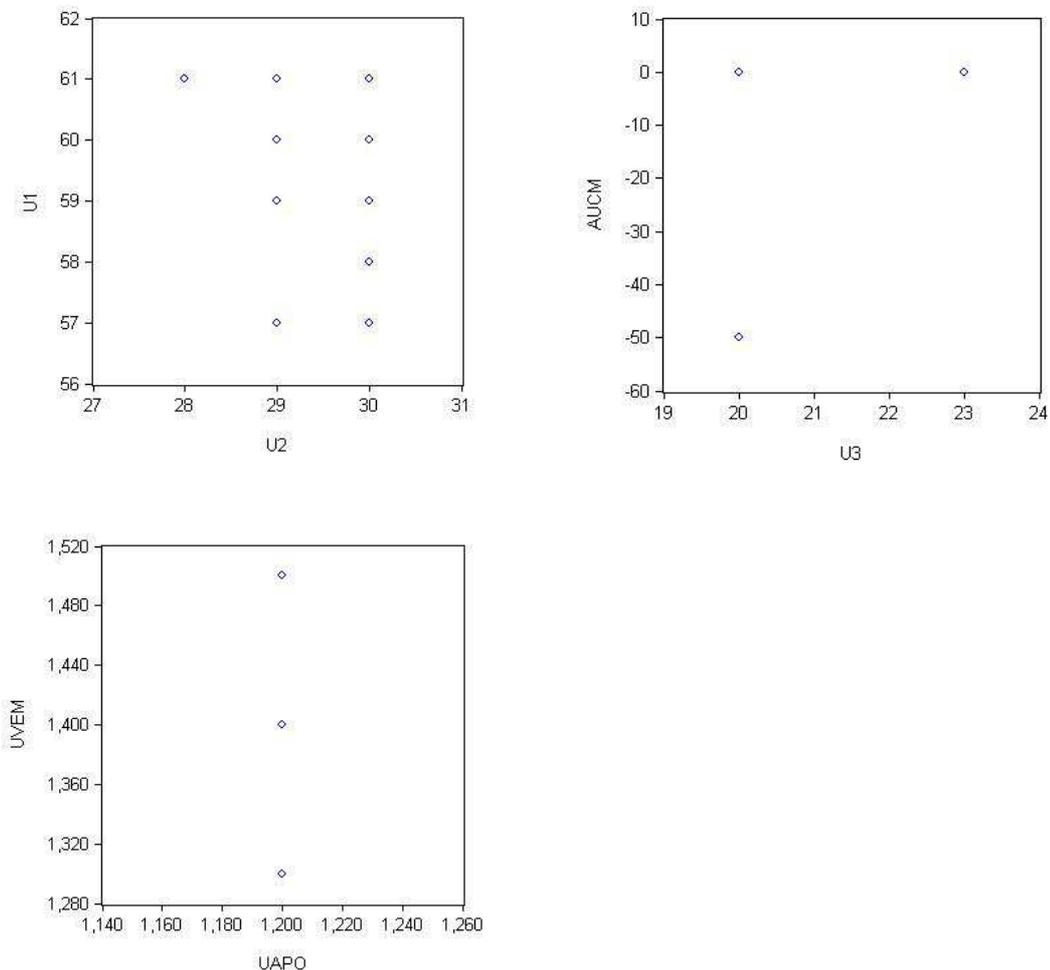


Figura 84. Parametrizaciones compatibles con la solución de compromiso

Puede verse que la curva de definición de nivel 3 es adecuada, e incluso admitiría un ligero descenso que sin embargo, de forma conservadora, no se estima conveniente, así como tampoco la reducción de los niveles 30/60 o el aumento de existencias para el nivel 1. Todo ello sería, en su caso, en magnitudes tan reducidas que sus efectos se estiman inapreciables en la práctica y claramente dominados por la incertidumbre hidrológica.

En definitiva, se propone adoptar la parametrización 20/30/60/1200/1300, sometiéndola a un contraste final mediante series sintéticas.

8.7 CONTRASTE CON SERIES SINTÉTICAS

8.7.1 Introducción

Una vez analizados los parámetros de la regla de explotación junto con su sensibilidad de respuesta a diferentes indicadores, cabe realizar un último contraste consistente en someter la solución propuesta a diferentes conjuntos de series sintéticas de aportaciones, con el objetivo de comprobar su robustez y estabilidad frente a la variabilidad hidrológica.

Para ello, se analiza la serie mensual de aportaciones entrantes a los embalses ajustando un modelo mensual estocástico de series temporales que, una vez validado, se emplea para generar series en el número y con la longitud que se desee. Las simulaciones descritas en epígrafes anteriores se reiteran con estas series sintéticas observando y valorando los resultados obtenidos. Seguidamente se describe el proceso seguido.

8.7.2 Modelo propuesto

La serie de aportaciones en Bolarque es la primera de España en la que se aplicaron técnicas de hidrología sintética, poco tiempo después de que estas técnicas fueran publicadas y divulgadas en el ámbito del programa de Harvard de recursos hídricos, a comienzos de los años 60 del pasado siglo. Desde entonces, este punto ha sido objeto de diferentes aproximaciones con estas técnicas, siempre en relación con los estudios de simulación del comportamiento de la cabecera del Tajo.

Así, en el proceso de diseño de la regla de explotación vigente se llevó a cabo un análisis con series sintéticas tal y como se describió en la publicación del MIMAM *Tres casos de planificación hidrológica*. El análisis concluyó en la idoneidad de un modelo desestacionalizado autoregresivo AR(3), que podría en la práctica reducirse a un AR(1), con normalización previa de datos mediante la transformación de Box-Cox y ajuste estacional. El modelo así construido y validado se utilizó para generar series sintéticas con las que se analizó la regla propuesta y se comparó con otras alternativas.

Para la aplicación práctica de la regla en modo predictivo a corto plazo, de los meses futuros, se sugirió utilizar directamente una estructura tipo Thomas-Fiering con normalización previa estacional mediante Box-Cox, y utilizando como elemento de seguridad un percentil del 20% para las predicciones, es decir, una probabilidad del 80% de que serían superadas en cada mes.

Procede actualizar ahora esos análisis, teniendo en cuenta tres circunstancias principales:

En primer lugar, y como ya se ha reiterado, la serie histórica muestra una significativa caída de aportaciones, siguiendo lo que ha denominado el *efecto 80*. Es razonable que la serie histórica que se adopte para la estimación del modelo sea concordante con esta circunstancia, empleando el periodo de análisis de referencia adoptado en este estudio, desde 1980 a 2012, y descartando los datos anteriores. Las series generadas serán así homologables a la empleada para los contrastes antes descritos.

Por otra parte, dado que se trata de una nueva serie, cabe investigar una nueva estructura que pudiera simplificar aún más la utilizada, favoreciendo su empleo práctico.

Por último, en la predicción a corto plazo se ha venido utilizando un percentil de seguridad, fijado de forma arbitraria en el 20%. Se propone que en la regla revisada se utilice un mecanismo similar y que, como ahora, no sea acumulativo sino que opere sobre las medianas estimadas en cada mes futuro, igual que se hace en práctica actual.

Así pues, empleando la serie de referencia 1980-2012, con 32 años hidrológicos completos, se ha postulado inicialmente un modelo de variables log-normales con desestacionalización previa no paramétrica, y estructura AR(1) de la variable final normalizada.

Se ha prescindido por tanto de la transformación de Box-Cox, de mayor generalidad, adoptando una transformación logarítmica en todos los meses (parámetro de Box-Cox siempre nulo). Ello asegura la preservación de estadísticos en el espacio log-transformado, lo que se supone que es adecuado y suficiente en la práctica. Para ilustrar la idoneidad de esta transformación, las figuras adjuntas muestran los gráficos de cuantiles de los datos de cada mes (M01 enero, ..., M12 diciembre), tanto originales como log-transformados, contrastados con la distribución normal.

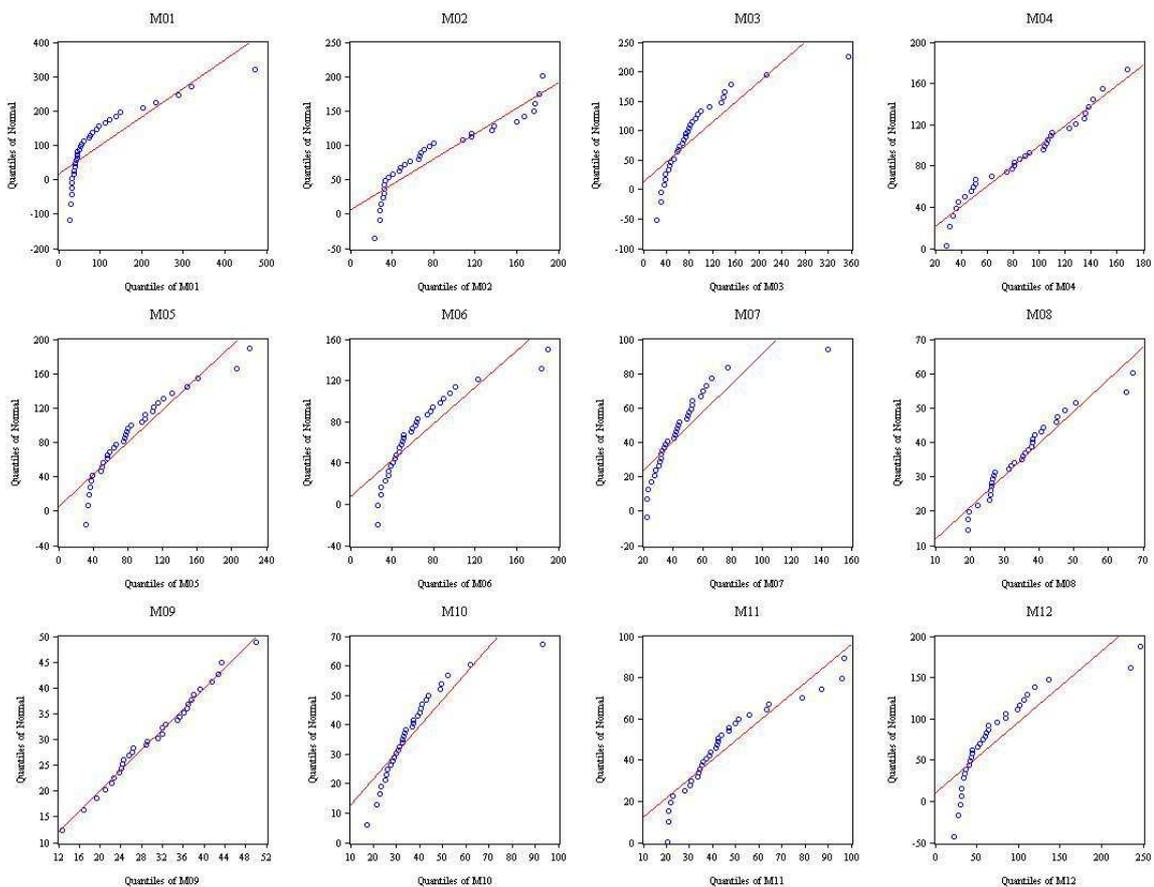


Figura 85. Cuantiles de datos mensuales originales vs distribución normal

Puede verse que los datos originales presentan desviaciones sistemáticas respecto a la normalidad, mientras que los log-transformados no presentan en general tales desviaciones.

Para contrastar formalmente esta impresión visual, se han realizado test de normalidad de Jarque-Bera para cada uno de los meses, confirmando el comportamiento expuesto.

En efecto, para los datos originales, no transformados, los resultados del test permiten rechazar la hipótesis nula de normalidad, al 5% de significación, en todos los meses excepto febrero, abril y septiembre. Por el contrario, para los datos log-transformados la hipótesis de normalidad no puede ser rechazada para ningún mes a ese mismo nivel de significación.

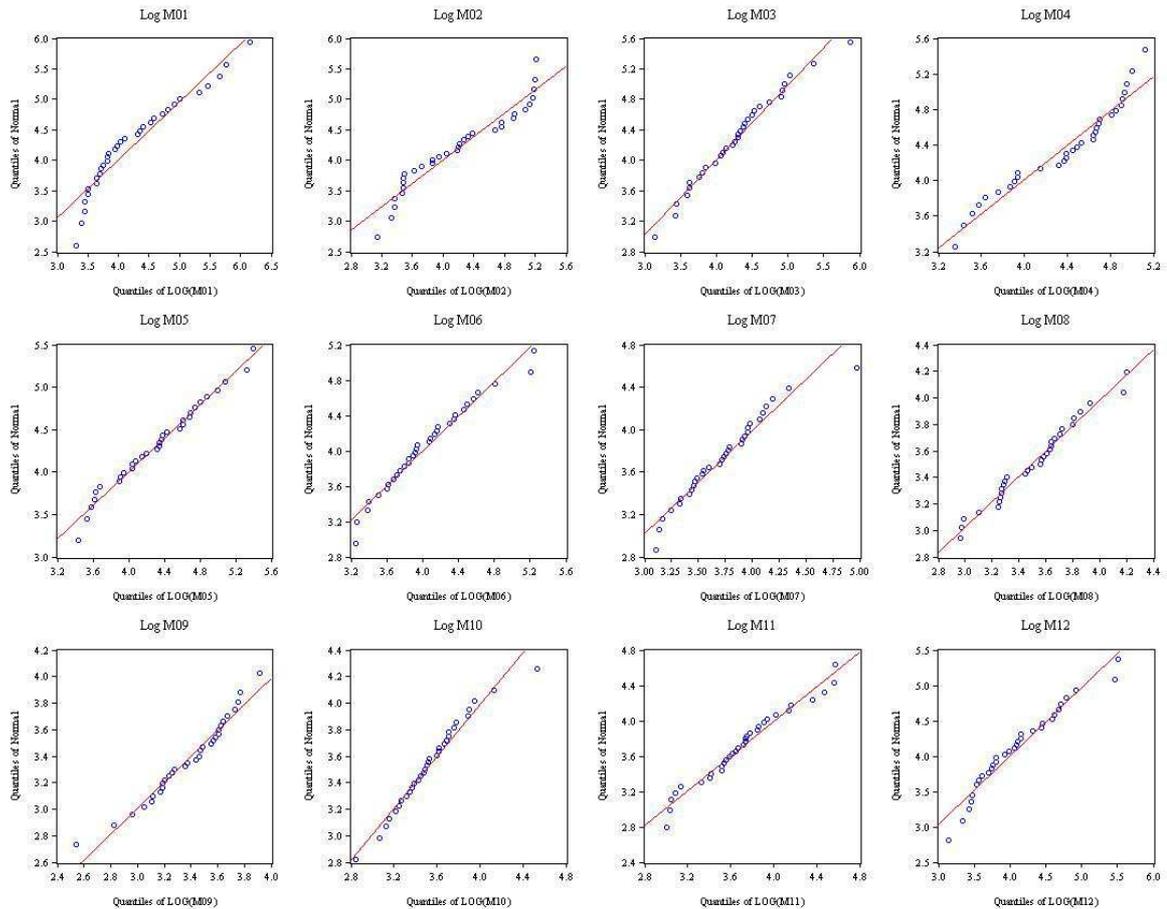


Figura 86. Cuantiles de datos mensuales log-transformados vs distribución normal

Admitida en consecuencia la distribución lognormal para todos los meses, la serie log-transformada se ha desestacionalizado y estandarizado mediante la sustracción de la media y división por la desviación típica estimadas mes a mes, obteniéndose la serie final z mostrada en la figura.

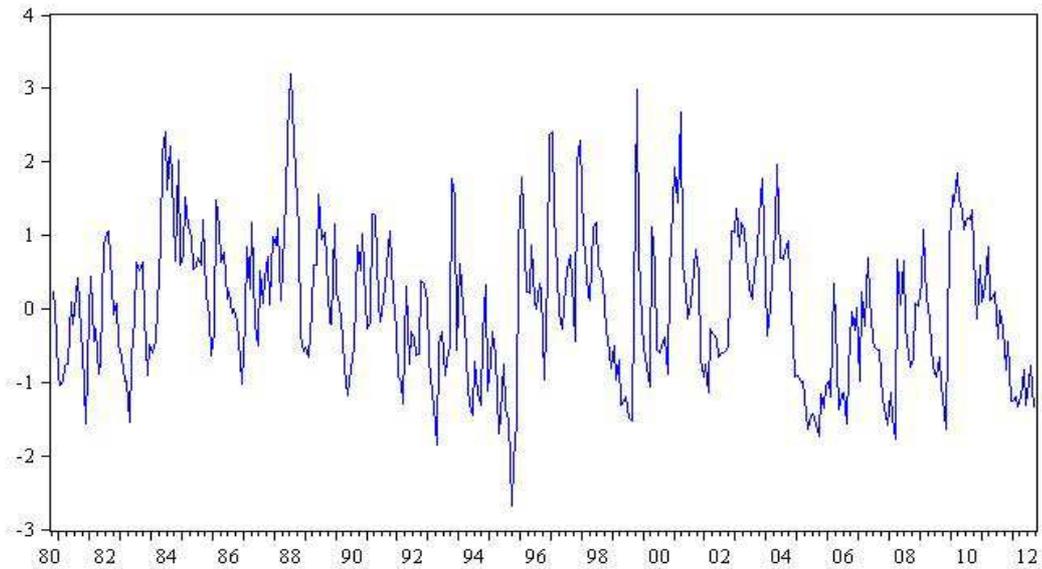


Figura 87. Serie desestacionalizada y estandarizada Z

Puede verse que esta serie muestra agrupaciones en pequeñas rachas típicas de una estructura autoregresiva. Se aprecia asimismo con toda claridad la sequía de mediados de los 90, con los mínimos estandarizados históricos de todo el periodo 1980-2012.

Las funciones empíricas de autocorrelación y autocorrelación parcial de la serie z, junto con sus intervalos de confianza aproximados del 95%, son las mostradas en la figura.

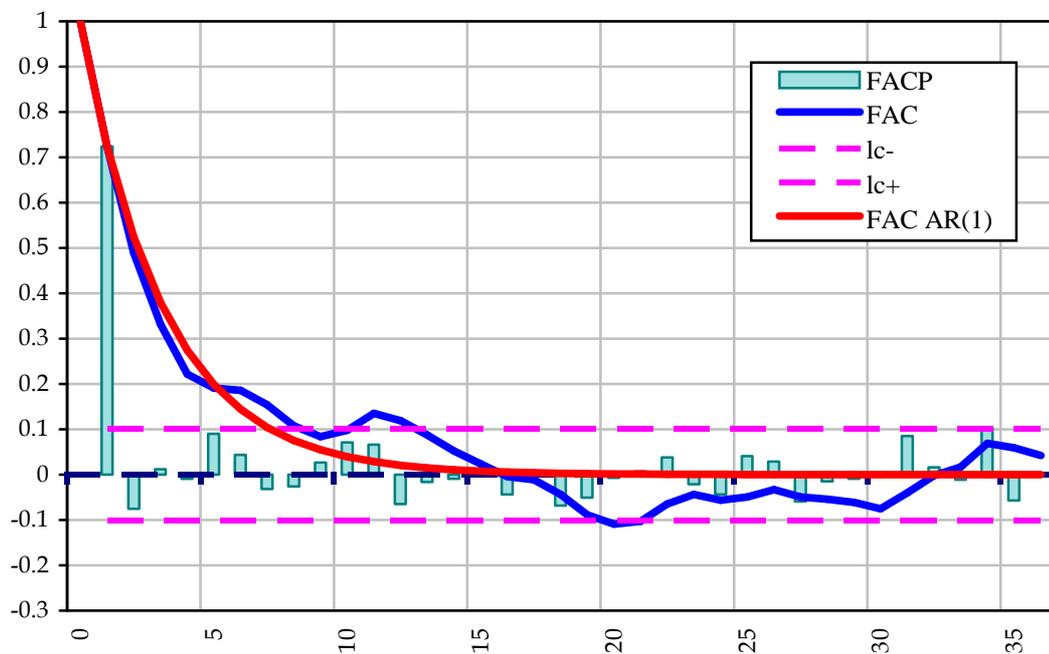


Figura 88. FAC y FACP empíricas de z

Como se observa, ambas funciones son típicamente indicativas de un comportamiento autoregresivo de primer orden, con una FAC exponencialmente decreciente y una FACP con solo el primer valor significativo y el resto nulos. La superposición en la figura de la FAC

teórica del modelo AR(1) (con variable explicativa $z(-1)$ o z del mes anterior) muestra la excelente concordancia de este modelo.

Es también interesante observar que, con la única excepción del FAC(12), en los rezagos múltiples del periodo estacional de 12 meses ambas funciones resultan ser no significativas, lo que revela que la estacionalidad mensual ha sido satisfactoriamente removida.

Estos resultados permiten postular definitivamente un modelo AR(1) para los datos logtransformados, desestacionalizados y estandarizados. Si se asume una serie estacional x con estructura AR(1) y distribución lognormal en cada periodo estacional, $y=\ln(x)$, este modelo puede expresarse mediante

$$z_i = c \cdot z_{i-1} + e \quad \text{siendo} \quad z_i = \frac{y_i - m_i}{s_i}$$

En esta ecuación c es el coeficiente de la regresión, e es un residuo o término de error NID con varianza s_e^2 , y m_i y s_i , son las medias y desviaciones típicas del periodo i -ésimo para la serie log-transformada y , dadas en la tabla adjunta (1 oct, ..., 12 sep).

mes	:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
med_log	:	3.5408	3.7103	4.0895	4.2342	4.1672	4.2348	4.3350	4.2952	4.0076	3.6985	3.4679	3.3586
std_log	:	0.3332	0.4280	0.5965	0.7978	0.6939	0.6100	0.5285	0.5231	0.5143	0.3984	0.3219	0.3048

Tabla 29. Estadísticos mensuales de la serie log-transformada

Asimismo los estadísticos de la regresión de z con $z(-1)$ son

z med	:	2.833382E-16
z std	:	0.985535
z ses	:	0.377996
z r1	:	0.724082
z r2	:	0.488805
param.c	:	0.725943
s.e. c	:	0.035143
s.e. res	:	0.678691

con lo que el modelo queda completamente especificado, explicando una varianza del 52%.

Puesto que la serie estandarizada z se supone estacionaria, tanto c como la estructura del error e (su varianza) son constantes para todos los periodos estacionales. Las diferencias entre estos periodos quedan expresadas por m_i y s_i , que son las medias y desviaciones típicas del periodo i -ésimo para la serie log-transformada.

Desarrollando la expresión anterior puede obtenerse una forma muy compacta, útil a efectos prácticos, dada por

$$x_i = a_i \cdot x_{i-1}^{b_i} \quad \text{siendo} \quad a_i = \exp \left[m_i + e \cdot s_i - \frac{c \cdot s_i \cdot m_{i-1}}{s_{i-1}} \right]; \quad b_i = \frac{c \cdot s_i}{s_{i-1}}$$

Esta expresión, de tipo potencial (estructura derivada de suponer que existe una relación lineal no entre los datos originales sino entre sus logaritmos), permite estimar el valor previsible de la variable para el periodo próximo a partir del anterior, adoptando el nivel de seguridad que se desee expresado mediante el término de error e , dependiente de la varianza del error del modelo AR(1) de la variable z , s_e , y del cuantil de seguridad deseado q conforme a la distribución normal estándar $e=q \cdot s_e$.

Si e no se supone constante sino que es sorteado aleatoriamente en cada paso, el mecanismo anterior pasaría de ser predictivo al de generación de una serie sintética. Nótese que los

coeficientes a_i dependen del cuantil de predicción escogido, mientras que los exponentes b_i son independientes de este cuantil. La tabla adjunta ofrece los parámetros del modelo para diferentes cuantiles representativos (1 oct, ..., 12 sep).

cuantil:	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	
mes	b	a	a	a	a	a	a	a	a	
1	0.7937	1.7953	1.9833	2.1309	2.2656	2.3990	2.5402	2.7008	2.9018	3.2056
2	0.9325	1.0367	1.1781	1.2919	1.3978	1.5044	1.6191	1.7517	1.9209	2.1830
3	1.0116	0.8331	0.9956	1.1322	1.2635	1.3997	1.5506	1.7304	1.9677	2.3516
4	0.9710	0.6502	0.8252	0.9799	1.1349	1.3014	1.4924	1.7284	2.0525	2.6050
5	0.6314	2.4356	2.9968	3.4800	3.9538	4.4540	5.0174	5.7005	6.6197	8.1448
6	0.6382	2.8421	3.4104	3.8894	4.3513	4.8317	5.3651	6.0023	6.8454	8.2141
7	0.6290	3.3588	3.9335	4.4079	4.8581	5.3194	5.8247	6.4195	7.1937	8.4245
8	0.7184	2.0663	2.4159	2.7041	2.9773	3.2570	3.5630	3.9229	4.3909	5.1337
9	0.7138	1.6391	1.9114	2.1354	2.3473	2.5640	2.8007	3.0786	3.4394	4.0108
10	0.5623	2.9998	3.3790	3.6819	3.9619	4.2423	4.5426	4.8880	5.3261	5.9994
11	0.5865	2.7695	3.0491	3.2680	3.4674	3.6644	3.8725	4.1088	4.4038	4.8484
12	0.6873	2.0337	2.2276	2.3788	2.5160	2.6511	2.7935	2.9546	3.1552	3.4560

Tabla 30. Parámetros mensuales para diferentes cuantiles

La serie de residuos del modelo obtenidos e , junto con las series de valores observados y estimados, son las representadas en la figura adjunta.

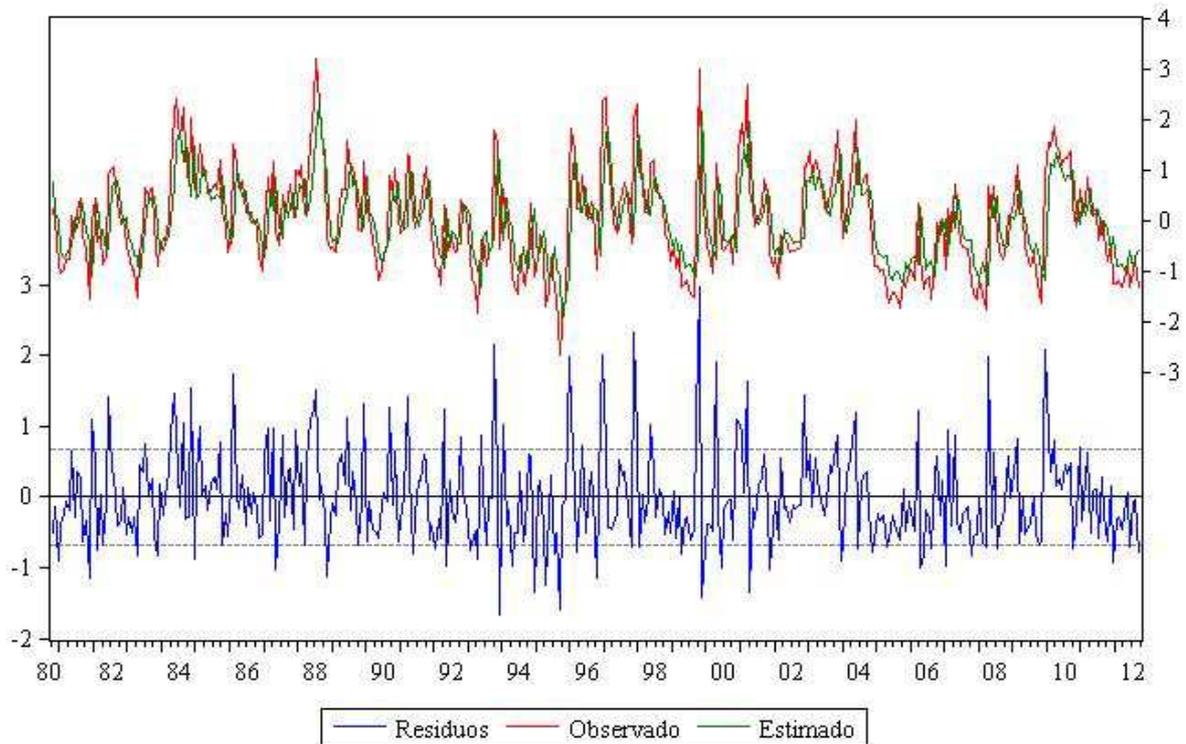


Figura 89. Valores observados, calculados y residuos del modelo AR(1)

Como se observa, la concordancia es muy satisfactoria y los residuos no presentan rachas indicativas de dependencia. Sus funciones FAC y FACP empíricas son las mostradas en la figura.

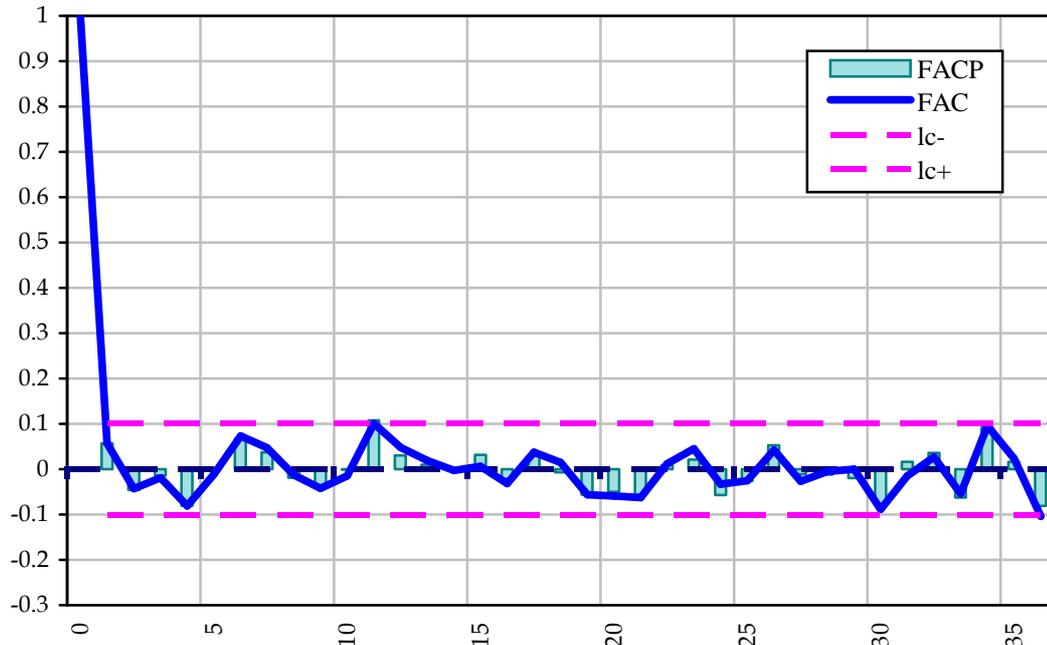


Figura 90. FAC y FACP empíricas de los residuos

Puede verse que, en efecto, no existe ninguna estructura de autocorrelación, con FAC y FACP no significativas para ningún rezago. Los residuos son, por tanto, un ruido blanco, cumpliéndose así una condición fundamental para la validez del modelo estocástico propuesto.

Sin embargo, respecto a la normalidad de los residuos, el test de Jarque-Bera revela que la hipótesis de normalidad puede ser rechazada al 5% de significación, presentando los residuos un moderado sesgo positivo de 0.59.

En nuestro caso, esta condición teórica no resulta determinante para la validez del modelo. La principal consecuencia de la falta de normalidad de los residuos es que los estimadores mínimocuadráticos no son eficientes, lo que no se considera fundamental dado que los datos han sido ya objeto de una transformación previa y se les aplicará un cuantil en modo predictivo cuya elección arbitraria absorbe de largo la posible imperfección admitida por una estimación con mayor incertidumbre.

Podría abordarse esta circunstancia mediante el análisis de otras transformaciones de los datos más sofisticadas que la simple logarítmica, pero ello implicaría una mayor complejidad del modelo sin obtener ninguna mejora significativa en la práctica.

Aunque el examen de las FAC y FACP de los residuos es claramente indicativo de la bondad de la especificación realizada, se ha probado también si la introducción de términos autoregresivos adicionales de orden superior podría mejorar el modelo postulado.

Los resultados obtenidos muestran, en efecto, que si se introduce un término adicional $z(-2)$ empleando un modelo AR(2), su coeficiente no resulta significativo y la varianza explicada no aumenta ni siquiera un punto porcentual.

Si se postula un AR(3) introduciendo otro término $z(-3)$ la situación es similar, no resultando tampoco significativo y no mejorando la varianza explicada.

Puede concluirse, en definitiva, que el modelo propuesto es válido para los objetivos perseguidos y puede utilizarse tanto para la generación de series sintéticas de cualquier longitud como para la predicción de aportaciones futuras a corto plazo.

8.7.3 Incorporación de las precipitaciones

El modelo estocástico postulado emplea únicamente la serie de aportaciones mensuales. Una posible extensión para mejorar su capacidad predictiva y reducir la varianza de los residuos podría ser la de incorporar las precipitaciones mensuales como una variable explicativa adicional. Así, para realizar la predicción de un mes futuro se considerarían no solo las aportaciones del mes anterior, sino también sus precipitaciones en la cuenca durante ese mes.

En la aplicación práctica de este modelo se tendría la dificultad añadida de requerir los datos de las precipitaciones mensuales medias areales sobre la cuenca de Bolarque, pero esta complicación operativa podría verse compensada si la mejora del modelo fuese significativa.

Para estudiar el modelo extendido se ha generado la serie de precipitaciones mensuales sobre la cuenca de Bolarque a partir de los datos de SIMPA, obteniéndose un registro continuo desde octubre de 1940 a septiembre de 2010. Esta serie, que denominamos *pre*, ha sido procesada de igual forma que la de aportaciones, mediante transformación logarítmica y estandarización estacional, en el periodo de referencia, obteniéndose finalmente la serie *zpre* desestacionalizada y estandarizada.

Una primera impresión de la capacidad de las lluvias para mejorar la previsión de aportaciones en Bolarque es la proporcionada por la figura adjunta, en la que se representan los datos estandarizados de lluvia del mes anterior, en abscisas, frente a la aportación del mes en ordenadas.

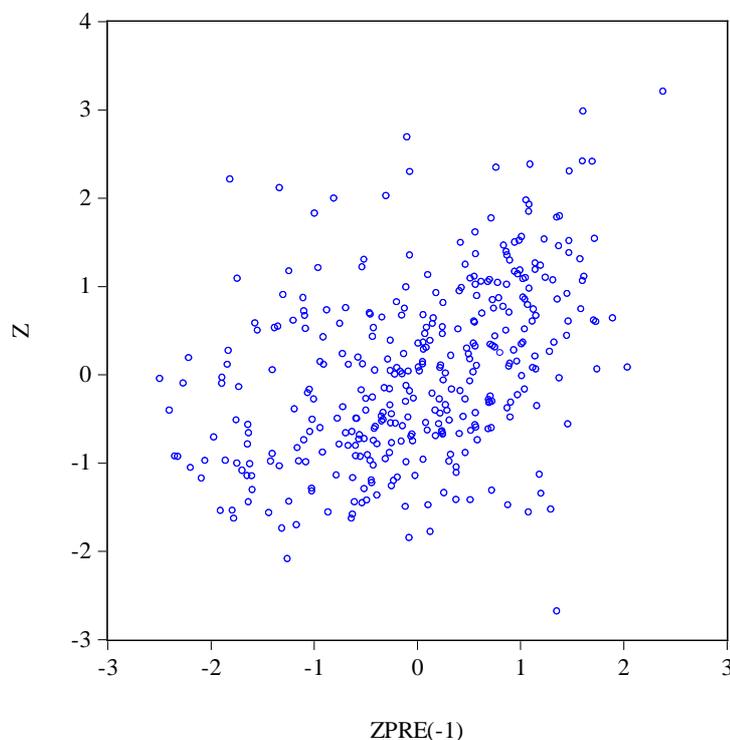


Figura 91. Aportaciones estandarizadas frente a precipitaciones del mes anterior estandarizadas

No se aprecia una estructura de asociación clara y la varianza explicada es tan solo del 17%, por lo que no cabe esperar mejoras apreciables. En efecto, estimado el modelo añadiendo al anterior, con variable explicativa $z(-1)$, una nueva variable explicativa $zpre(-1)$, ésta resulta significativa al 5% pero no al 1%, y la varianza explicada por el modelo no experimenta ninguna mejora apreciable, subiendo apenas unas centésimas porcentuales. Los criterios de información de Akaike y Schwarz apuntan al modelo simple, sin precipitaciones antecedentes, como una mejor opción.

Para que la consideración de las precipitaciones mejore realmente el modelo estas no deben ser antecedentes sino que deben introducirse sus valores en los mismos meses, simultáneos a la aportación. Realizado este análisis, la varianza explicada aumenta apreciablemente del 52 al 68% pero esta estructura, adecuada para otras tareas como el relleno de series, no puede utilizarse en modo predictivo al ser obviamente desconocida la precipitación del mes cuya aportación se quiere predecir.

Puede reafirmarse, en definitiva, que el modelo propuesto es suficientemente válido y que la incorporación de precipitaciones pasadas no introduce mejoras significativas para los objetivos perseguidos.

8.7.4 Resultados obtenidos

8.7.4.1 Series generadas

Utilizado en modo de generación de series sintéticas, el modelo descrito se ha empleado para generar una serie larga de 60000 meses, que se ha segmentado en 100 series mensuales de 50 años cada una. Las figuras adjuntas muestran los principales estadísticos de la serie sintética de 5000 años frente a los de la serie histórica de 32 años, ambas log-transformadas, junto con el intervalo de confianza aproximado del 95% para los estadísticos históricos.

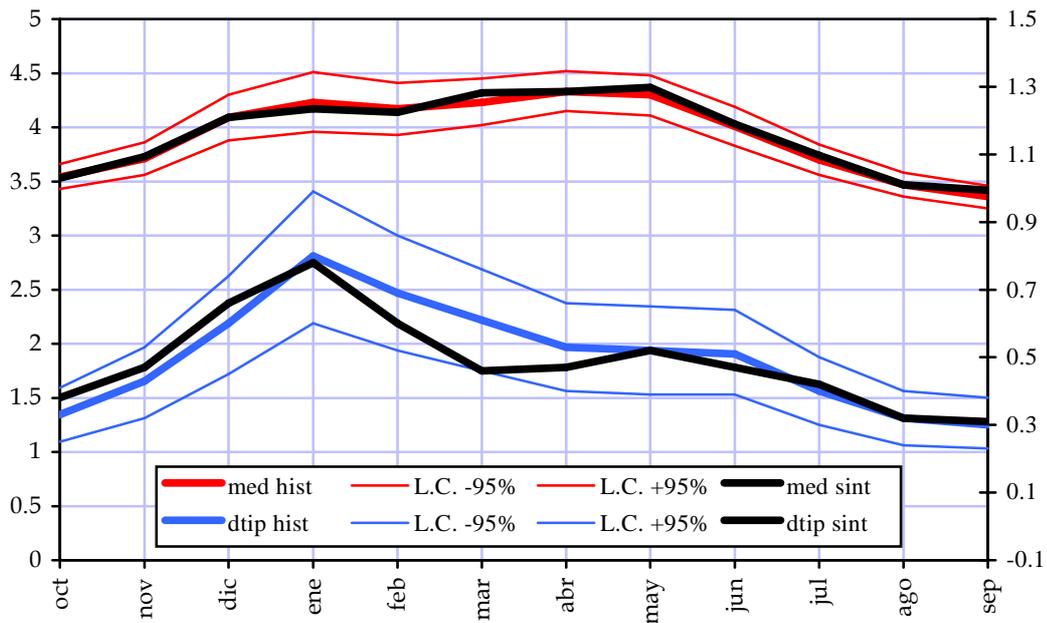


Figura 92. Media y desviación típica de las series histórica y sintética

Como puede verse tanto la media (en el eje de ordenadas principal) como la desviación típica (en el eje secundario) presentan un excelente acuerdo, encontrándose dentro de los intervalos de confianza en la totalidad de los meses.

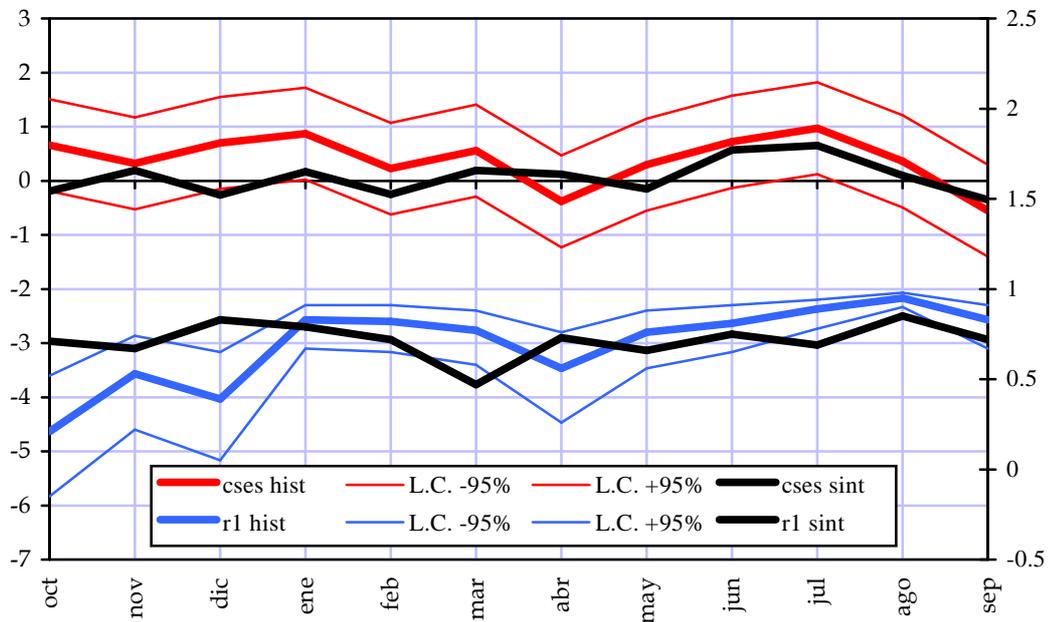


Figura 93. Coeficiente de sesgo y autocorrelación de las series histórica y sintética

Igualmente, los coeficientes de sesgo (eje principal) presentan también buen acuerdo, en torno al valor esperado teórico cero, correspondiente a datos que se suponen lognormales. La autocorrelación entre meses sucesivos (eje secundario) también resulta satisfactoria, si bien algunos meses se superan ligeramente los límites de confianza, resultado inevitable al postular un modelo con estructura de autocorrelación no estacional, con $r=0.724$ como se mostró anteriormente.

Relajar el supuesto de log-normalidad y reproducir la estructura estacional de los sesgos, supuestos variables, así como de las autocorrelaciones variables mes a mes, requiere el empleo de otros modelos más complejos y menos parsimoniosos, sin que se obtengan resultados prácticos que justifiquen esta mayor complejidad. Así se ha comprobado, en efecto, repitiendo todo el proceso de cálculo pero con series sintéticas generadas mediante un modelo alternativo de Thomas-Fiering para datos no normales, con distribución gamma, sin necesidad de transformación normalizadora previa. Omitimos los detalles de estos cálculos adicionales, poniendo de manifiesto la similitud de los resultados prácticos obtenidos.

8.7.4.2 Variabilidad hidrológica y sensibilidad de parámetros

Una vez contrastados los estadísticos y admitidas las series obtenidas, con cada una de las 100 series sintéticas generadas se ha ejecutado el modelo de simulación aplicando la regla de explotación con la parametrización sugerida 60/30/20 y añadiendo un desplazamiento de $\pm 1 \text{ hm}^3$ en cada uno de estos parámetros. Con ello se consigue el muy interesante resultado de observar simultáneamente la sensibilidad de las respuestas frente a la variabilidad hidrológica, expresada mediante las series sintéticas, y frente a la variabilidad de los parámetros, expresada mediante los desplazamientos indicados.

Los resultados de las 900 simulaciones realizadas se presentan en las figuras adjuntas.

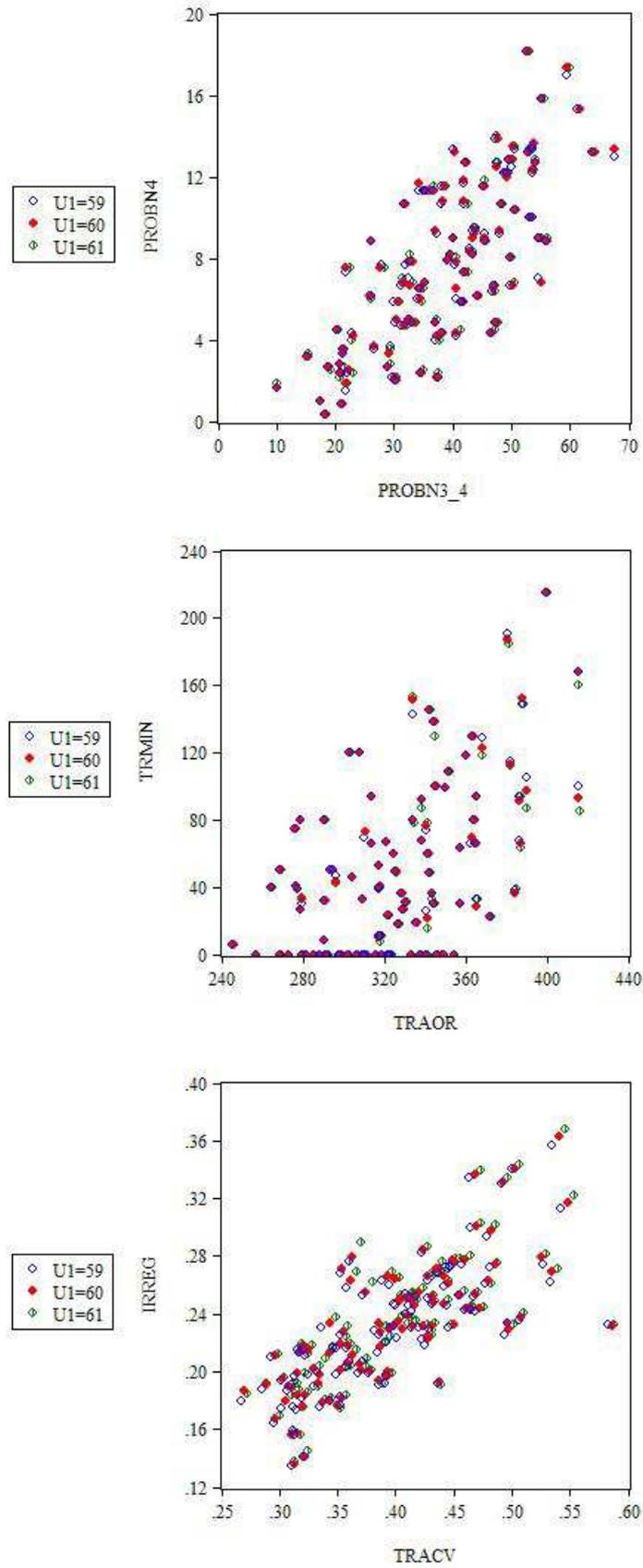


Figura 94. Simulaciones con series sintéticas y u1 variable.

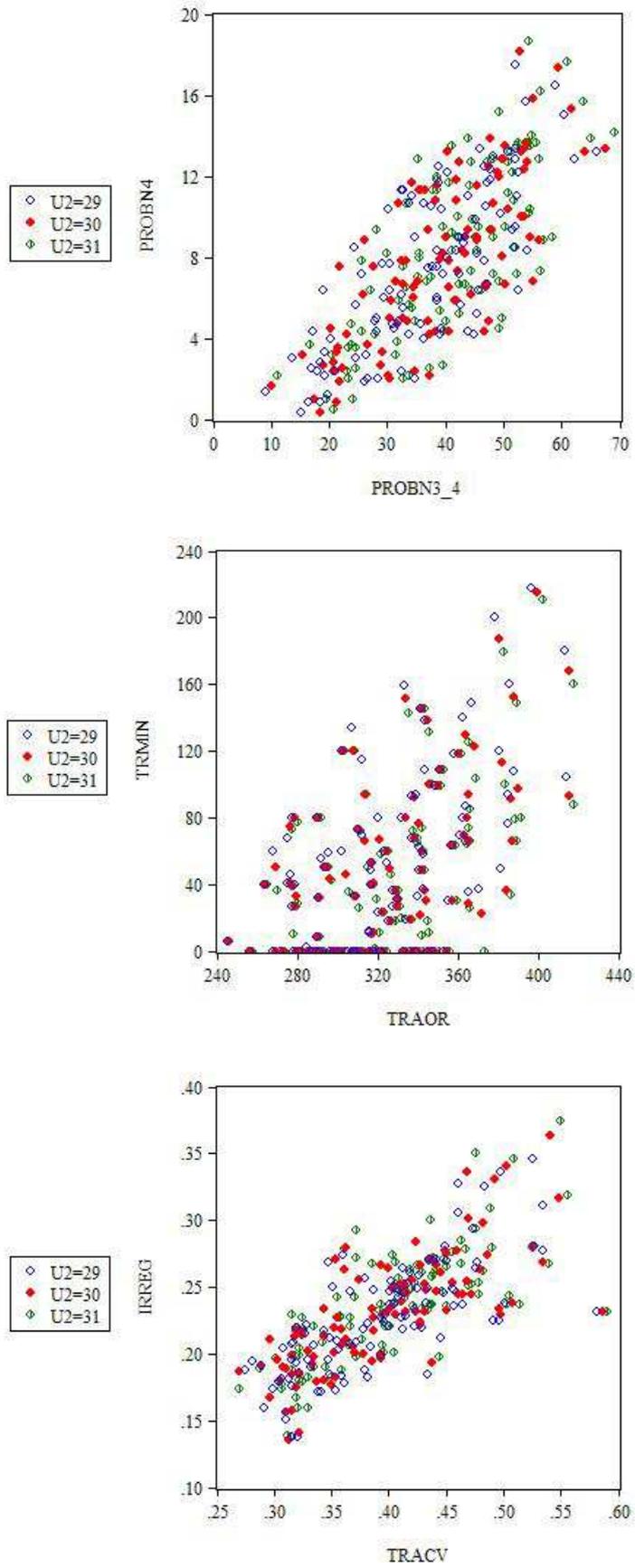


Figura 95. Simulaciones con series sintéticas y u2 variable.

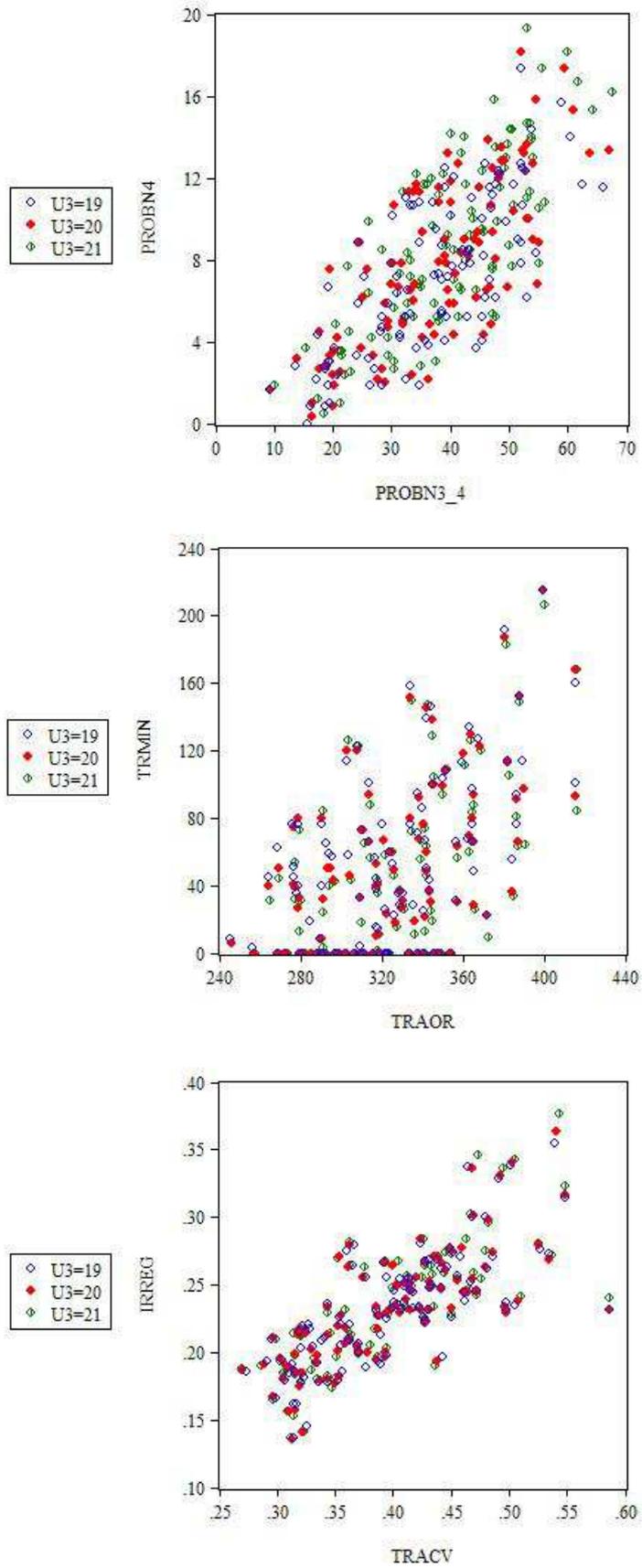


Figura 96. Simulaciones con series sintéticas y u3 variable.

Observando en primer lugar las respuestas correspondientes al parámetro u1 (volumen mensual trasvasado en situación de nivel 1), se aprecia claramente que el cambio entre 59 y 61 introduce una variabilidad en los indicadores muy reducida, absolutamente despreciable frente a la variabilidad hidrológica derivada de las diferentes series sintéticas. Ello sucede, además, para todos los indicadores de explotación. Es interesante constatar la aparición de un porcentaje de series apreciable con trasvase mínimo nulo, lo que ha de matizarse considerando que el trasvase mínimo es un estadístico dependiente de la longitud de la serie, que tiende asintóticamente a cero a medida que ésta aumenta. Puesto que las series sintéticas tienen 50 años y la histórica 32 es de esperar que los resultados con aquellas sean algo más desfavorables.

Similares resultados se obtienen observando las respuestas a los parámetros u2 (volumen mensual trasvasado en situación de nivel 2), y u3 (volumen mensual trasvasado en situación de nivel 3). Como ya se comprobó en los análisis preliminares de superficies de respuesta, la sensibilidad de u2 es en efecto mayor la de u1, pero queda también diluida frente a la variabilidad hidrológica.

La conclusión que cabe extraer de estos resultados es sumamente relevante: adoptados unos valores de referencia adecuados para los parámetros de la regla, deducidos a partir del registro histórico reciente, no caben especiales refinamientos para la optimización de estos parámetros pues existe una incertidumbre de fondo, asociada a la variabilidad hidrológica, que difumina tales refinamientos y que técnicamente no puede ser superada.

Esta incertidumbre observada permitiría fundadamente admitir ligeras desviaciones respecto a la parametrización óptima obtenida, en el entendimiento de que los efectos adversos derivados de la desviación respecto al óptimo pueden ser subsumidos por la incertidumbre hidrológica de las aportaciones futuras. Tales desviaciones debieran en todo caso obedecer a razones expresas, ser de pequeña magnitud, e inducir unos efectos contrastados y reducidos sobre los distintos indicadores de comportamiento.

Nótese además que esta incertidumbre se produce aún en situaciones de estacionariedad hidrológica, como corresponde a las series generadas a partir de un modelo único estacionario. Si se supone un futuro no estacionario, como cada vez se postula con mayor insistencia, no cabe otra opción que extremar la prudencia y repetir los análisis de reparametrización de la regla de forma regular, a medida que se va extendiendo el registro histórico. Otra opción sería la de reparametrizar utilizando series hipotéticas alteradas por efecto del cambio climático, pero la incertidumbre seguiría siendo sustancialmente la misma.

Se pone de manifiesto, en definitiva, una dificultad radical en estos tipos de análisis de sistemas cuyos indicadores son sensibles a la variabilidad hidrológica. En estos casos, los criterios para la consideración del cambio climático (coeficientes de reducción, etc.), pueden ser ineficaces frente a una variabilidad intrínseca, aún en situaciones estacionarias, mucho mayor y dominante.

8.7.4.3 Contraste de la situación vigente y la nueva propuesta

Como análisis adicional con las series sintéticas, se han contrastado los resultados de explotación que se obtendrían en el supuesto de utilizar la regla con los parámetros vigentes (68/38/23/1000/1500) junto la curva de condiciones excepcionales propuesta en el borrador del Plan Hidrológico del Tajo, frente al supuesto de utilizar la regla con la nueva parametrización (60/30/20/1200/1300) y la nueva curva propuesta. Los resultados obtenidos son los mostrados en las figuras.

En la primera se presentan los resultados de la probabilidad de presentaciones de niveles 3 ó 4 (abscisas) frente a la de presentación de nivel 4 (ordenadas) para la situación vigente (puntos rojos, indicadores *_V) y la nueva propuesta (puntos azules). En la segunda se representan el trasvase medio (abscisas) frente al mínimo anual (ordenadas). En la tercera se representan el coeficiente de variación de los trasvases anuales (abscisas) frente a su índice de irregularidad (ordenadas).

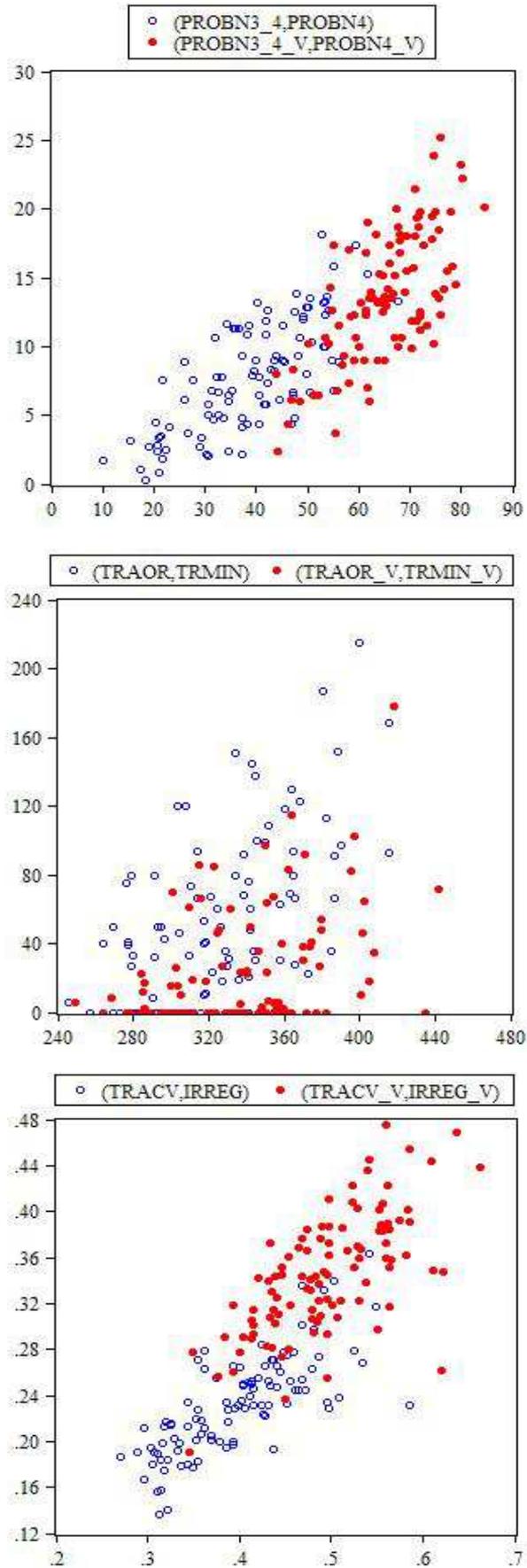


Figura 97. Simulaciones con series sintéticas de la parametrización vigente y la nueva propuesta

Como puede verse, existe en efecto una significativa dispersión de las probabilidades de presentación de los niveles, pero hay una indudable diferencia de comportamiento de la regla vigente con la nueva propuesta, con nubes de puntos claramente discernibles y siendo la nueva propuesta apreciablemente mejor (menores probabilidades de presentación de niveles indeseables) que la vigente.

Se observa también que el trasvase medio es similar en ambos casos pero el mínimo anual es claramente mejor con la nueva propuesta, presentando la vigente frecuentes situaciones de mínimo nulo.

Los indicadores de estabilidad de envíos se muestran también en dos nubes de puntos claramente discernibles, con indudable ventaja (menor irregularidad) para la nueva propuesta.

En conclusión, pese a la variabilidad hidrológica revelada por las series sintéticas, es indudable que la nueva propuesta supera a la actualmente vigente y debe, en consecuencia, ser adoptada en lo sucesivo.

Dentro de algunos años, cuando se estime oportuno por producirse cambios significativos bien en las demandas de cabecera del Tajo o en el registro hidrológico de aportaciones, cabría una nueva revisión de esta propuesta en los términos expuestos. Dado que tales cambios han de evaluarse y explicitarse en la planificación hidrológica de la demarcación, sería razonable que la propuesta de parámetros de la regla sea revisada periódicamente tras cada sucesiva aprobación del Plan Hidrológico del Tajo o, en su caso, del Plan Hidrológico Nacional si éste incorporase disposiciones específicas al respecto.

8.7.4.4 Sensibilidad de la reserva

Como análisis final con las series sintéticas, se ha revisado el cálculo de reservas de cabecera para la definición de existencias no trasvasables, pero empleando estas series en lugar de la histórica. Para ello se adoptan los valores de la horquilla de 365 y 425 hm³/año de desembalses de referencia, con la modulación ya examinada en anteriores capítulos, y se ejecuta el cálculo de regulación mediante APSx para cada desembalse de la horquilla y cada una de las 100 series generadas. Los resultados obtenidos son los mostrados en la figura.

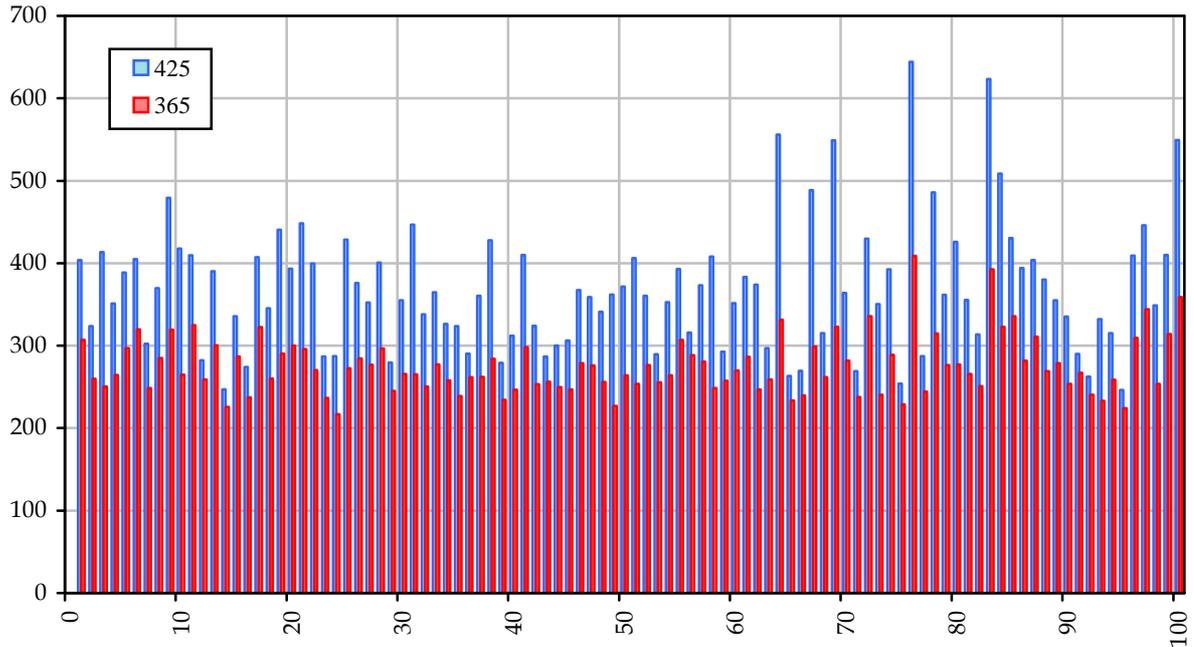


Figura 98. Reservas obtenidas mediante series sintéticas

Como se observa, el valor adoptado de 400 hm³ es ciertamente conservador, alcanzándose solo en un 30% de las series utilizadas para 425, y en un 1% de las series para 365.

La reserva media resultante es de 369 hm³ para 425 y 275 hm³ para 365, con un 21% de las series inferiores a 300 hm³ para 425 y un 79% para 365.

La utilización de las series sintéticas permite confirmar, en definitiva, el carácter conservador de la reserva propuesta.

8.8 APLICACIÓN EN HORIZONTES PLURIMENSUALES

8.8.1 Introducción

Cuanto se ha expuesto hasta ahora se refiere al diseño y aplicación de la regla de explotación mes a mes, que es su periodo temporal de funcionamiento. En la práctica, no obstante, será necesario realizar predicciones plurimensuales para adoptar decisiones en horizontes de varios meses futuros. Seguidamente se aborda esta cuestión proponiendo un procedimiento práctico sencillo y riguroso para su tratamiento.

8.8.2 Mecanismo propuesto

Para aplicar la regla a varios meses vista, el proceso de aplicación sería idéntico al descrito, realizándose el balance mes a mes, para lo cual se requiere tan solo disponer de una información adicional, que es la previsión de las aportaciones futuras en los meses venideros.

Como se indicó, para llevar a cabo tal predicción puede utilizarse el mismo modelo estocástico descrito anteriormente, pero no en modo de generación de series largas, como antes, sino en modo predictivo, con una condición de arranque dada por el mes inicial

deseado, su aportación previa correspondiente, y una especificación del percentil de seguridad que se desea adoptar para los meses próximos. Supuesta una estructura del modelo y estimados sus parámetros, las condiciones anteriores darán lugar a una serie futura única, no aleatoria, que puede utilizarse para la aplicación sucesiva plurimensual de la regla.

Siguiendo la práctica empleada desde que se propuso la regla en 1997, el mecanismo predictor consiste en aplicar sucesivamente el modelo mes a mes utilizando dos cuantiles distintos: uno del 20% para fijar la aportación prevista en el mes próximo, y otro del 50% para fijar un valor medio del que partirá la predicción para el mes siguiente. Este mecanismo consigue a la vez realizar predicciones conservadoras (con el 80% de probabilidad de ser superadas) pero sin derivar a la situación pésima, irreal, que resultaría si esas predicciones conservadoras se utilizasen a su vez como valor de partida para realizar la siguiente predicción.

En definitiva, el procedimiento para realizar predicciones de aportaciones futuras, para aplicación plurimensual de la regla, sería el siguiente:

1. Se fijan el mes inicial de la predicción, o mes actual, que es el que comienza en el momento de realizar la predicción, y el mes previo anterior, que es el que acaba de concluir. La aportación en este mes previo, expresada en hm^3 , se denominará x_p .
2. Se extraen los valores b , a_2 , a_5 de la tabla, correspondientes al mes actual (1 oct, ..., 12 sep), y que son los correspondientes a los percentiles del 20 y 50% mostrados anteriormente.
3. Se calculan $x_2 = a_2 \cdot x_p^b$ y $x_5 = a_5 \cdot x_p^b$
4. Se adopta como previsión para el mes actual el valor x_2 (hm^3), se hace $x_p = x_5$, y se avanza al siguiente mes, que será ahora el nuevo mes actual, volviendo al paso 2 hasta concluir todo el periodo de predicción deseado.

	b	a2	a5
1	0.794	1.983	2.399
2	0.933	1.178	1.504
3	1.012	0.996	1.400
4	0.971	0.825	1.301
5	0.631	2.997	4.454
6	0.638	3.410	4.832
7	0.629	3.933	5.319
8	0.718	2.416	3.257
9	0.714	1.911	2.564
10	0.562	3.379	4.242
11	0.587	3.049	3.664
12	0.687	2.228	2.651

Tabla 31. Parámetros mensuales para aplicación plurimensual de la regla

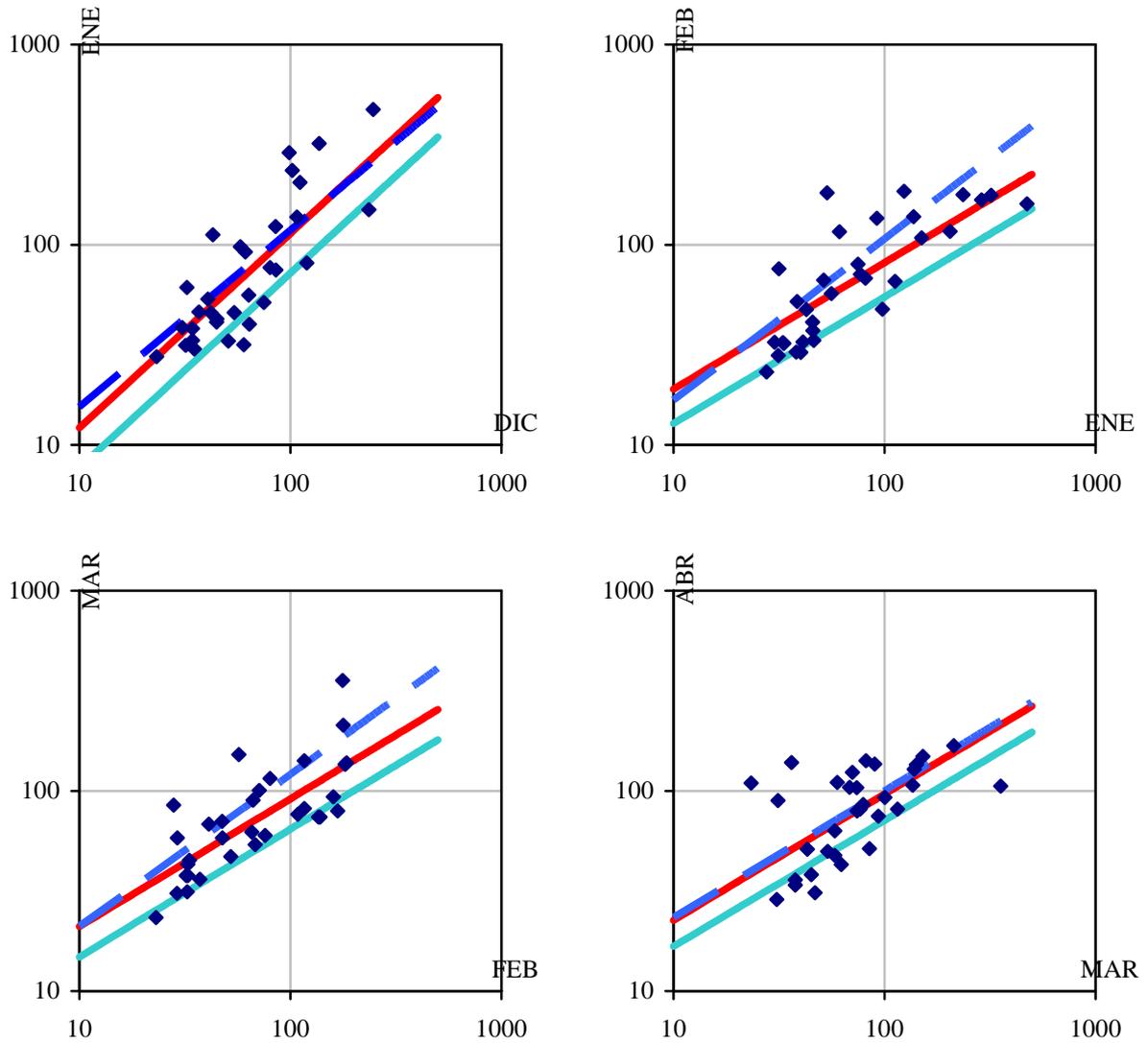
Dado que en la práctica puede requerirse ocasionalmente su aplicación con algún día de anticipación al fin de mes, la aportación x_p no estaría completa y habría de ser estimada con precisión suficiente, a cuyos efectos puede admitirse que se requiera estimar a lo sumo 5 valores diarios del mes, no registrados o no disponibles en el momento de realizar la predicción. A falta de estudios específicos de detalle, para estimar estos valores diarios podrían suponerse iguales a la media de los últimos 5 datos diarios registrados.

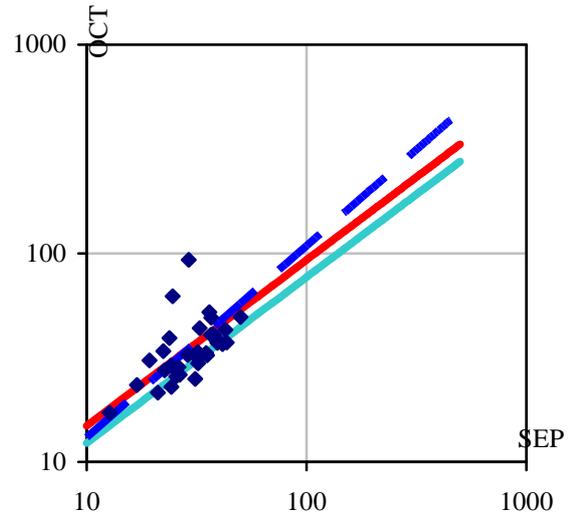
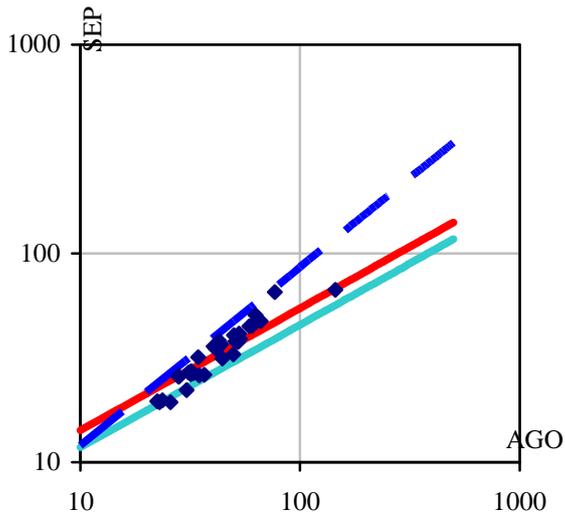
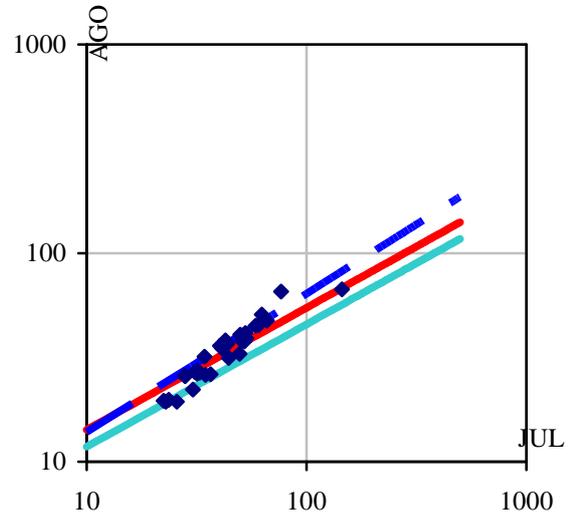
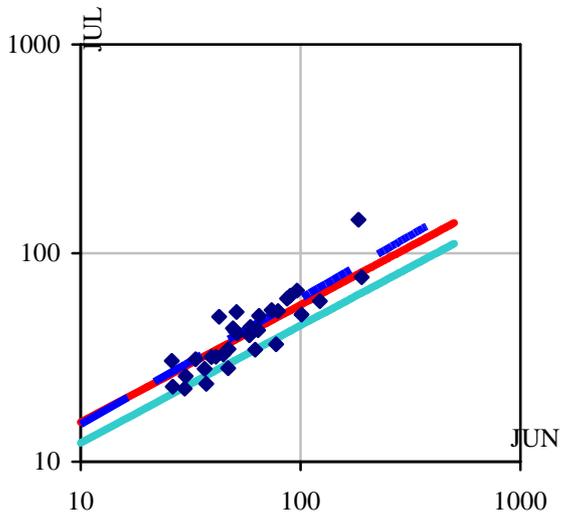
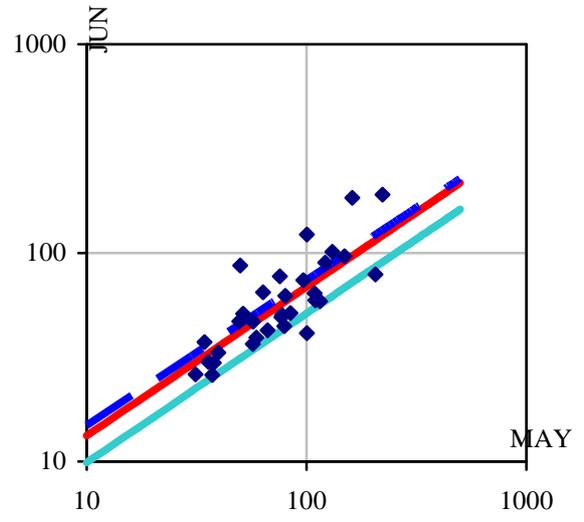
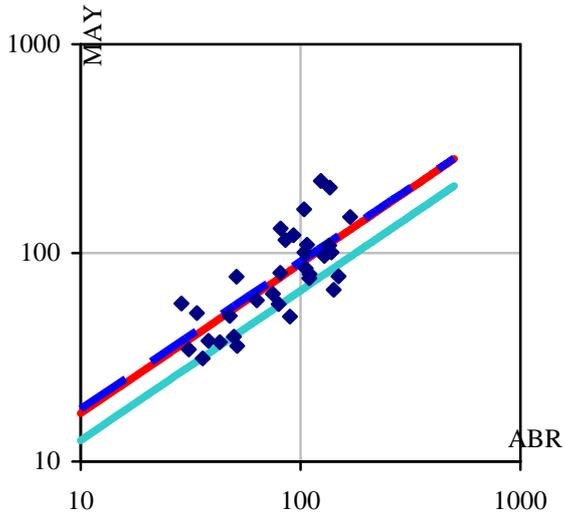
Para contrastar visualmente el mecanismo predictivo, las figuras siguientes, una para cada mes, muestran los datos históricos del mes (abscisas) frente a los del mes siguiente

(ordenadas), junto con la ecuación de predicción correspondiente a la mediana o cuantil del 50% (línea roja) y la correspondiente al 20% (línea azul).

Además, y como contraste adicional, se ha añadido la línea de predicción del 50% pero estimada no con los datos del periodo de referencia 1980-2012, sino con la serie hidrológica completa disponible, de 1912 a 2012. Ello permite observar el efecto sobre las previsiones derivado de considerar el registro completo, desde 1912, en lugar del reciente, desde 1980.

Para mayor claridad todos los datos se representan en escalas logarítmicas.





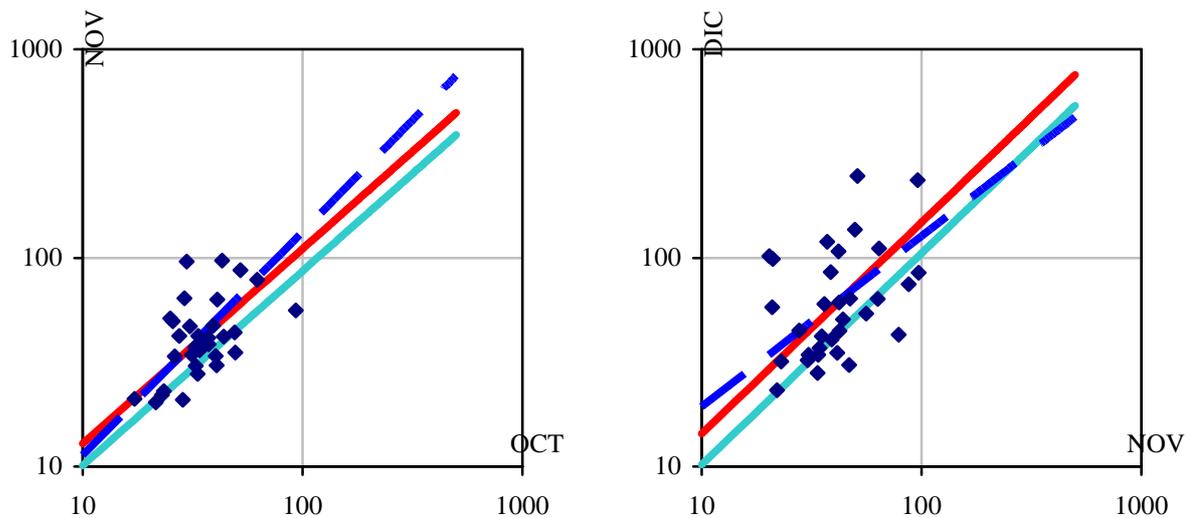


Figura 99. Previsiones mensuales

Como se observa, los ajustes generales son satisfactorios, la elección del cuantil del 20% como cautela de seguridad –desplazamiento de la línea del 50%- resulta suficientemente conservadora, y el empleo de la serie histórica completa no siempre da lugar a estimaciones muy diferentes de las resultantes aplicando la serie reciente. En algunos meses son prácticamente coincidentes y en otros incluso proporciona predicciones inferiores para determinados valores de la variable. Ello no debe sorprender teniendo en cuenta que un descenso en valores medios (*efecto 80*) no ha de llevar necesariamente aparejado un cambio en la estructura de asociación de los valores sucesivos.

8.9 ANÁLISIS FINALES. ESCENARIOS SINGULARES

8.9.1 Introducción

En epígrafes anteriores se ha estudiado con detalle la estructura y comportamiento de la regla de explotación del trasvase, proponiendo su actualización técnica, y completando la revisión con diferentes análisis de sensibilidad mediante series sintéticas.

Para concluir el estudio, en este epígrafe se abordarán cuestiones adicionales singulares de interés tales como la búsqueda de extremos de indicadores individuales de explotación, optimizando su comportamiento individual sin procurar la ponderación entre diferentes indicadores contrapuestos, y o el efecto de modificaciones del trasvasable en nivel 2, particularmente relevante desde el punto de vista de la percepción pública de los efectos de la regla pues, dado que es el de más frecuente presentación fuera de la excepcionalidad, una modificación de este nivel 2 sobre el vigente podría interpretarse como una reducción del volumen trasvasable. A la luz de los análisis realizados y del propio concepto del balance hídrico, tal interpretación es obviamente errónea pero, dada la alarma que puede generar entre los usuarios del trasvase, resulta de interés cuantificar su efecto de forma singularizada y rigurosa.

8.9.2 Límites extremos de los indicadores básicos

Para evaluar el resultado de una optimización individual de indicadores, sin atender a una ponderación conjunta, se han fijado unos intervalos extremos de variación posible de cada uno, y se ha realizado una ejecución masiva de simulaciones de todas las combinaciones posibles de parámetros dentro de estos intervalos.

Para las simulaciones se utiliza la serie de referencia de 32 años, y únicamente se fijan los valores de 400 hm³ como reserva no trasvasable, 20 hm³/mes trasvasables en nivel 3, y su correspondiente curva de definición. Los márgenes y resolución adoptados son los mostrados en la tabla. Nótese que para los parámetros libres los márgenes sugeridos son más amplios que los propuestos para el dominio de búsqueda refinado, lo que resulta razonable dado que ahora se persigue una optimización individual, no de compromiso, lo que permite forzar más los valores individuales.

Parámetro	Dominio
Umbral de existencias no trasvasables (hm ³)	400
Volumen trasvasable en nivel 1 (hm ³ /mes)	52,75 (1)
Volumen trasvasable en nivel 2 (hm ³ /mes)	20,52 (1)
Volumen máximo trasvasable en nivel 3 (hm ³ /mes)	20
Aportación acumulada definitiva del nivel 1 (hm ³)	800,2000 (100)
Existencias embalsadas definitivas del nivel 1 (hm ³)	800,2000 (100)
Desplazamiento de la curva propuesta definitiva del nivel 3	0

Tabla 32. Dominio para optimización de indicadores individuales

La combinación de todas estas posibles opciones da lugar a 133848 simulaciones que se procesan en una única ejecución, obteniéndose los siguientes resultados.

Si el objetivo es minimizar la posibilidad de presentación de niveles 3 y 4, éste puede alcanzarse reduciéndolas a 0 mediante diferentes combinaciones de parámetros, pero siempre con valores de los parámetros de trasvase máximo en nivel 2 de 22 hm³/mes, mínimo en nivel 1 de 60 hm³/mes, mínima aportación acumulada de 1100 hm³, y mínimo nivel de embalse para nivel 1 de 1700 hm³ (combinación 60,22,20,1100,1700). El trasvase medio anual se reduce a un máximo de 320 hm³/año, mientras que el mínimo alcanza los 240 y la irregularidad es de 0.31.

Se trata en definitiva de una explotación relativamente estable, pero a costa de reducir el trasvasable medio a valores significativamente inferiores (del orden del 10%) a los resultantes de la ponderación de indicadores, lo que no se considera deseable. Esta diferencia es debida a una mayor evaporación media anual, que pasa de unos 70 a 100 hm³/año. Es claro que la probabilidad de presentación del nivel 3 debe ser sensiblemente reducida con respecto a la situación actual, pero no necesariamente anulada o reducida a valores muy bajos si ello implica efectos desfavorables para algún usuario del sistema, sin obtener a cambio ningún beneficio para nadie.

Si el objetivo perseguido es maximizar el trasvase medio, puede alcanzarse el valor de 375 hm³/año con la combinación (74,52,20,800,800), pero con probabilidades de presentación de niveles 3 ó 4 próximos al 80% y trasvase mínimo anual de 16 hm³, lo que se considera una explotación inaceptable.

Si el objetivo es maximizar el trasvase mínimo anual, puede alcanzarse el valor de 288 hm³ con la combinación (52,24,20,1400,2000), pero reduciendo el trasvase medio a 306 hm³/año, lo que se considera indeseable.

Finalmente, si el objetivo es minimizar la irregularidad de los trasvases anuales, puede hacerse del orden de 0.03 con la combinación (72,27,20,1500,2000), pero con trasvases medios de 320 hm³/año, inferiores a los resultantes de la ponderación.

En definitiva, la búsqueda sistemática realizada muestra que pueden alcanzarse valores óptimos de los diferentes indicadores individuales superiores a los resultantes de la regla propuesta, pero a costa de empeorar de forma inadmisiblemente alguno de los otros indicadores restantes. Se confirma que una solución ponderada resulta deseable e ineludible.

8.9.3 Efecto del volumen trasvasable en nivel 2

Un estudio adicional de interés es el de los efectos producidos por la modificación del volumen trasvasable en nivel 2 con respecto a su propuesta inicial de referencia de 30 hm³/mes.

La razón de este interés es, como se apuntó, que el nivel 2 es particularmente relevante desde el punto de vista de la percepción pública de los efectos de la regla, dado que es el de más frecuente presentación fuera de la excepcionalidad. Ello puede hacer pensar que una reducción de este volumen en nivel 2 sobre el vigente podría suponer una reducción del volumen total trasvasado.

A la luz de todos los análisis realizados, y simplemente considerando el balance hídrico de cabecera, por el que el volumen medio trasvasado será básicamente (con la matización de la evaporación) la diferencia entre las aportaciones medias de entrada y los suministros al Tajo, ambos completamente independientes del nivel 2 elegido, tal interpretación es obviamente errónea pero, dada la alarma que puede generar, resulta de interés evaluar su efecto de forma singularizada y rigurosa.

8.9.3.1 Análisis de sensibilidad

Para tal evaluación, se fija el resto de parámetros a los valores de referencia sugeridos y se simula la aplicación de la regla modificando únicamente el parámetro de volumen trasvasable en nivel 2 en una horquilla muy amplia (entre 20 y 50 hm³/mes), aún fuera de los límites viables, con objeto de perfilar mejor su influencia. Los resultados obtenidos para los diferentes indicadores son los mostrados en las figuras.

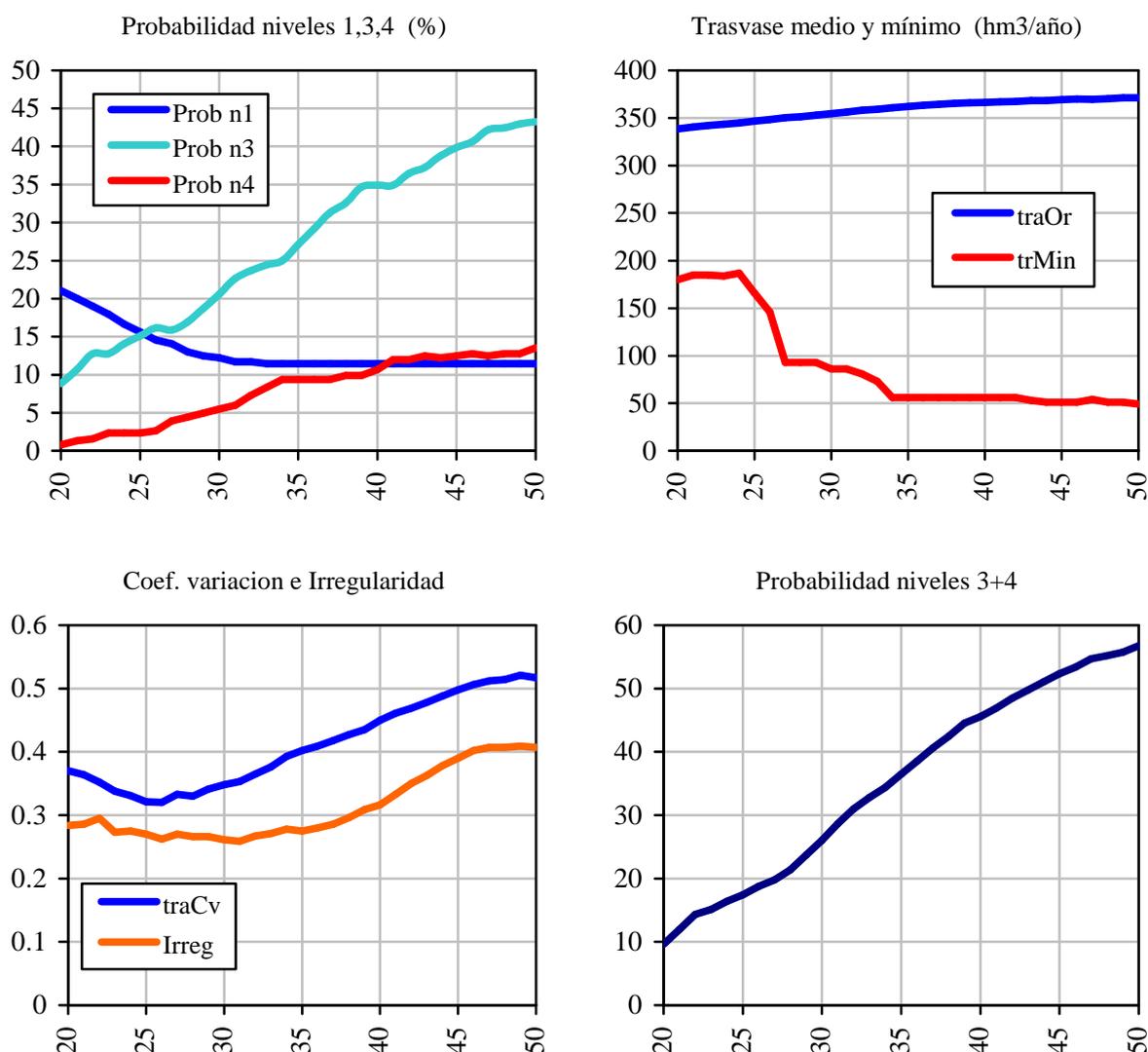


Figura 100. Indicadores resultantes según el trasvasable mensual en nivel 2

Puede verse que la probabilidad de presentación del nivel 1 decrece desde 20 a 30 y se mantiene prácticamente constante a partir de ese valor. Sin embargo la probabilidad de los niveles 3 y 4 aumenta sistemáticamente con el volumen elegido, siendo su suma del orden del 25% para $30 \text{ hm}^3/\text{mes}$ y llegando al 45% para $38 \text{ hm}^3/\text{mes}$, que es el valor actual. Desde este punto de vista no hay duda de que la propuesta de $30 \text{ hm}^3/\text{mes}$ es sin duda preferible.

Atendiendo al indicador del trasvase medio, la curva resultante es muy tendida y apenas hay diferencias entre 30 ($355 \text{ hm}^3/\text{año}$) y 38 ($365 \text{ hm}^3/\text{año}$), diferencia del 2.7% imputable a la distinta evaporación. Sin embargo el trasvasable mínimo anual si resulta apreciablemente diferente, pues pasa de 93 a $56 \text{ hm}^3/\text{año}$, valor que no permite asegurar ni siquiera el mínimo abastecimiento urbano. Con estos indicadores de trasvase anual también resulta preferible la propuesta de $30 \text{ hm}^3/\text{mes}$ en nivel 2.

Finalmente, atendiendo a los indicadores de irregularidad (coeficiente de irregularidad y coeficiente de variación de la serie anual), el valor de 30 conduce ambos a valores inferiores a los resultantes para 38, lo que indica una explotación más estable y, por tanto, preferible.

En conclusión, todos los indicadores, excepto el de trasvasable medio anual, apuntan al valor de 30 como claramente preferible al actual de 38. El trasvase medio anual es algo mayor para 38 que para 30 (de 355 a 365 hm³/año), pero esta exigua diferencia del 2.7% no justifica la importante reducción del mínimo anual (de 93 a 56 hm³/año) ni el drástico aumento de la probabilidad de presentación de niveles 3 ó 4 (del 25 al 45%).

La representación de los resultados de trasvase anual en ambos supuestos de 30 y 38 es la ofrecida en la figura (línea azul para 30, línea roja para 38), en la que se incluye también la serie correspondiente a la situación vigente, anterior al Memorándum (línea verde), ya comparada en epígrafes anteriores. En trazo discontinuo se representan sus correspondientes valores medios.

Puede verse que el régimen propuesto con 30 es, en efecto, más estable a escala anual que el vigente. Los menores valores entre 1984 y 1988 se compensan con los mayores entre 1989 y 1994, al igual que sucede en los periodos 2001-2004 y 2007-2008. Con la propuesta nunca se baja de 91 hm³/año, mientras que con el régimen vigente se baja de ese trasvase en 4 ocasiones, llegando a alcanzarse mínimos de 0, 30, 60 y 81 hm³/año, claramente inadmisibles. La propuesta de 38 es intermedia entre ambas, alcanzando mínimos del orden de 50 hm³/año, y valores medios también intermedios, aunque muy parecidos en todos los casos y siempre ligeramente superiores a los históricamente producidos en el mismo periodo (338 hm³/año).

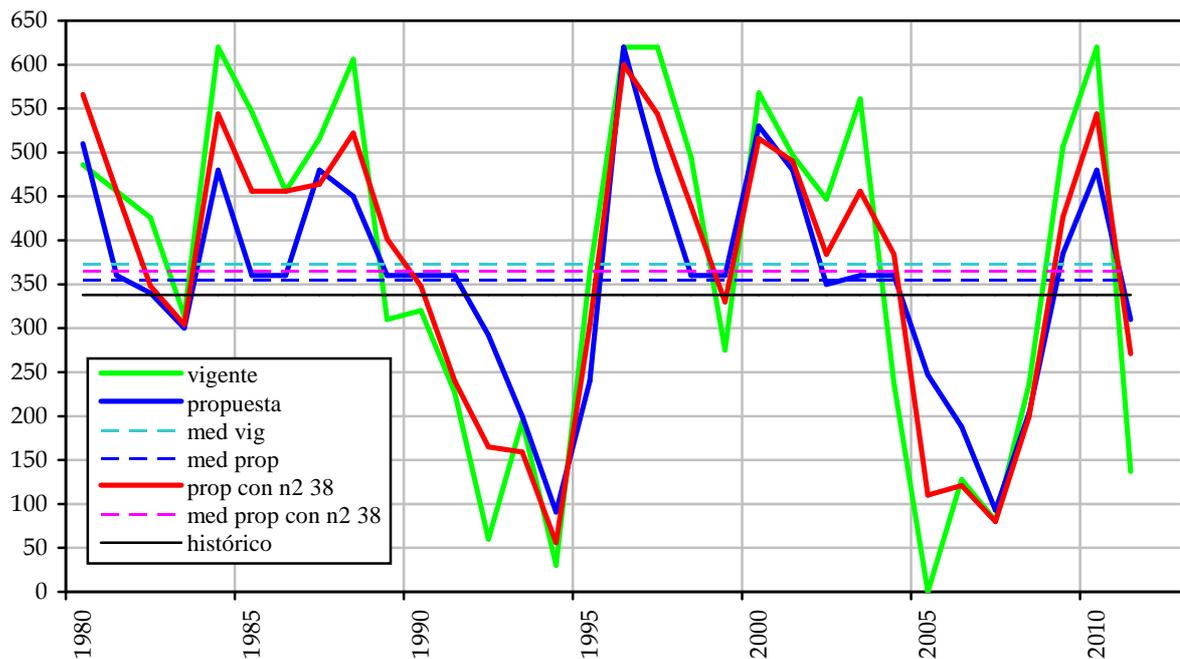


Figura 101. Trasvases anuales en origen. Parámetros vigentes, propuestos y con n2 38

Al igual que con la representación realizada para los valores de 30 y 38, el régimen anual de transferencias puede representarse para cualquier otro valor, proporcionando así una imagen de su variación conjunta y, básicamente, del compromiso entre medias, mínimos y estabilidad resultante. Así, la siguiente figura muestra las series de trasvases resultantes para los parámetros de referencia sugeridos fijos excepto el trasvasable mensual en nivel 2, para el que se adoptan diferentes valores de ensayo además de los 30 y 38 ya considerados.

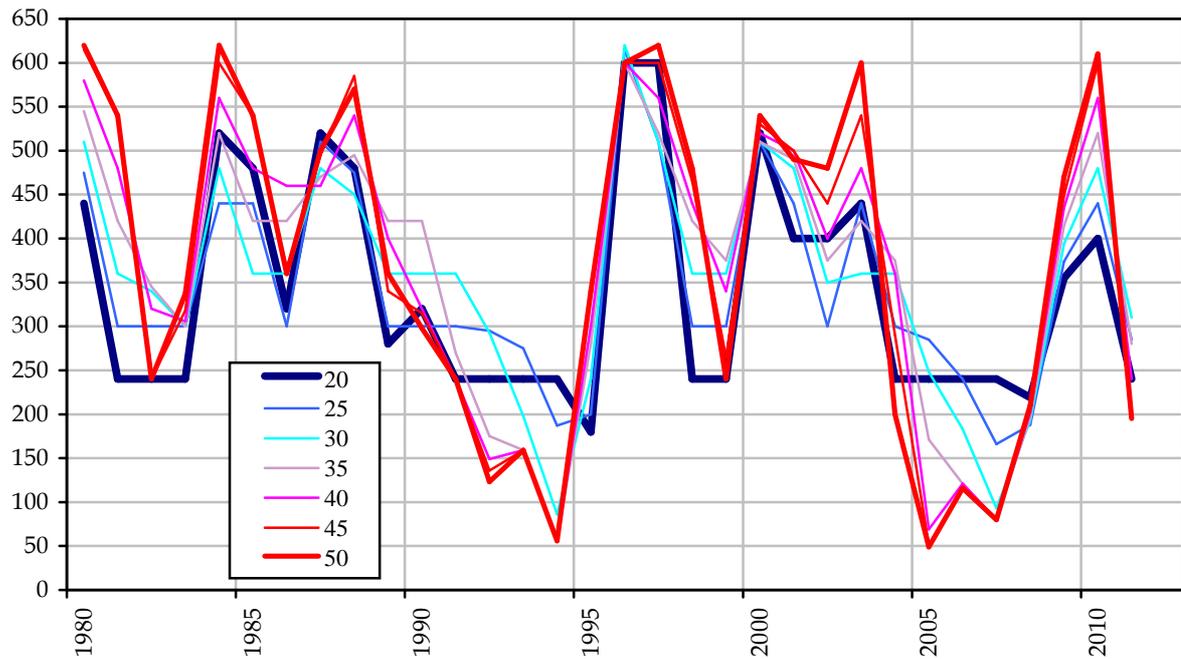


Figura 102. Trasvases anuales en origen. Parámetros vigentes fijados con n2 variable

Nótese como es posible conseguir explotaciones relativamente estables (la correspondiente a un valor de 20), con mínimos asegurados en torno a los 200-250 $\text{hm}^3/\text{año}$, incluso en las peores sequías de 1993-1995 y 2005-2009, pero a costa, como se dijo, de valores medios inferiores a los de otras explotaciones (la correspondiente a 50). Aunque sería teóricamente posible una cuantificación objetiva, reducible a términos monetarios, del resultado de cada explotación, la ponderación de opciones con un cierto grado de subjetividad, según la mayor o menor aversión al riego, resulta inevitable.

8.9.3.2 Contraste con series sintéticas

Volviendo a los valores de contraste de 30 y 38 hm^3/mes , para investigar más a fondo los efectos prácticos asociados y conocer su sensibilidad se han reiterado los cálculos de simulación anteriores pero utilizando una colección de series sintéticas en lugar de la histórica.

Como antes, se han dejado fijos todos los parámetros con sus valores de referencia sugeridos, y se han reiterado los cálculos de simulación de la regla de explotación para los dos valores de contraste de 30 y 38 hm^3/mes en nivel 2, utilizando para cada uno de ellos 100 series sintéticas mensuales de longitud 50 años cada una. Los resultados obtenidos se resumen en los gráficos adjuntos.

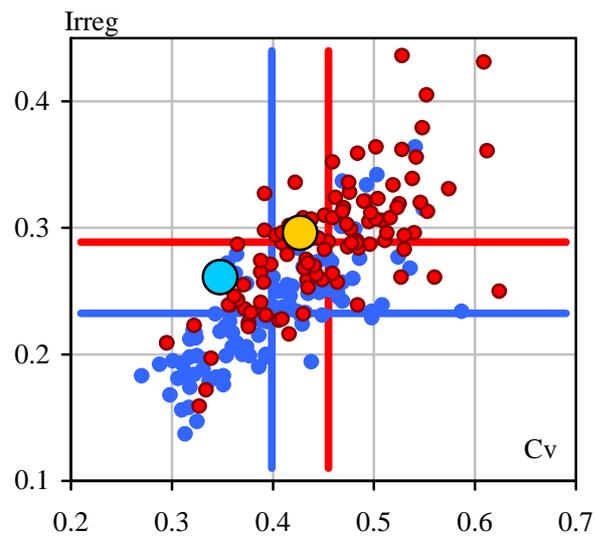
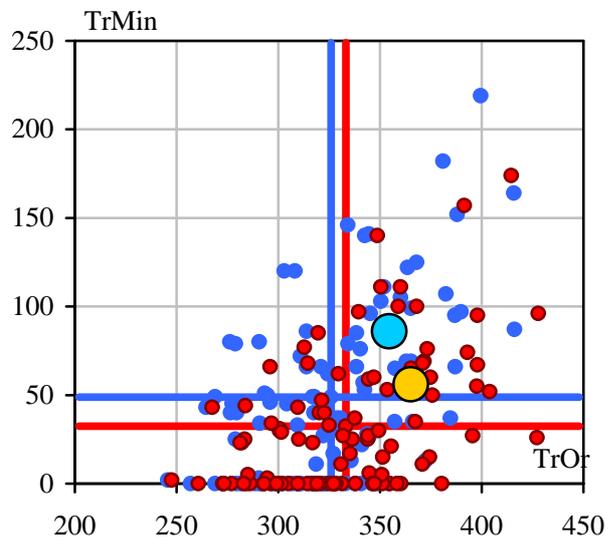
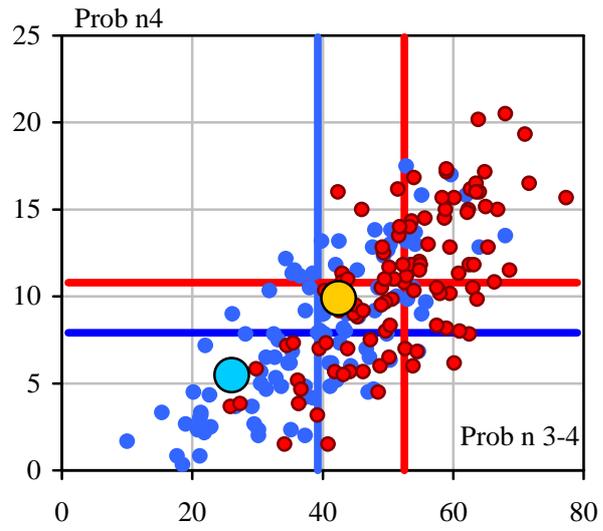


Figura 103. Efectos del nivel 2. Series sintéticas

Para cada gráfico, representativo de una pareja de indicadores relacionados, se muestran las dos nubes de 100 puntos, azul y roja, correspondientes a los 100 pares de valores obtenidos en las simulaciones. Los puntos azules son los correspondientes al valor de referencia sugerido de 30 hm³/mes trasvasado en nivel 2, mientras que los rojos son los correspondientes al valor vigente de 38 hm³/mes. Con líneas verticales y horizontales de sus colores se señalan los valores medios de indicadores en ambas nubes. Finalmente, con círculos azul y anaranjado se representan los valores obtenidos de la simulación con la serie histórica. Si los estadísticos indicadores fuesen insesgados e independientes de las longitudes de las series, estos círculos tenderían asintóticamente a situarse en las dianas o puntos de cruce de las correspondientes líneas verticales y horizontales.

Examinando los gráficos puede verse que hay una cierta desviación entre las magnitudes histórica y media de sintéticas, debida tanto a variabilidad muestral como a tales efectos de sesgo (recuérdese que la serie histórica tiene una longitud de 32 años frente a los 50 de las sintéticas). Se observa también que las desviaciones tienen el mismo sentido (misma orientación de sus vectores) para los dos valores de 30 y 38 hm³/mes.

Atendiendo al gráfico de probabilidades de presentación de niveles 3 y 4 se observa que la dispersión es relativamente elevada tanto para el nivel 4 como para los niveles 3 ó 4. Los valores correspondientes a 38 tienden a ser peores que los de 30 (probabilidades mayores), como ya se señaló en relación con la serie histórica, pero no hay una separación nítida entre ambos conjuntos de puntos lo que sugiere que la variabilidad muestral domina el proceso y permite sostener que, aunque la decisión racional sería sin duda adoptar 30, no existe evidencia técnica suficientemente fuerte como para que deba descartarse obligadamente cualquier otra alternativa.

Examinando el segundo gráfico, de trasvases medios anuales y trasvase mínimo anual para cada serie, se observa que la dispersión es también relativamente elevada en ambos casos si bien los valores medios de trasvase medio anual para las series sintéticas son ahora muy próximos y algo inferiores a los históricos. Ello revela la práctica igualdad de ambas opciones de 30 ó 38 desde el punto de vista del volumen medio trasvasado, en contra de la opinión de que el descenso del trasvase mensual en nivel 2 implicaría un menor volumen de trasvase.

Como se pone de manifiesto una vez más, tal opinión es manifiestamente errónea y se basa en confundir la inmediatez en la disponibilidad de agua con su verdadera disponibilidad a medio y largo plazo, ignorando que cambios en los niveles de la regla modifican únicamente la modulación o ritmo de los envíos, pero en ningún caso sus cuantías medias.

Podría decirse que, desde la perspectiva de los usuarios del trasvase, el efecto psicológico de la inmediatez (lo que podríamos llamar el efecto del *pájaro en mano*) nubla el futuro más allá del corto plazo, impide una percepción de mayor alcance, y podría conducir a crisis futuras de suministro, para ellos mismos, que podrían obviarse con una explotación más prudente y conservadora. Siguiendo la analogía, los *pájaros que vuelan* están en realidad en una jaula – almacenados en los embalses- y si no se dispone de ellos hoy podrá disponerse en cualquier momento posterior, de mayor necesidad, en el que sean requeridos.

Es tarea pendiente ir modificando esta percepción equivocada de algunos usuarios sobre el funcionamiento del trasvase, y asumir progresivamente que las disponibilidades medias reales de recursos trasvasables son, al menos por el momento y tras el *efecto 80*, apreciablemente inferiores a las máximas teóricas asignadas. Ello que requiere una adaptación no solo técnica sino también sociológica que es necesario abordar. Tal adaptación no requiere de reforma legal alguna, sino solo de una parametrización de la regla adaptativa a las nuevas

circunstancias y perfectamente reversible según la deriva que adopten en el futuro. Como ya se explicó, este es precisamente el fundamento y mecanismo para la revisión de la regla y de aquí se deriva la conveniencia de que sus parámetros puedan modificarse de forma rutinaria, sin requerir de complejos procesos administrativos o modificaciones legales.

La inspección de resultados para el indicador de trasvase mínimo ilustra claramente esta idea de las cautelas al mostrar que para el valor de 38 existe un número considerable de valores no solo muy reducidos sino incluso nulos, sin perjuicio de la reflexión sobre la variabilidad muestral antes expuesta. Si se recuerda que los volúmenes trasvasados han de atender abastecimientos urbanos cuya capacidad de sustitución es limitada, se comprende la extrema prudencia con que debe abordarse esta cuestión.

Finalmente, el examen del tercer gráfico revela similares resultados que los anteriores desde el punto de vista de la irregularidad de los trasvases anuales, mayor para 38 que para 30 pero sin evidente discriminación de ambos casos.

8.9.3.3 Conclusiones

En conclusión, los indicadores resultantes para el valor de 38 hm³/mes en nivel 2 tienden a ser peores que los resultantes para 30 (probabilidades mayores), como ya se señaló en relación con la serie histórica, pero no se observa una separación nítida entre ambos conjuntos de puntos generados mediante series sintéticas, lo que sugiere que la variabilidad muestral domina el proceso y permite afirmar que, aunque la decisión racional sería adoptar el valor de 30, no existe evidencia suficientemente fuerte como para que, desde un punto de vista técnico, deba descartarse obligadamente cualquier otra alternativa.

Frente a la exigencia de estabilidad y garantía requerida por los abastecimientos, algunos usuarios de regadío tienden, como ya se ha señalado, a requerir la inmediata disposición de los recursos susceptibles de trasvase en lugar de su administración en horizontes temporales de mayor recorrido, en el entendimiento, erróneo, de que los volúmenes trasvasados son mayores si sus envíos se producen a mayor velocidad. Las crisis futuras, con seguridad más agudas con este planteamiento, se obvian y confían a otras alternativas. Ello puede entenderse si efectivamente se dispone de tales recursos alternativos aún a mayor coste (como los subterráneos o desalobrados) o si puede admitirse que haya años sin cosecha (determinados cultivos no arbóreos). Tales circunstancias pueden darse en algunas zonas regables pero no en todas, existiendo de hecho una diversidad de situaciones que da lugar, dentro del mismo uso de regadío, a diferentes percepciones del problema.

La posición más razonable sería, como se ha señalado, asumir que las disponibilidades medias reales de recursos trasvasables son y serán en el futuro inmediato inferiores a las asignaciones máximas previstas, y programar una explotación prudencial adecuada a estas circunstancias, de forma que el efecto psicológico de la inmediatez no conduzca a posibles crisis futuras de suministro que podrían evitarse o al menos paliarse con una explotación más prudente y conservadora.

Desde esta perspectiva, y a la luz de los análisis realizados, se deduce, como ya se ha apuntado, que la adopción de 30 hm³/mes en nivel 2 parece la opción más adecuada pero, es importante recordarlo, sin que exista evidencia técnica suficiente para descartar necesariamente cualquier otra alternativa.

Esta falta de evidencia permitiría adoptar temporalmente otras cifras, como el mantenimiento de los 38 actuales, por motivos de adaptación social gradual a la nueva situación, pero siendo

conscientes del mayor riesgo asumido y de la necesidad de su revisión conforme evolucione el comportamiento hidrológico de la cabecera.

Obviamente, este mayor riesgo se refiere tan solo a los usuarios del trasvase, pues los del Tajo tienen su suministro garantizado en todo caso, y no se ven afectados en nada por estas determinaciones.

Cabe a su vez señalar que, dentro de los usuarios del trasvase, el mayor riesgo es el asumido por los regadíos, dado que los usos de abastecimiento son siempre preferentes. Una futura crisis severa de escasez para los riegos habría de ser contemplada, en alguna medida, como el precio a pagar .admitido por una mayor anticipación en la disponibilidad de agua, propiciada por las circunstancias expuestas, sin que quepa atribuir a la Administración responsabilidad alguna por esta circunstancia.

9. LA DISTRIBUCIÓN POR USOS

9.1 INTRODUCCIÓN

Una vez revisada la regla de explotación y determinados, en consecuencia, los volúmenes mensuales susceptibles de transferencia según la coyuntura hidrológica de cada momento, cabe dar un paso más en el estudio del sistema, consistente en discriminar la aplicación de las aguas trasvasadas a los distintos usos. Es ésta una cuestión de gran importancia y que no ha sido hasta el momento suficientemente desarrollada, habiéndose adoptado en la práctica diferentes criterios interpretativos, aplicados consuetudinariamente sin una formulación previa al respecto explícita y fundamentada.

Siguiendo los criterios adoptados para el desarrollo del Memorándum, nos ocuparemos tan solo de la transferencia Tajo-Segura-Almería, excluyendo la del Tajo-Guadiana. En el futuro debiera no obstante incorporarse esta otra transferencia formando parte de un protocolo conjunto único, que regule todas las derivaciones con origen en el Tajo, y las integre en un sistema general de todavía mayor alcance.

9.2 SITUACIÓN ACTUAL Y ALTERNATIVAS

Centrándonos por ahora en el Tajo-Segura, en un capítulo anterior, al analizar las demandas de las áreas receptoras en la cuenca del Segura, se expuso la situación de asignación legal actual por usos y zonas de riego, junto con las posibilidades de reasignación de las denominadas *menores pérdidas*.

Como allí se indicó, tal posible reasignación de menores pérdidas da lugar a dos escenarios de asignación de los volúmenes máximos totales anuales trasvasables (situación tradicional o anterior al Memorándum, y situación tras la reasignación sugerida), cuyos valores se muestran en las tablas ofrecidas.

No obstante, puesto que los trasvases reales muy raramente alcanzan ese máximo, completar un protocolo de reparto requiere disponer de un criterio adicional de distribución para cualquier volumen inferior, intermedio entre cero y el máximo posible.

A este respecto caben dos criterios básicos: reparto proporcional, con un mínimo prioritario para abastecimientos, o reparto por bloques, con el abastecimiento completo en primer lugar y el resto a regadíos.

Como combinación de los dos criterios sobre menores pérdidas y los dos criterios sobre distribución surgen cuatro diferentes escenarios principales sobre asignaciones de las aguas trasvasadas a los distintos usos. El análisis de estos escenarios permite diseñar reglas objetivas y completas de reparto según sea la disponibilidad real de agua en cada momento.

Seguidamente se analizan estas posibilidades mostrando los resultados de su aplicación en el caso de referencia adoptado, conforme a las determinaciones del borrador de Plan Hidrológico del Tajo y de forma consistente con lo expuesto en capítulos anteriores.

En primer lugar, se considera la situación propuesta con reserva de 400 hm³ y los nuevos parámetros sugeridos, adoptando para el reparto por usos los criterios anteriores al Memorándum, con las menores pérdidas asignadas al abastecimiento (21 hm³/año MCT, 9

hm³/año Almería, ambos en destino). Con una distribución por bloques, para cualquier volumen mensual disponible se asigna en primer lugar el máximo mensual requerido por los abastecimientos de Almería (0.833/0.75 hm³/mes en origen/destino); tras ello se asigna el máximo mensual de MCT (12.125/10.917 hm³/mes en origen/destino), y tras ello el resto se asigna al regadío.

La tabla adjunta resume la anteriormente ofrecida para la situación vigente antes del Memorándum, con las menores pérdidas atribuidas a los abastecimientos y reparto por bloques.

Uso	Máximo legal asignado en destino (hm ³ /año)	Máximo total en destino hm ³ /año (hm ³ /mes)	Máximo total en origen hm ³ /año (hm ³ /mes)
Abastecimiento MCT	110	131 (10.917)	145.55 (12.13)
Abastecimiento Almería	0	9 (0.75)	10 (8.333)
Total abastecimiento	110	140 (11.667)	155.55 (12.96)
Regadío	400	400 (33.333)	444.44 (30.04)
Total	510	540 (45)	600 (50)

Tabla 33. Asignación de volúmenes trasvasables al Segura antes del Memorándum

En estas condiciones, la simulación con la serie histórica de referencia (1980-2012) arroja los resultados de distribución mostrados en la tabla.

Uso	Derivado en origen (hm ³ /año)	Entregado en destino (hm ³ /año)
Abastecimiento MCT	135.2	121.7
Abastecimiento Almería	9.5	8.5
Total abastecimiento	144.7	130.2
Regadío	209.9	188.9
Total	354.5	319.1

Tabla 34. Distribución por usos antes del Memorándum

Los recursos medios entregados en destino para regadíos resultan ser unos 189 hm³/año, lo que supone el 47% de su asignación máxima legal.

Se comprueba además que el volumen adicional medio requerido por la MCT para alcanzar la dotación mínima absoluta obligada en destino (cifrada en 5 hm³/mes) es de unos 4.3 hm³/año en origen, aunque concentrado en pocos años. El gráfico adjunto muestra la serie anual de socorros o requerimientos adicionales para abastecimientos MCT (tras haber maximizado la desalación), que podrían asimilarse a la necesidad de adquisición de derechos de agua de terceros en años críticos.

Se observa que la media de 4.3 hm³/año enmascara una fuerte irregularidad, con largas rachas plurianuales sin necesidad de socorros y solamente dos periodos donde son requeridos: el correspondiente a la sequía de mediados de los 90, y el de la sequía de 2006-2009. En ambos casos, la punta de socorro requerida es de unos 35-40 hm³/año en origen, con totales de unos 65 hm³/racha.

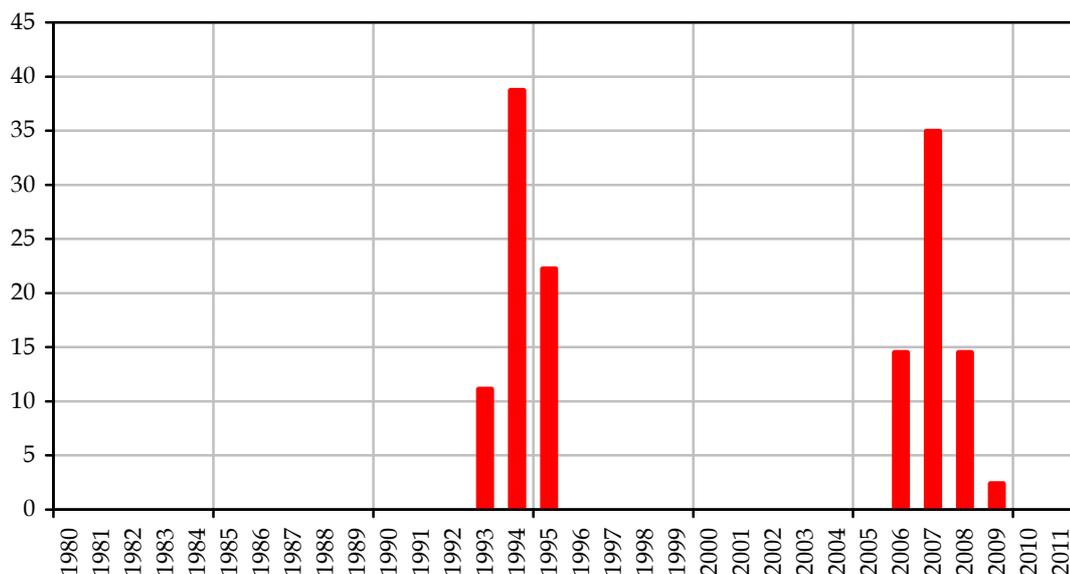


Figura 104. Socorros o adquisiciones adicionales para MCT (hm³/año en origen)

Si en lugar de la asignación de menores pérdidas para abastecimientos se adopta el criterio sugerido de asignación a regadíos con la excepción de Almería, por las razones ya expuestas, la tabla resultante es la mostrada, que resume la ofrecida en el capítulo anterior de descripción de los sistemas.

Uso	Máximo legal asignado en destino (hm ³ /año)	Máximo total en destino hm ³ /año (hm ³ /mes)	Máximo total en origen hm ³ /año (hm ³ /mes)
Abastecimiento MCT	110	110 (9.167)	122.22... (10.185)
Abastecimiento Almería	0	9 (0.75)	10 (0.833)
Total abastecimiento	110	119 (9.917)	132.22... (11.02)
Regadío	400	421 (35.083)	467.77... (38.98)
Total	510	540 (45)	600 (50)

Tabla 35. Asignación de volúmenes trasvasables al Segura tras la reasignación de menores pérdidas

Puede verse que este nuevo criterio supondría un incremento teórico de las disponibilidades máximas para riego de 21 hm³/año en destino. Utilizando, como antes, un criterio de bloques para el reparto por usos, los resultados son ahora los de la tabla.

Uso	Derivado en origen (hm ³ /año)	Entregado en destino (hm ³ /año)
Abastecimiento MCT	113.7	102.3
Abastecimiento Almería	9.5	8.5
Total abastecimiento	123.2	110.8
Regadío	231.4	208.3
Total	354.5	319.1

Tabla 36. Distribución por usos antes del Memorándum

Los recursos medios entregados en destino para regadíos resultan ser ahora unos 208 hm³/año, lo que supone el 52% de su asignación máxima legal, mientras que los socorros anuales necesarios para MCT son iguales a los anteriores.

Como se observa, la mejora experimentada por el regadío debida a la reasignación de las menores pérdidas es muy significativa (unos 20 hm³/año medios de recursos recibidos en destino) y se produce en una explotación ordinaria, sin necesidad de que los volúmenes trasvasados sean siempre los máximos nominales o próximos a ellos.

El esfuerzo que ha de realizarse para completar los abastecimientos iría necesariamente a cargo de una mayor desalación en las áreas receptoras, si bien los socorros extremos para alcanzar los mínimos absolutos requeridos en destino por la MCT son, en contra de lo que pudiera pensarse, iguales en ambos casos, con independencia del criterio de asignación de las menores pérdidas.

Si se adopta el criterio de reasignación de menores pérdidas para regadío-Almería pero utilizando en lugar de bloques una distribución proporcional a la asignación nominal total (legal+menores pérdidas) para cada uso (MCT, Almería, Regadío), y fijando un mínimo umbral mensual asegurado para los abastecimientos (su asignación para Almería y variable para la MCT), los resultados son los mostrados en el gráfico, en función de cual sea el volumen umbral mínimo para los abastecimientos de MCT que se adopte.

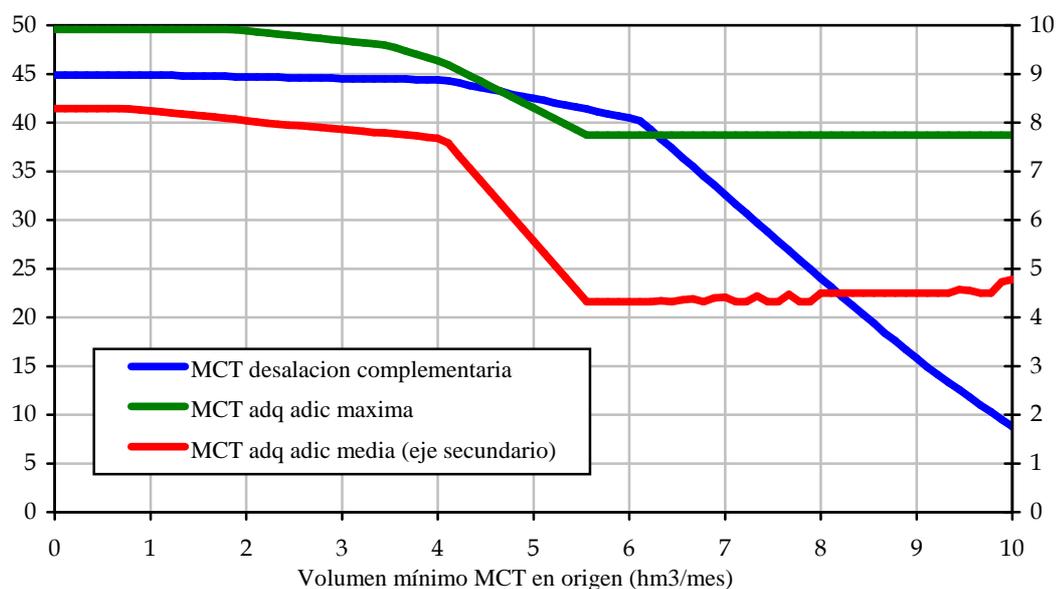


Figura 105. Resultados para distribución proporcional nominal con mínimo mensual para MCT

El volumen trasvasado medio total es, en todo caso, de 355 hm³/año en origen, de los que 10 corresponden al abastecimiento de Almería, la diferencia entre 110 y la desalación complementaria sería el volumen correspondiente a abastecimientos de la MCT, y el resto corresponde a regadíos.

En el gráfico se representa, en primer lugar, el volumen medio de desalación anual complementaria que debe generar la MCT para alcanzar un total en destino de 110 hm³/año, que es su asignación legal. Esta desalación complementaria no debe confundirse con el volumen de desalación total que debe generar la MCT, necesariamente mayor dado que las

necesidades totales en destino de la MCT superan su disponibilidad total de recursos propios más la asignación legal de 110 procedentes del trasvase del Tajo.

Como puede verse, la desalación adicional es de 45 hm³/año y se mantiene estable hasta 4 hm³/mes en origen, decrece ligeramente hasta 40 para 6, y a partir de 6 disminuye rápidamente de forma lineal hasta 8 hm³/año para 10 hm³/mes de umbral.

Las necesidades mínimas en destino de la MCT compatibles con niveles de desalación asumibles, sin excesivo incremento de coste, son de 7.5 hm³/mes, equivalentes a 8.33 en origen. Ello supone disponer de 89 hm³/año trasvasados y requerir una desalación complementaria media de 21 hm³/año.

Además de la desalación complementaria, en el gráfico se representa también el volumen medio anual de adquisición adicional o socorro que debe movilizar la MCT para alcanzar el mínimo absoluto requerido en destino de 5 hm³/año.

Como se comentó en capítulos anteriores, la topología de la red MCT hace que este adicional no pueda ser distribuido mediante incrementos de desalación, debiendo estar disponible en cabeza del sistema. Ello exige que deba ser objeto de adquisición mediante cesión de derechos o permutas con otros usuarios. El volumen medio anual por este concepto se estabiliza a partir del umbral de 5.5 hm³/mes en un valor del orden de 4.5 hm³/año adicionales.

Al analizar la situación vigente anterior al Memorándum ya se apuntó que este valor medio encubre una irregularidad extrema, de forma que la mayoría de los años no se necesita este adicional de socorro y solo en pocas ocasiones se requiere su movilización. Para dar una mejor idea de esta circunstancia, en el gráfico se ha representado también, además de su media, el valor máximo de la serie anual de socorros, pudiendo apreciarse que a partir del umbral de 5.5 hm³/mes el máximo se estabiliza en unos 39 hm³/año, siendo esta la magnitud orientativa a considerar.

Sería conveniente identificar posibles cesionarios para alcanzar estas cuantías de intercambio en los años críticos bien de forma directa, con acuerdos suscritos por las partes similares a los ya desplegados en el pasado con volúmenes además similares, o bien, preferiblemente, mediante un centro de intercambio de derechos que debiera instituirse a escala nacional. Este banco nacional sería además un instrumento adecuado para resolver los conflictos de concurrencia que se plantearán con cesiones privadas, inevitables dado que los usos de abastecimiento y riegos competirán por la captación de cesionarios al compartir los mismos periodos críticos de escasez.

El criterio de proporcionalidad conforme a la asignación nominal, que es el analizado, supone que el abastecimiento recibe un 22% del disponible, y el regadío el 78% restante. Si estas cifras se redondean al 25 y 75 %, los resultados del criterio de proporcionalidad serían los mostrados en la figura, en la que se incluyen también a efectos comparativos, en trazo discontinuo, los resultados anteriores de proporcionalidad nominal.

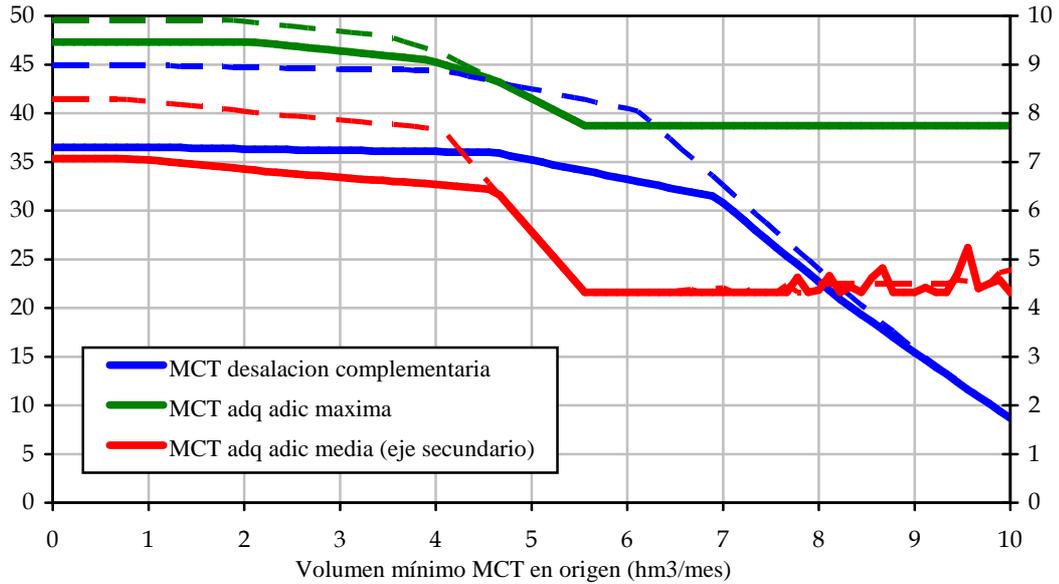


Figura 106. Resultados para distribución proporcional 25/75 con mínimo mensual para MCT

Puede verse que la situación de 25/75 converge a la anterior de proporcionalidad nominal a medida que aumenta el umbral reservado para la MCT. Para valores reducidos del umbral mensual se da una mejoría apreciable para la MCT, con menores volúmenes de desalación y necesidades de socorro, pero a partir de 4.5 hm³/mes en origen no hay diferencias desde el punto de vista de las adquisiciones adicionales media y máxima, y a partir de 7 hm³/mes apenas hay diferencia tampoco para la desalación complementaria. Para el valor de referencia de 8.33 (7.5 en destino) los valores de adquisición adicional son iguales, y la desalación complementaria es también prácticamente igual (20 hm³/año frente a los 21 requeridos con proporción nominal).

Pueden proponerse, en definitiva, unas magnitudes de referencia de 90 hm³/año recibidos por la MCT en destino, con 20 hm³/año de desalación complementaria para alcanzar los 110 legalmente asignados, y una necesidad de adquisición adicional máxima anual de 39 hm³, (media de 4.3 hm³/año) requerida únicamente en pocos años críticos de la serie. Todo ello asumiendo un criterio de proporcionalidad de asignación del 25/75%, un umbral preferente requerido por la MCT de 7.5 hm³/mes en destino, y el resto de condiciones de referencia ya indicadas (asignación de Almería, parámetros de la regla recomendados, serie de diseño adoptada, etc.).

Llegados a este punto ha de recordarse que, como se mostró en las tablas anteriores, en la situación vigente anterior al Memorándum la MCT recibiría en destino un volumen medio de 121.7 hm³/año. Si se contrasta con los 90 que recibirá ahora se percibe con toda claridad el gran esfuerzo económico que supone para el abastecimiento adaptarse a la nueva situación, y la importantísima mejora que supone para el uso de regadío, que ve mejoradas en más de 30 hm³/año sus expectativas reales de trasvase anual.

Si en lugar de un reparto proporcional se mantiene el criterio de asignación por bloques, el simple cambio de las menores pérdidas supone una mejora de 12 hm³/año medios adicionales para el uso de regadío, en perjuicio del abastecimiento de la MCT.

Un sacrificio tal solo es planteable en el contexto de la disponibilidad de las nuevas desaladoras de la MCT y sus exigencias y márgenes de producción mínima. Como se vio, el

incremento de desalación crece linealmente con el umbral mínimo mensual, por lo que ha de actuarse con extrema cautela en este punto, impidiendo que nuevas mejoras adicionales para el regadío, ya muy marginales, acaben suponiendo una carga económica inaceptable para la MCT y, en definitiva, un encarecimiento injustificado de la tarifa de agua urbana para todos los usuarios de la Mancomunidad.

En definitiva, la mejora de las condiciones de los regadíos, objetivo explícito y deseado por el Memorándum, no puede de plantearse de forma absoluta e ilimitada sino que tiene el término infranqueable de no afectar sensiblemente a los usuarios del agua urbana, que es en definitiva el conjunto de toda la sociedad.

Finalmente, y como se planteó en relación con las posibilidades de trasvase y la regla de explotación, cabe realizar un análisis final de las opciones de reparto según la decisión que se adopte para el parámetro de trasvase en nivel 2, para el que se recomienda 30 hm³/año frente a los 38 antes vigentes.

Como allí se señaló, se trata de la opción de utilizar el mayor volumen posible de forma urgente, con el objetivo de la campaña inmediata, frente a la opción de adoptar un criterio de prudencia, contener la demanda, y ajustar progresivamente los consumos a las disponibilidades reales medias, que son completamente independientes del valor de 30 ó 38 que se adopte.

A la perspectiva ya estudiada del volumen trasvasable y sus indicadores de explotación, cabe añadir ahora la perspectiva adicional de la distribución por usos, valorando también el efecto del nivel 2 sobre estos repartos.

Para ello, se reiteran los cálculos anteriores suponiendo las mismas condiciones de referencia ya indicadas (menores pérdidas, proporcionalidad 25/75, mínimo 7.5) pero modificando ahora el parámetro de volumen trasvasable en nivel 2 que pasa de 30 hm³/mes a 38 hm³/mes. Los resultados son los mostrados en la figura, en la que los resultados para 30 se representan con trazo continuo y para 38 con trazo discontinuo.

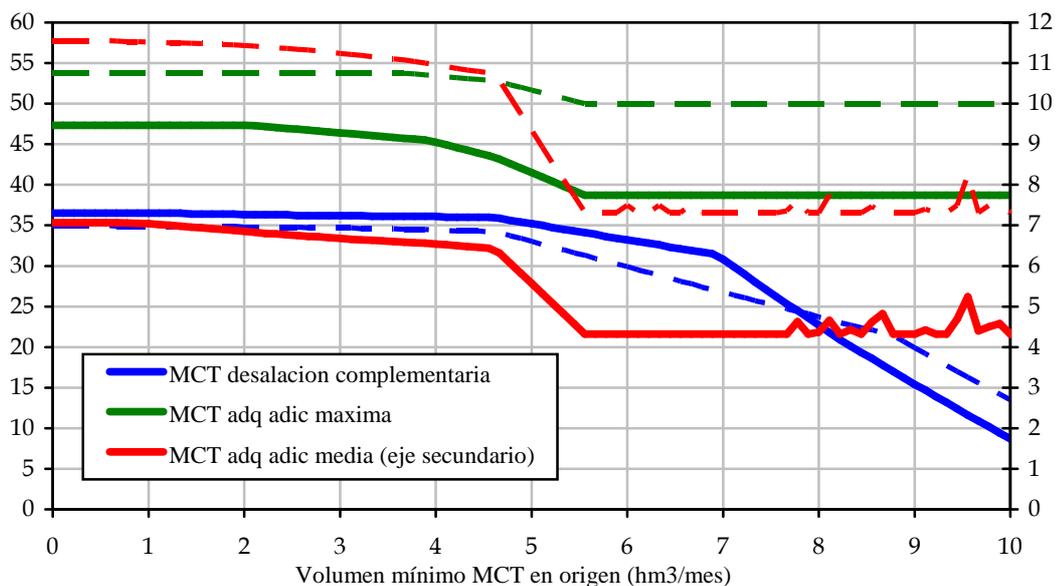


Figura 107. Efectos del trasvasable en nivel 2 sobre la distribución por usos

A diferencia de los casos anteriores, los volúmenes trasvasados medios son ahora ligeramente diferentes por efecto del cambio de parámetro.

Puede verse que desde el punto de vista de los socorros, o necesidades de adquisición adicional, la situación para 38 hm³/mes es apreciablemente peor para la MCT que la correspondiente a 30 hm³/mes. El socorro medio pasa de 4.3 a 7.3 hm³/año, mientras que el máximo pasa de 39 a 50 hm³/año y el número de años en que se requiere socorro es mayor. La figura adjunta ilustra tal diferencia mostrando las series anuales, por años hidrológicos, de volúmenes adicionales de socorros en origen para MCT, en el supuesto de mínimo en destino de 7.5 hm³/mes para este uso.

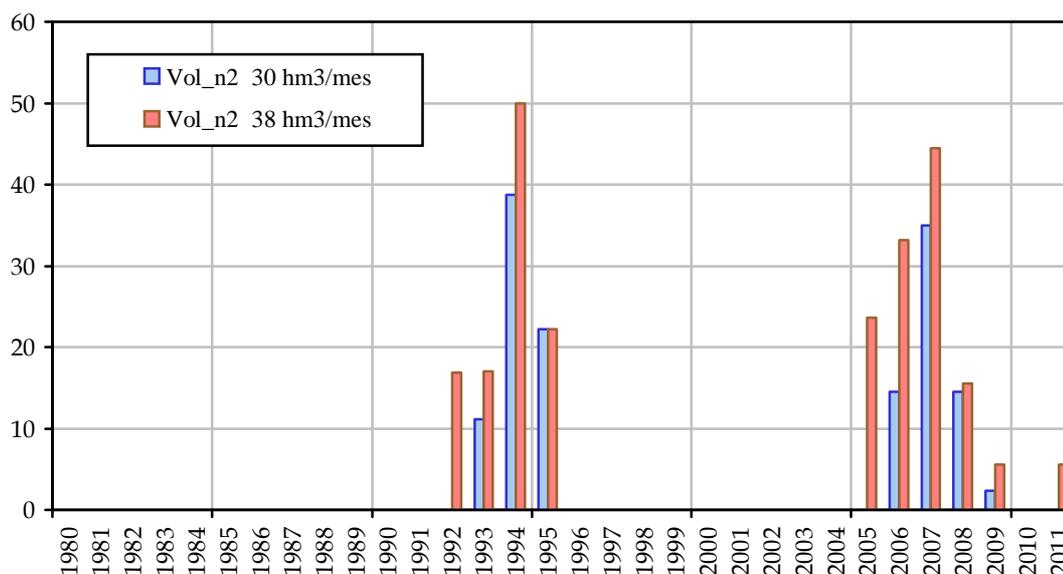


Figura 108. Socorros o adquisiciones adicionales para MCT (hm³/año en origen)

Ha de señalarse que no se trata tan solo de un problema económico, sino que estas cuantías máximas se alejan de los valores históricamente registrados con acuerdos individuales y apuntan a la necesidad de establecer un banco único a escala nacional, capaz de movilizar con holgura -y durante varios años consecutivos- volúmenes de esta magnitud, a los que además habrá que añadir, como se dijo, los concurrentes derivados de las necesidades de adquisición para riego, plenamente coincidentes en el tiempo con las de abastecimiento.

Desde el punto de vista de la desalación complementaria la situación es también más desfavorable para la MCT, si bien en este caso las diferencias no son tan significativas como las de los socorros (23 hm³/año de desalación complementaria frente a 20). Tal resultado resulta esperable teniendo en cuenta que, como se mostró, la opción 30/38 no afecta al volumen trasvasable medio pero sí afecta a la irregularidad de los envíos.

Desde el punto de vista de los regadíos, la figura adjunta muestra las series anuales, por años hidrológicos, de suministros a este uso para los mismos supuestos anteriores. En trazo discontinuo se han representado también las de suministros totales a abastecimientos (MCT y Almería).

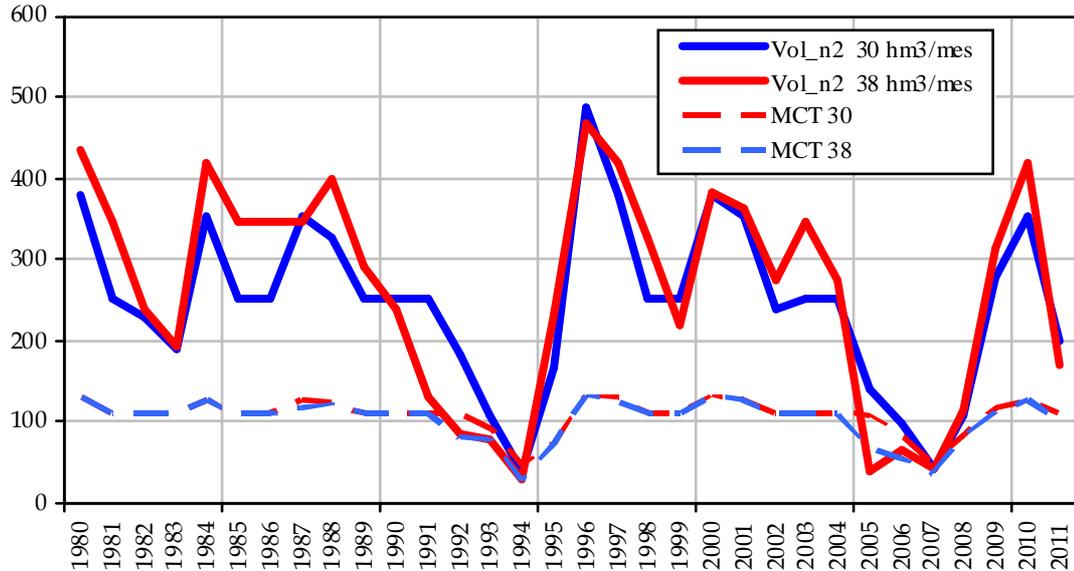


Figura 109. Suministros para regadío y abastecimientos en origen (hm³/año)

Puede verse que los patrones de oscilación de ambas series de riego son iguales, con valores asimismo similares. El años crítico es 1994, con 56 hm³/año totales de los que 28 serían para regadío, y se requeriría un socorro adicional para MCT de 50 hm³.

Es interesante constatar que la distribución del descenso en los mínimos (56 para 38 frente a 84 para 30) se distribuye aproximadamente en un tercio para los regadíos (37 frente a 29) y dos tercios para los abastecimientos (47 frente a 27), lo que revela un mayor esfuerzo para el uso de abastecimiento en estas situaciones críticas, reflejado en efecto en la cuantía de los volúmenes adicionales que debe procurarse.

En definitiva, la opción de 38 hm³/mes en nivel 2 no afecta sensiblemente al volumen medio anual que recibirán los abastecimientos ni los riegos, pero sí afecta a las necesidades de socorro adicional para alcanzar los mínimos estrictos requeridos por la MCT. Ello significa que en estas situaciones de extrema sequía la MCT se verá forzada a adquirir derechos de agua en cuantías más elevadas y, obviamente, con carácter preferente con respecto a los riegos. En estos años la disponibilidad de agua trasvasada para regadío llegaría a ser prácticamente nula durante todo el año.

En conclusión, la opción más razonable es, como antes, la de 30 hm³/mes, pero cabe reiterar que las incertidumbres asociadas a la variabilidad hidrológica hacen que la opción de 38 no pueda ser rechazada de forma taxativa y pueda provisionalmente admitirse, atendiendo a la necesaria adaptación social a las nuevas realidades de disponibilidades hídricas.

Dentro de algunos años, con registros extendidos respecto a los actuales y nuevas demandas asociadas a cabecera del Tajo, deberán realizarse nuevamente los cálculos expuestos planteando la posibilidad de fijar otros parámetros y criterios de distribución más o menos conservadores respecto a los actuales.

Finalmente, cabe añadir una última observación técnica relativa a la distribución por usos a escala mensual.

Este periodo temporal es sin duda el adecuado para la planificación y explotación del sistema, pero con un cálculo estricto de reparto mes a mes sería teóricamente posible que se produzcan fallos de suministro a los abastecimientos pese a poderse trasvasar el máximo nominal de 600 en el año hidrológico. Bastaría para ello que algún mes no se alcance el nivel mínimo de abastecimiento, aunque en otros del mismo año hidrológico se trasvasen los máximos correspondientes al nivel 1. Asimismo, ello podría implicar que en un año en que se podría trasvasar el máximo, algún uso individual supere su cuota máxima, impidiendo alcanzarlo. El sistema de cálculo desarrollado permite, opcionalmente, contemplar o no tales limitaciones (de máximo anual global o máximos asignados por usos), que solo se producirían en situación de gran abundancia de agua, y que son derivadas de una consideración estricta de la cantidad correspondiente a cada mes de forma aislada y ciega tanto respecto al pasado como al futuro.

Se ha comprobado que las diferencias prácticas de ambos criterios de máximo no son muy significativas para la serie y parametrización empleadas (del orden del 1%). A efectos de cálculo se propone utilizar el criterio de limitación global al máximo nominal, junto con las limitaciones por usos, suponiendo que no se aplica regulación intraanual en el sistema. Este criterio proporciona valores más conservadores, dejando nuestras estimaciones del lado de la seguridad.

Desde la perspectiva de la explotación del sistema, el mecanismo que se sugiere para el futuro es el de un nuevo sistema formal jurídico-técnico de cuentas de agua. Seguidamente se esbozan las líneas maestras de esta nueva propuesta.

9.3 SISTEMA DE CUENTAS

No para los cálculos mensuales sino como mecanismo de mayor alcance y a efectos de la ordenación futura del sistema de trasvase, evitando situaciones como el apuntado desacoplamiento de los máximos global y por usos, se sugiere el desarrollo de un nuevo sistema de cuentas de agua.

En este sistema, con posibilidad de regulación intraanual –e incluso interanual-, cada usuario o grupo homogéneo tendría una cuenta de explotación distinta en cada embalse o sistema de embalses, gestionada independientemente para cada uno. Tal sistema de cuentas sería la culminación final de toda la normativa reguladora del trasvase desarrollada en anteriores capítulos, y constituiría un importante avance conceptual, más allá de este caso concreto, plenamente generalizable para su aplicación en muchas otras situaciones.

Este sistema encuentra su fundamento técnico último en la circunstancia hidrológica de que, en la actualidad, los grandes sistemas de recursos hídricos en España lo son de aguas reguladas, no fluyentes, a diferencia de lo que sucedía cuando se promulgó la Ley de Aguas de 1879, en la que se instituyó y consolidó la figura de la concesión administrativa sobre caudales que entonces eran fluyentes en su práctica totalidad.

Se entiende así que la característica fundamental de las antiguas concesiones fuese el caudal máximo de captación en el punto de toma, al que después se añadieron otras como el volumen máximo anual o, más recientemente, los mínimos circulantes exigidos en los cauces.

Con el paso del tiempo y el desarrollo progresivo de la regulación, se produce la vinculación de los aprovechamientos a las disponibilidades generadas en embalses concretos o pequeños sistemas, permitiendo garantizar la atención de demandas más allá de los históricos flujos naturales de estiaje. El régimen económico financiero del agua es en gran medida heredero de este modelo conceptual, en el que se asocian actuaciones concretas a usos específicos,

separados del resto del sistema, con una tarifa individualizada calculada expresamente para cada caso.

Frente a este modelo tradicional, la realidad actual se caracteriza por un desarrollo casi completo de la regulación en buena parte de los sistemas de recursos hídricos del país, y la formación de redes e interconexiones cada vez a mayor escala, dando lugar a sistemas complejos de suministro donde la vinculación de usuarios a infraestructuras concretas tiende a diluirse en favor de una concepción unitaria e integrada donde es el sistema conjunto el responsable de la regulación y el suministro.

A ello contribuye sin duda la necesidad de una mayor eficiencia y optimización de la gestión del agua, que empujada por demandas crecientes y requerimientos ambientales cada vez más exigentes, requiere de una utilización integrada de todas las infraestructuras que constituyen los sistemas y del uso múltiple de las mismas, con independencia de cual fuese su propósito inicial.

Esta situación conduce de forma natural a la necesidad de desarrollar nuevos esquemas de administración y gestión de recursos hídricos basados en una realidad física de aguas reguladas, no fluyentes, para las que el modelo conceptual está basado en almacenamientos conectados, y no en cauces fluyentes con circulación de caudales aleatorios. Para este modelo de depósitos, un sistema de cuentas parece surgir de forma natural, de forma que la asignación legal materializada por la concesión se sustanciaría materialmente en una anotación como usuario o apertura de cuenta en un sistema global de suministro, en el que las condiciones de uso se expresan mediante reglas de explotación como las desarrolladas en capítulos anteriores para el sistema Tajo-Segura.

La vinculación tradicional sería un caso particular de este modelo en el que las cuentas del usuario estarían en su embalse tradicionalmente asociado, con saldo nulo en los demás. Esta es, por otra parte, la forma usual de operación mediante Comisiones de Desembalse o Comisiones Centrales de Explotación, similares al mecanismo propuesto, que no hace sino formalizar su funcionamiento extendiendo y generalizando su alcance a grandes sistemas interconectados y con posibilidades de intercambios.

El sistema de cuentas sería, por otra parte, el soporte natural de un sistema general nacional de captación, almacenamiento y distribución de recursos hídricos a escala global, que no es sino el resultado final de la evolución histórica antes comentada.

Además, permitiría materializar las cesiones de derechos o bancos de agua de una forma extremadamente simple, como meras anotaciones de movimientos entre diferentes cuentas siguiendo protocolos formales de validez general, y permitiría una automatización completa de la gestión del sistema nacional, incluyendo un posible banco único global conjunto para todas las demarcaciones del país.

Desde el punto de vista económico-financiero, permitiría un avance sustancial al posibilitar la integración de fuentes heterogéneas, con distintos costes, formando unidades de suministro complejas a costes medios asumibles, discriminados por tipologías de usos, superando la heterogeneidad e inequidad actual.

Por ejemplo, ésta sería una posible vía para abordar globalmente el fundamental problema de la sostenibilidad económica de los Organismos de cuenca, o para paliar el importante problema creado por las instalaciones de desalación construidas en el área mediterránea, económicamente inviables de forma aislada pero que podrían desplegarse, si no total al menos parcialmente, integradas en sistemas de suministro global a gran escala. Otros problemas

prácticos como los derivados de la caducidad temporal de asignaciones por campañas, o los intercambios temporales voluntarios y permutas entre usuarios, hoy carentes de regulación formal, podrían también abordarse fácilmente con este mecanismo.

La puesta a punto de tal sistema, aquí apenas esbozado, requiere de una reflexión técnico-jurídica ciertamente sugerente y pendiente de desarrollar. Los problemas planteados son complejos y presentan derivaciones de toda índole –técnica, jurídica, económica, ambiental, social- que distan mucho de ser triviales y han de ser contempladas con ambición e inteligencia. La amplísima experiencia existente en España sobre estos problemas en diferentes cuencas, con circunstancias y condiciones muy distintas, permite confiar en el éxito futuro.