

PLAN HIDROLÓGICO NACIONAL

**ANÁLISIS DE LOS
SISTEMAS
HIDRÁULICOS**

Madrid, septiembre de 2000

INDICE BÁSICO

1.	Introducción. Criterios básicos.....	19
2.	Análisis previos. Identificación de cuencas.....	21
3.	Cuenca del Duero	30
3.1.	<i>Introducción.....</i>	30
3.2.	<i>Elementos del sistema.....</i>	30
3.3.	<i>Resultados obtenidos.....</i>	47
3.4.	<i>La disponibilidad de sobrantes</i>	49
3.5.	<i>Conclusiones.....</i>	64
4.	Cuenca del Tajo.....	65
4.1.	<i>Introducción.....</i>	65
4.2.	<i>Elementos del sistema.....</i>	65
4.3.	<i>Esquema general</i>	80
4.4.	<i>Resultados obtenidos.....</i>	81
4.5.	<i>La disponibilidad de sobrantes</i>	83
4.6.	<i>Conclusiones.....</i>	103
5.	Cuenca del Ebro	104
5.1.	<i>Introducción.....</i>	104
5.2.	<i>La cuestión de los sobrantes del Ebro</i>	106
5.3.	<i>El sistema de explotación de la cuenca del Ebro</i>	129
5.4.	<i>La disponibilidad de sobrantes</i>	144
5.5.	<i>Resumen y Conclusiones</i>	163
6.	Cuenca del Alto Guadiana	167
6.1.	<i>Introducción.....</i>	167
6.2.	<i>Descripción general del sistema</i>	167
6.3.	<i>Los recursos hídricos.....</i>	170
6.4.	<i>Las demandas hídricas en el acuífero Mancha Occidental.....</i>	173
6.5.	<i>El impacto de la explotación de aguas subterráneas y las medidas emprendidas</i>	180
6.6.	<i>Conclusiones.....</i>	186
7.	Cuenca del Guadalquivir.....	188
7.1.	<i>Introducción.....</i>	188
7.2.	<i>Elementos del sistema.....</i>	188
7.3.	<i>Resultados obtenidos.....</i>	210
8.	Cuenca del Segura-Almería	227
8.1.	<i>Introducción.....</i>	227
8.2.	<i>Elementos del sistema.....</i>	227
8.3.	<i>Esquema general</i>	253
8.4.	<i>Análisis del sistema y resultados obtenidos</i>	254
9.	Cuenca del Júcar	279
9.1.	<i>Introducción.....</i>	279
9.2.	<i>Elementos del sistema.....</i>	280
9.3.	<i>Resultados obtenidos.....</i>	301
10.	Cuencas Internas de Cataluña	322
10.1.	<i>Introducción.....</i>	322
10.2.	<i>Elementos del sistema.....</i>	322
10.3.	<i>Análisis y resultados obtenidos</i>	357
10.4.	<i>Conclusiones.....</i>	369

11. Regulación intermedia en el tramo Cherta-Tous.....	371
11.1. <i>Introducción.....</i>	<i>371</i>
11.2. <i>Embalse del río Canaletas.....</i>	<i>372</i>
11.3. <i>Embalse de Vall d'infern.....</i>	<i>373</i>
11.4. <i>Embalse de Cervera.....</i>	<i>375</i>
11.5. <i>Embalse de Calig.....</i>	<i>376</i>
11.6. <i>Embalse del Barranco de Gorra.....</i>	<i>378</i>
11.7. <i>Embalse de Alcalá.....</i>	<i>380</i>
11.8. <i>Embalse de Sichar.....</i>	<i>382</i>
11.9. <i>Embalse de Villamarchante.....</i>	<i>382</i>
11.10. <i>Embalse de Tous.....</i>	<i>382</i>
11.11. <i>Embalse de Escalona.....</i>	<i>383</i>
11.12. <i>Resumen y conclusiones.....</i>	<i>384</i>
12. Síntesis de resultados básicos.....	386
13. Referencias.....	388

INDICE DETALLADO

1. Introducción. Criterios básicos.....	19
2. Análisis previos. Identificación de cuencas.....	21
3. Cuenca del Duero	30
3.1. <i>Introducción.....</i>	30
3.2. <i>Elementos del sistema.....</i>	30
3.2.1. Aportaciones	30
3.2.2. Demandas.....	32
3.2.2.1. Caudales mínimos	38
3.2.3. Elementos de regulación.....	43
3.2.4. Conducciones.....	45
3.2.5. Esquema general	46
3.3. <i>Resultados obtenidos.....</i>	47
3.4. <i>La disponibilidad de sobrantes</i>	49
3.4.1. Introducción. Series obtenidas.....	49
3.4.2. Alto Duero	51
3.4.3. Bajo Duero.....	55
3.4.4. Análisis complementarios.....	60
3.4.5. Efectos del cambio climático.....	63
3.5. <i>Conclusiones.....</i>	64
4. Cuenca del Tajo.....	65
4.1. <i>Introducción.....</i>	65
4.2. <i>Elementos del sistema.....</i>	65
4.2.1. Aportaciones	65
4.2.2. Demandas.....	68
4.2.3. Caudales mínimos.....	73
4.2.4. Elementos de regulación.....	78
4.2.5. Conducciones.....	79
4.3. <i>Esquema general</i>	80
4.4. <i>Resultados obtenidos.....</i>	81
4.5. <i>La disponibilidad de sobrantes</i>	83
4.5.1. Introducción	83
4.5.2. Jarama	89
4.5.3. Toledo	93
4.5.4. Azután	96
4.5.5. Tiétar.....	99
4.5.6. Efectos del cambio climático.....	102
4.6. <i>Conclusiones.....</i>	103
5. Cuenca del Ebro	104
5.1. <i>Introducción.....</i>	104
5.2. <i>La cuestión de los sobrantes del Ebro</i>	106
5.2.1. Introducción. Conceptos previos	106
5.2.2. Las estaciones de medida de caudales y su fiabilidad	107
5.2.3. Estimación de la serie de aportaciones del Ebro en desembocadura	111
5.2.4. La disminución de sobrantes y el incremento en los consumos	114
5.2.4.1. Evolución de consumos netos. Balance hídrico	114
5.2.4.2. Evolución de las superficies regadas	119
5.2.4.3. Contrastes y conclusiones	120
5.2.5. La hipótesis de disminución de las lluvias.....	122
5.2.5.1. Series estandar.....	122
5.2.5.2. Series largas	126
5.2.5.3. Conclusión	129

5.3.	<i>El sistema de explotación de la cuenca del Ebro</i>	129
5.3.1.	Introducción	129
5.3.2.	Elementos del sistema	129
5.3.2.1.	Aportaciones	129
5.3.2.2.	Demandas	131
5.3.2.3.	Caudales mínimos	139
5.3.2.4.	Elementos de regulación	139
5.3.2.5.	Conducciones	141
5.3.2.6.	Esquema general	142
5.3.3.	Resultados obtenidos	142
5.4.	<i>La disponibilidad de sobrantes</i>	144
5.4.1.	Zona de desembocadura	145
5.4.1.1.	Caudales circulantes. Evolución previsible	145
5.4.1.2.	Estacionalidad del flujo	147
5.4.1.3.	Indicadores de comportamiento bajo el supuesto de demanda	148
5.4.1.4.	Indicadores de comportamiento bajo el supuesto de sobrante	152
5.4.1.5.	Conclusiones. Los sobrantes derivables	154
5.4.1.6.	Efectos del cambio climático	155
5.4.1.7.	Efectos de las nuevas regulaciones del Ebro	156
5.4.2.	Cuenca del Segre	157
5.5.	<i>Resumen y Conclusiones</i>	163
6.	Cuenca del Alto Guadiana	167
6.1.	<i>Introducción</i>	167
6.2.	<i>Descripción general del sistema</i>	167
6.3.	<i>Los recursos hídricos</i>	170
6.4.	<i>Las demandas hídricas en el acuífero Mancha Occidental</i>	173
6.4.1.	Regadíos	173
6.4.2.	Abastecimientos	178
6.5.	<i>El impacto de la explotación de aguas subterráneas y las medidas emprendidas</i>	180
6.6.	<i>Conclusiones</i>	186
7.	Cuenca del Guadalquivir	188
7.1.	<i>Introducción</i>	188
7.2.	<i>Elementos del sistema</i>	188
7.2.1.	Aportaciones	188
7.2.2.	Demandas	191
7.2.3.	Caudales mínimos	201
7.2.4.	Elementos de regulación superficial	202
7.2.5.	Elementos de regulación subterránea y uso conjunto	204
7.2.6.	Conducciones	209
7.2.7.	Esquema general	209
7.3.	<i>Resultados obtenidos</i>	210
7.3.1.	La situación de referencia	210
7.3.2.	el efecto de la Mejora y modernización de zonas regables	213
7.3.3.	El efecto de algunas actuaciones en infraestructura hidráulica catalogadas en el Plan de cuenca	215
7.3.4.	El efecto de posibles aportes externos	219
7.3.5.	El efecto de las actuaciones combinadas	223
7.3.6.	Conclusiones	226
8.	Cuenca del Segura-Almería	227
8.1.	<i>Introducción</i>	227
8.2.	<i>Elementos del sistema</i>	227
8.2.1.	Aportaciones	227
8.2.2.	Demandas	229
8.2.2.1.	Abastecimientos urbanos	230
8.2.2.2.	Regadíos	232
8.2.2.3.	Espacios naturales	237
8.2.2.4.	Síntesis de demandas consideradas	237
8.2.3.	Reutilización de retornos	240

8.2.4.	Caudales mínimos.....	241
8.2.5.	Elementos de regulación superficial.....	242
8.2.6.	Elementos de regulación subterránea y uso conjunto.....	243
8.2.7.	Conducciones.....	252
8.3.	<i>Esquema general</i>	253
8.4.	<i>Análisis del sistema y resultados obtenidos</i>	254
8.4.1.	Análisis básicos.....	254
8.4.2.	Análisis complementarios.....	265
8.4.2.1.	Posibilidades de ahorro en abastecimientos urbanos.....	265
8.4.2.2.	Posibilidades de ahorro en regadíos.....	269
8.4.2.3.	Efectos del posible cambio climático.....	274
8.4.3.	Conclusiones.....	275
9.	Cuenca del Júcar	279
9.1.	<i>Introducción</i>	279
9.2.	<i>Elementos del sistema</i>	280
9.2.1.	Aportaciones.....	280
9.2.2.	Demandas.....	281
9.2.3.	Reutilización de retornos.....	286
9.2.4.	Caudales mínimos.....	287
9.2.5.	Elementos de regulación superficial.....	288
9.2.6.	Elementos de regulación subterránea y uso conjunto.....	289
9.2.7.	Conducciones.....	300
9.2.8.	Esquema general.....	300
9.3.	<i>Resultados obtenidos</i>	301
9.3.1.	Análisis básicos.....	301
9.3.2.	Análisis complementarios.....	312
9.3.2.1.	Posibilidades de ahorro en abastecimientos urbanos.....	312
9.3.2.2.	Posibilidades de ahorro en regadíos.....	315
9.3.2.3.	Efectos del posible cambio climático.....	318
9.3.3.	Conclusiones.....	320
10.	Cuencas Internas de Cataluña	322
10.1.	<i>Introducción</i>	322
10.2.	<i>Elementos del sistema</i>	322
10.2.1.	Aportaciones.....	323
10.2.2.	Demandas.....	325
10.2.2.1.	Sistema de explotación Norte.....	326
10.2.2.2.	Sistema de explotación Centro.....	328
10.2.2.3.	Sistema de explotación Sur.....	331
10.2.2.4.	Síntesis de demandas actuales.....	333
10.2.2.5.	Previsión de demandas futuras.....	334
10.2.2.5.1.	La evolución del abastecimiento al área de Barcelona.....	334
10.2.2.5.2.	Las previsiones de crecimiento.....	336
10.2.2.5.3.	Estimación de la demanda futura.....	339
10.2.2.5.4.	Reutilización.....	341
10.2.2.5.5.	Síntesis de demandas futuras.....	343
10.2.3.	Caudales mínimos.....	344
10.2.4.	Elementos de regulación superficial.....	345
10.2.5.	Elementos de regulación subterránea y uso conjunto.....	346
10.2.5.1.	Análisis básicos.....	346
10.2.5.2.	Otros análisis disponibles.....	352
10.2.5.3.	Resultados básicos.....	353
10.2.5.4.	El delta del Llobregat.....	354
10.2.6.	Conducciones.....	356
10.2.7.	Esquema general.....	357
10.3.	<i>Análisis y resultados obtenidos</i>	357
10.3.1.	Situación actual.....	358
10.3.2.	Situación futura.....	361

10.3.2.1. Análisis básicos.....	361
10.3.2.2. El supuesto de captación no restringida.....	363
10.3.2.3. Sensibilidad frente a variaciones de la demanda futura. Gestión de la demanda y cambio climático 365	
10.3.2.4. Resultados obtenidos	368
10.4. Conclusiones.....	369
11. Regulación intermedia en el tramo Cherta-Tous.....	371
11.1. Introducción.....	371
11.2. Embalse del río Canaletas.....	372
11.3. Embalse de Vall d'Infern.....	373
11.4. Embalse de Cervera.....	375
11.5. Embalse de Calig.....	376
11.6. Embalse del Barranco de Gorra	378
11.7. Embalse de Alcalá	380
11.8. Embalse de Sichar	382
11.9. Embalse de Villamarchante.....	382
11.10. Embalse de Tous.....	382
11.11. Embalse de Escalona.....	383
11.12. Resumen y conclusiones	384
12. Síntesis de resultados básicos	386
13. Referencias	388

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de déficit ($\text{hm}^3/\text{año}$) en los sistemas de explotación de los Planes Hidrológicos (situación actual)	22
Figura 2. Mapa de déficit ($\text{hm}^3/\text{año}$) en los ámbitos territoriales de los Planes Hidrológicos (situación actual)	23
Figura 3. Mapa de superávit ($\text{hm}^3/\text{año}$) en los sistemas de explotación de los Planes Hidrológicos (situación actual)	23
Figura 4. Mapa de superávit ($\text{hm}^3/\text{año}$) en los ámbitos territoriales de los Planes Hidrológicos (situación actual)	24
Figura 5. Mapa de superávit ($\text{hm}^3/\text{año}$) en los sistemas de explotación considerando las demandas máximas previstas en los Planes Hidrológicos de cuenca para el segundo horizonte	25
Figura 6. Mapa de superávit ($\text{hm}^3/\text{año}$) en los ámbitos territoriales de los Planes Hidrológicos de cuenca considerando las demandas máximas previstas en ellos para el segundo horizonte	25
Figura 7. Mapa de riesgo de escasez en los sistemas de explotación (situación actual)	26
Figura 8. Mapa de riesgo de escasez en los ámbitos territoriales de los Planes Hidrológicos (situación actual)	27
Figura 9. Puntos de incorporación de series de aportaciones de recursos hídricos	30
Figura 10. Mapa de situación de poblaciones y regadíos	32
Figura 11. Obtención del régimen de caudales mínimos según el Convenio con Portugal	40
Figura 12. Identificación de la finalización de los periodos de excepción del régimen de caudales mínimos según el Convenio con Portugal	41
Figura 13 Régimen de caudales mínimos según el Convenio con Portugal y aportación total de cálculo	42
Figura 14 Variación mensual del régimen de caudales mínimos	43
Figura 15. Bombeos medios anuales (hm^3) en las unidades hidrogeológicas de la cuenca del Duero ...	45
Figura 16. Sistema básico de explotación de la cuenca del Duero	46
Figura 17. Series de sobrantes anuales exclusivos (hm^3) en la cuenca del Duero	48
Figura 18. Caudales mínimos entrantes a Portugal supuesta la detracción de todos los sobrantes	48
Figura 19. Sobrantes anuales exclusivos (hm^3) en la cuenca del Duero	50
Figura 20. Percentiles y medias de los caudales sobrantes mensuales exclusivos (hm^3) en la cuenca del Duero	51
Figura 21. Alto Duero. Garantías mensual y volumétrica para demanda continua en 8 meses	52
Figura 22. Alto Duero. Déficit anuales acumulados para demanda continua en 8 meses, y excedentes derivables según capacidad de toma	53
Figura 23. Alto Duero. Serie anual y cuantiles mensuales de los sobrantes derivables	55
Figura 24. Bajo Duero. Garantías mensual y volumétrica para demanda continua en 8 meses	56
Figura 25. Bajo Duero. Déficit anuales acumulados para demanda continua en 8 meses, y sobrantes derivables según capacidad de toma	57
Figura 26. Bajo Duero. Serie anual y cuantiles mensuales de los sobrantes derivables	58
Figura 27. Caudales mínimos entrantes a Portugal supuesta la detracción de cálculo en Villalcampo	59
Figura 28. Sistema básico de explotación considerando embalses futuros	61
Figura 29. Detalles del esquema funcional en cabecera	61
Figura 30. Circulación de caudales anuales (hm^3) en el tramo internacional del Duero bajo supuestos de cambio climático	63
Figura 31. Puntos básicos de evaluación de recursos hídricos	66
Figura 32. Mapa de situación de poblaciones y regadíos	68
Figura 33. Obtención de las precipitaciones de referencia parcial (octubre-abril) y total anual según el Convenio con Portugal	74
Figura 34. Obtención del régimen de caudales mínimos según el Convenio de Albufeira	75
Figura 35. Identificación de la finalización de los periodos de excepción del régimen de caudales mínimos según el Convenio con Portugal	76

Figura 36 Régimen de caudales mínimos según el Convenio de Albufeira y aportación total de cálculo	77
Figura 37 Variación mensual del régimen de caudales mínimos.....	78
Figura 38. Sistema básico de explotación de la cuenca del Tajo.....	80
Figura 39. Sobrantes anuales exclusivos (hm ³) en la cuenca del Tajo.....	82
Figura 40. Caudales mínimos entrantes a Portugal supuesta la detracción de todos los sobrantes.....	83
Figura 41. Sobrantes anuales exclusivos (hm ³) en la cuenca del Tajo.....	84
Figura 42. Percentiles y medias de los caudales sobrantes mensuales exclusivos (hm ³) en la cuenca del Tajo	85
Figura 43. Sobrantes anuales simultáneos (hm ³) en la cuenca del Tajo.....	86
Figura 44. Diferencias de sobrantes anuales (exclusivos-simultáneos) (hm ³) en la cuenca del Tajo.....	87
Figura 45. Percentiles y medias de los caudales sobrantes mensuales simultáneos (hm ³) en la cuenca del Tajo	88
Figura 46. Jarama. Garantías mensual y volumétrica para demanda continua en 8 meses	89
Figura 47. Jarama. Déficit anuales acumulados para demanda continua en 8 meses, y sobrantes derivables según capacidad de toma	90
Figura 48. Jarama. Series anuales y cuantiles mensuales de los sobrantes derivables	92
Figura 49. Toledo. Garantías mensual y volumétrica para demanda continua en 8 meses.....	93
Figura 50. Toledo. Déficit anuales acumulados para demanda continua en 8 meses, y sobrantes derivables según capacidad de toma	94
Figura 51. Toledo. Serie anual y cuantiles mensuales de los sobrantes derivables.....	95
Figura 52. Azután. Garantías mensual y volumétrica para demanda continua en 8 meses.....	96
Figura 53. Azután. Déficit anuales acumulados para demanda continua en 8 meses, y sobrantes derivables según capacidad de toma	97
Figura 54. Azután. Serie anual y cuantiles mensuales de los sobrantes derivables.....	98
Figura 55. Tiétar. Garantías mensual y volumétrica para demanda continua en 8 meses.....	99
Figura 56. Tiétar. Déficit anuales acumulados para demanda continua en 8 meses, y sobrantes derivables según capacidad de toma	100
Figura 57. Tiétar. Serie anual y cuantiles mensuales de los sobrantes derivables.....	101
Figura 58. Series suma de sobrantes simultáneos en el Tajo bajo supuestos de cambio climático	102
Figura 59. Aportaciones anuales del río Ebro en Tortosa (estación E-27).....	108
Figura 60. Esquema de la cuenca del Ebro con los principales ríos y estaciones de aforo.....	108
Figura 61. Aportaciones del río Ebro en Zaragoza (estación E-11) y Tortosa (estación E-27)	109
Figura 62. Series de aportaciones anuales del Ebro en Zaragoza (estación E-11) y en Castejón (estación E-02)	110
Figura 63. Estimación de las aportaciones del río Segre	111
Figura 64. Mapa de estaciones de aforo en las proximidades de la desembocadura del Ebro	112
Figura 65. Cronograma de las principales estaciones de aforo con periodos con datos	113
Figura 66. Aportaciones del río Ebro en Tortosa completadas para el periodo 1940/41 - 1997/98.....	114
Figura 67. Evolución de la capacidad de embalses y de las reservas en la cuenca del Ebro	115
Figura 68. Series de aportaciones en régimen natural (periodo 1940-95) según el PHE y PHN.....	116
Figura 69. Series de consumos netos según estimaciones PHE y PHN.....	117
Figura 70. Series de tendencias de los consumos netos	118
Figura 71. Evolución de la superficie regada en la cuenca del Ebro según distintas fuentes.....	119
Figura 72. Evolución de los consumos de agua y de la superficie regada en la cuenca del Ebro.....	121
Figura 73. Series de aportaciones en régimen natural y precipitaciones medias areales en la cuenca del Ebro (periodo 1940/41-1995/96).....	123
Figura 74. Evolución temporal de los estadísticos de significación de la regresión temporal.....	123
Figura 75. Test de salto <i>t</i> y de tendencias de Mann-Kendall.....	124
Figura 76. Test de tendencias de Hirsch-Mann-Kendall alluvias y aportaciones anuales y lluvias mensuales.....	125
Figura 77. Series largas de precipitaciones en la cuenca del Ebro	126
Figura 78. Evolución temporal de estadísticos de tendencias para las series largas de lluvias anuales.....	127
Figura 79. Test de tendencias de Hirsch-Mann-Kendall a las series largas de lluvias anuales.....	128
Figura 80. Puntos básicos de evaluación de recursos.....	130
Figura 81. Evolución histórica y prevista de la superficie de riego en la cuenca del Ebro.....	132

Figura 82. Mapa de situación de poblaciones y regadíos	133
Figura 83. Sistema básico de explotación de la cuenca del Ebro	142
Figura 84. Volúmenes anuales estimados circulantes futuros en el tramo final del Ebro.....	143
Figura 85. Volúmenes mensuales estimados circulantes futuros en el tramo final del Ebro	143
Figura 86. Series de sobrantes anuales.....	144
Figura 87. Circulación de caudales anuales (hm ³) en el tramo final del Ebro.....	145
Figura 88. Evolución de volúmenes circulantes en el tramo final.....	146
Figura 89. Percentiles y medias de los caudales mensuales (hm ³) en el tramo final del Ebro.....	147
Figura 90. Garantías mensual y volumétrica para demanda continua en 8 meses	148
Figura 91. Déficit anuales acumulados para demanda continua en 8 meses.....	149
Figura 92. Sobrantes medios anuales derivables según la capacidad de toma y el almacenamiento disponible.....	153
Figura 93. Serie anual y cuantiles mensuales de los sobrantes derivables	154
Figura 94. Circulación de caudales anuales (hm ³) en el tramo final del Ebro bajo supuestos de cambio climático	155
Figura 95. Circulación de caudales anuales (hm ³) en el tramo final del Ebro bajo el supuesto de no nuevas presas	156
Figura 96. Sobrantes anuales futuros en Talarn	157
Figura 97. Sobrantes mensuales futuros en Talarn.....	157
Figura 98. Percentiles y media de los sobrantes mensuales (hm ³) en Talarn	158
Figura 99. Garantías mensual y volumétrica para demanda continua en 8 meses.....	159
Figura 100. Déficit anuales acumulados para demanda continua en 8 meses.....	160
Figura 101. Sobrantes medios anuales derivables según la capacidad de toma y el almacenamiento disponible.....	162
Figura 102. Serie anual y cuantiles mensuales de los sobrantes derivables	163
Figura 103. Principales cursos fluviales y humedales de la cabecera del Guadiana.....	168
Figura 104. Principales unidades hidrogeológicas en la cabecera del Guadiana	169
Figura 105. Hidrogramas observados y simulados en puntos seleccionados de la cuenca (periodo 1940/41-1970/71)	171
Figura 106. Escorrentía media anual simulada en régimen natural (periodo 1940/41-1996/97).....	172
Figura 107. Aportación total y subterránea en régimen natural en el embalse del Vicario durante el periodo 1940/41-1996/97.....	173
Figura 108. Mapa de situación de poblaciones y regadíos	174
Figura 109. Superficies regadas y origen del agua en la cabecera del Guadiana	175
Figura 110. Evolución de superficies regadas en el acuífero Mancha Occidental.....	176
Figura 111. Distribución porcentual de la superficie ocupada por los diferentes cultivos en la Mancha Occidental	176
Figura 112. Evolución de la demanda bruta anual (hm ³ /año) en el acuífero de la Mancha Occidental.....	178
Figura 113. Evolución de niveles piezométricos	181
Figura 114. Evolución de la demanda de agua por unidad de superficie cultivada	183
Figura 115. Evolución de las extracciones y recargas al acuífero	184
Figura 116. Evolución anual de la detracción acumulada sobre el acuífero y nivel representativo.....	185
Figura 117. Evolución estacional de la detracción acumulada sobre el acuífero y variación de nivel en punto representativo del acuífero.....	185
Figura 118. Puntos de incorporación de series de aportaciones.....	189
Figura 119. Aportaciones naturales anuales en desembocadura del Guadalquivir.....	191
Figura 120. Principales poblaciones y zonas de riego en el ámbito del Plan Hidrológico del Guadalquivir	192
Figura 121. Previsiones de evolución de población, demanda urbana y dotación en la cuenca del Guadalquivir	193
Figura 122. Evolución del volumen suministrado por EMASESA y proyecciones de demanda en el sistema Sevilla (hm ³)	195
Figura 123. Evolución de la superficie regada en la cuenca del Guadalquivir	198
Figura 124. Evolución de los consumos y demandas de riego en la cuenca del Guadalquivir.....	198
Figura 125. Evolución de la superficie de riego dedicada a cada cultivo en la cuenca del Guadalquivir	199

Figura 126. Capacidad de almacenamiento mensual en el sistema.....	203
Figura 127. Selección de unidades hidrogeológicas en la cuenca del Guadalquivir.....	205
Figura 128. Recargas y bombeos en las unidades hidrogeológicas estudiadas de la cuenca del Guadalquivir	206
Figura 129. Diferencia entre recargas más transferencias y bombeos (en hm ³ /año) en las unidades hidrogeológicas estudiadas de la cuenca del Guadalquivir.....	207
Figura 130. Acuíferos con potencialidad de incorporar en esquemas de uso conjunto en la cuenca del Guadalquivir	208
Figura 131. Sistema básico de explotación de la cuenca del Guadalquivir en la situación actual.....	210
Figura 132. Volúmenes de socorro y tomas de emergencia para las unidades de demanda urbana e industrial en la situación de referencia	211
Figura 133. Volúmenes de socorro y tomas de emergencia para abastecimiento urbano e industrial y regadíos en la situación de referencia	212
Figura 134. Volúmenes de socorro y tomas de emergencia para abastecimiento urbano e industrial y regadíos en la situación de mejora y modernización de regadíos.....	215
Figura 135. Sistema básico de explotación de la cuenca del Guadalquivir en situación futura con algunas de las actuaciones previstas en el Plan de cuenca.....	217
Figura 136. Volúmenes de socorro y tomas de emergencia para las unidades de demanda urbana e industrial en la situación de nuevas infraestructuras.....	218
Figura 137. Volúmenes de socorro y tomas de emergencia para abastecimiento urbano e industrial y regadíos en la situación de nuevas infraestructuras.....	219
Figura 138. Volúmenes anuales tomados por el sistema en la situación de referencia y no limitación en aporte externo	222
Figura 139. Volúmenes de socorro y tomas de emergencia para las unidades de demanda urbana e industrial en la situación de mejora de regadíos y nuevas infraestructuras.....	224
Figura 140. Volúmenes de socorro y tomas de emergencia para abastecimiento urbano e industrial y regadíos en la situación de mejora de regadíos y nuevas infraestructuras.....	225
Figura 141. Volúmenes anuales tomados por el sistema en la situación de mejora de regadíos y nuevas infraestructuras y no limitación en aporte externo	225
Figura 142. Puntos básicos de evaluación de recursos hídricos	228
Figura 143. Mapa de situación de poblaciones y regadíos.....	230
Figura 144. Evolución de las superficies de regadío.....	232
Figura 145. Cuencas vertientes a los embalses de Cenajo y Camarillas.....	244
Figura 146. Selección de unidades hidrogeológicas en las cuencas del Segura y Almería.....	245
Figura 147. Recargas y bombeos en las unidades hidrogeológicas estudiadas de la cuenca del Segura y Almería.....	247
Figura 148. Diferencia entre recargas más transferencias y bombeos en las unidades hidrogeológicas estudiadas de la cuenca del Segura y de Almería.....	248
Figura 149. Evolución de niveles piezométricos medios en algunos acuíferos de la cuenca	251
Figura 150. Sistema básico de explotación de la cuenca del Segura-Almería	253
Figura 151. Circulación en las conducciones del Canal Principal M.D. (hm ³ /mes)	255
Figura 152. Serie de existencias mensuales embalsadas en Algeciras (hm ³).....	255
Figura 153. Régimen medio de Algeciras y circulación a Almería (hm ³ /mes).....	256
Figura 154. Indicadores de comportamiento según el volumen de aportación externa	262
Figura 155. Indicadores de comportamiento según el volumen de aportación externa	263
Figura 156. Volúmenes anuales tomados por el sistema en situación de no limitación.....	264
Figura 157. Evolución de las pérdidas en las redes de abastecimiento urbano en alta de la MCT, y en baja, de la ciudad de Murcia.....	267
Figura 158. Indicadores de comportamiento según ahorros en los abastecimientos urbanos	268
Figura 159. Evolución de regadíos localizados e invernaderos.....	271
Figura 160. Indicadores de comportamiento según ahorros en los regadíos.....	272
Figura 161. Sensibilidad del sistema frente a efectos de cambio climático.....	274
Figura 162. Esquema básico de la cuenca del Segura-Almería para optimización global de las transferencias.....	277
Figura 163. Puntos básicos de evaluación de recursos hídricos	280
Figura 164. Mapa de situación de poblaciones y regadíos.....	282

Figura 165. Cuencas vertientes a los principales embales de la cuenca del Júcar	290
Figura 166. Selección de unidades hidrogeológicas en la cuenca del Júcar.....	291
Figura 167. Recargas y bombeos en las unidades hidrogeológicas estudiadas de la cuenca del Júcar	293
Figura 168. Diferencia entre recargas más transferencias y bombeos (en hm ³ /año) en las unidades hidrogeológicas estudiadas de la cuenca del Júcar	294
Figura 169. Diferencia entre recargas más transferencias y volúmenes de aprovechamiento (en hm ³ /año) en las unidades hidrogeológicas de la cuenca del Júcar en la que está información está disponible	295
Figura 170. Mapa de situación de acuíferos donde se realiza uso conjunto en la cuenca del Júcar	297
Figura 171. Acuíferos con potencialidad de incorporar en esquemas de uso conjunto en la cuenca del Júcar	298
Figura 172. Sistema básico de explotación de la cuenca del Júcar	301
Figura 173. Indicadores de comportamiento según el volumen de aportación externa	306
Figura 174. Indicadores de comportamiento según demanda C-M.	307
Figura 175. Indicadores de comportamiento para los subsistemas aislados con entradas desde el Ebro	309
Figura 176. Indicadores de comportamiento para el subsistema Júcar con entradas exclusivas desde el ATS.....	310
Figura 177. Volúmenes anuales tomados por el sistema en situación de no limitación.....	311
Figura 178. Indicadores de comportamiento según ahorros en los abastecimientos urbanos	314
Figura 179. Indicadores de comportamiento según ahorros en los regadíos.....	317
Figura 180. Sensibilidad del sistema frente a efectos de cambio climático.....	319
Figura 181. Puntos de entrega de aportes externos y esquema de circulación general en el ámbito del Júcar	321
Figura 182. Puntos básicos de evaluación de recursos.....	323
Figura 183. Series de aportaciones anuales en puntos básicos	324
Figura 184. Mapa de situación de poblaciones y regadíos.....	326
Figura 185. Series anuales y mensuales de volúmenes servidos por el Consorcio de Tarragona y tarifas aplicadas.....	332
Figura 186. Evolución de las demandas de abastecimiento del área de Barcelona.....	335
Figura 187. Distintas previsiones de evolución de la demanda urbana.....	336
Figura 188. Evolución observada y prevista de la población en el ámbito CIC y el entorno de Barcelona	337
Figura 189. Evolución de demandas de la red regional.....	340
Figura 190. Cuencas vertientes a los embalses de La Baells y Sau.....	347
Figura 191. Selección de unidades hidrogeológicas en las Cuencas Internas de Cataluña.....	348
Figura 192. Recargas y bombeos en las unidades hidrogeológicas consideradas de las Cuencas Internas de Cataluña	350
Figura 193. Diferencia entre recargas más transferencias y bombeos (en hm ³ /año) en las unidades hidrogeológicas consideradas de las Cuencas Internas de Cataluña.....	351
Figura 194. Evolución de extracciones anuales del acuífero del delta del Llobregat.....	354
Figura 195. Evolución del balance de agua (hm ³ /año) en el acuífero del delta del Llobregat.....	355
Figura 196. Sistema básico de explotación de las Cuencas Internas de Cataluña	357
Figura 197. Aportaciones anuales aforadas y simuladas en el Llobregat (hm ³ /año)	358
Figura 198. Aportaciones anuales aforadas y simuladas en el Ter (hm ³ /año)	359
Figura 199. Existencias embalsadas (hm ³).....	360
Figura 200. Indicadores de comportamiento según el volumen de aportación externa (régimen continuo a 12 meses)	362
Figura 201. Indicadores de comportamiento según el volumen de aportación externa (régimen a 8 meses)	363
Figura 202. Volúmenes anuales tomados por el sistema en situación de no limitación.....	364
Figura 203. Histogramas de frecuencias de los volúmenes anuales tomados por el sistema en situación de no limitación.....	364
Figura 204. Histogramas de frecuencias de los volúmenes anuales tomados por el sistema en situación de no limitación.....	365
Figura 205. Indicadores de comportamiento según el incremento de demanda futura	366
Figura 206. Indicadores de comportamiento según reducción de aportaciones por cambios climáticos	368

Figura 207. Esquema conceptual básico agregado del ámbito de las Cuencas Internas de Cataluña ..	370
Figura 208. Plano de situación de los embalses analizados.....	372

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Aportaciones hídricas consideradas en el sistema.....	31
Tabla 2. Demanda futura urbana e industrial prevista en el Plan de cuenca.....	33
Tabla 3. Unidades de demanda agraria de la cuenca del Duero.....	36
Tabla 4. Síntesis global de demandas consuntivas en el ámbito del Plan Hidrológico del Duero	38
Tabla 5. Caudales mínimos.....	38
Tabla 6. Embalses de regulación considerados	44
Tabla 7. Conducciones consideradas	45
Tabla 8. Estimación de excedentes exclusivos en los puntos de toma.....	47
Tabla 9. Características de los posibles embalses futuros.....	60
Tabla 10. Estimación de excedentes exclusivos en los puntos de toma con embalses futuros.....	62
Tabla 11. Resultados básicos del análisis de excedentes en distintos puntos de toma	64
Tabla 12. Aportaciones hídricas consideradas en el sistema.....	67
Tabla 13. Unidades de demanda urbana.....	69
Tabla 14. Unidades de demanda agraria de la cuenca del Tajo	71
Tabla 15. Unidades de demanda de refrigeración de la cuenca del Tajo.....	71
Tabla 16. Síntesis global de demandas en el ámbito del Plan Hidrológico del Tajo	73
Tabla 17. Caudales mínimos.....	73
Tabla 18. Volúmenes máximos mensuales en los embalses considerados	79
Tabla 19. Conducciones consideradas	80
Tabla 20. Estimación de sobrantes exclusivos (hm ³ /año) en distintos puntos de toma.....	81
Tabla 21. Número de años en que los sobrantes son inferiores a un umbral.....	85
Tabla 22. Resultados básicos del análisis de sobrantes en distintos puntos de toma.....	103
Tabla 23. Resultados de los test de estacionariedad de aportaciones y precipitaciones.....	125
Tabla 24. Resultados de los test de estacionariedad de las series largas de lluvia	128
Tabla 25. Aportaciones hídricas consideradas en el sistema.....	131
Tabla 26. Unidades de demanda urbana e industrial	133
Tabla 27. Agregación de zonas de riego del Plan de cuenca en unidades de demanda agraria del modelo.....	135
Tabla 28. Distribución en unidades del incremento de demanda de riego hasta el segundo horizonte.....	136
Tabla 29. Demandas de refrigeración	136
Tabla 30. Transferencias actuales realizadas desde la cuenca del Ebro	137
Tabla 31. Síntesis global de demandas consuntivas en el ámbito del Plan Hidrológico del Ebro.....	138
Tabla 32. Caudales mínimos.....	139
Tabla 33. Embalses actuales y en ejecución considerados en el esquema.....	140
Tabla 34. Resguardos en embalses.....	140
Tabla 35. Embalses futuros considerados en el esquema	141
Tabla 36 . Conducciones consideradas	141
Tabla 37. Distribución de sistemas de riego empleados en cada cultivo	177
Tabla 38. Eficiencia de los sistemas de riego.....	177
Tabla 39. Demandas del regadío en el acuífero de la Mancha Occidental	178
Tabla 40. Aportaciones hídricas consideradas en el sistema.....	190
Tabla 41. Demanda futura urbana e industrial prevista en el Plan de cuenca.....	193
Tabla 42. Previsión de demanda en el abastecimiento a Sevilla según EMASESA.....	194
Tabla 43. Unidades de demanda agraria atendidas con recursos superficiales	196
Tabla 44. Demandas de riego atendidas con recursos subterráneos en cada Sistema de Explotación.....	197
Tabla 45. Cambios en los consumos para riego en el Guadalquivir	200
Tabla 46. Síntesis global de demandas consuntivas consideradas.....	201
Tabla 47. Caudales mínimos.....	202
Tabla 48. Embalses de regulación considerados	203
Tabla 49. Principales embalses futuros catalogados en el Plan Hidrológico del Guadalquivir	204

Tabla 50. Incremento en la explotación de las aguas subterráneas en los acuíferos localizados aguas abajo de los embalses	206
Tabla 51. Impacto de las sequías en los regadíos con agua superficial del Guadalquivir	212
Tabla 52. Suministro de agua a zonas regables del Guadalquivir	213
Tabla 53. Posibilidades de ahorro en zonas de riego del Guadalquivir según diversas fuentes	213
Tabla 54. Ahorros brutos de cálculo en las zonas regables objeto de mejora.....	214
Tabla 55. Demanda resultante en las Unidades de Demanda Agraria (UDA) una vez considerado el ahorro bruto de cálculo.....	214
Tabla 56. Embalses de regulación futuros considerados en el esquema.....	216
Tabla 57. Número de fallos ordinarios del sistema	220
Tabla 58. Salidas del sistema al mar (hm ³ /año).....	220
Tabla 59. Volúmen máximo anual de socorro (hm ³ /año)	221
Tabla 60. Volúmen medio anual de socorro (hm ³ /año)	221
Tabla 61. Aportaciones hídricas consideradas en el sistema.....	229
Tabla 62. Unidades básicas y agregadas de demanda urbana	231
Tabla 63. Unidades de demanda agraria de la cuenca del Segura.....	234
Tabla 64. Aplicaciones y balances de recursos de las unidades de demanda agraria	235
Tabla 65. Coeficientes de agregación de las demandas agrarias.....	238
Tabla 66. Unidades agrarias agregadas consideradas en el modelo	238
Tabla 67. Síntesis global de demandas consuntivas consideradas en el sistema.....	239
Tabla 68. Distribución estacional de las demandas	240
Tabla 69. Caudales mínimos.....	241
Tabla 70. Embalses considerados.....	242
Tabla 71. Porcentajes de regulación en las cuencas vertientes a dos de los principales embalses de la cuenca del Segura	244
Tabla 72. Incrementos máximos en la explotación de las aguas subterráneas.....	246
Tabla 73 . Conducciones consideradas	252
Tabla 74. Fallos del sistema en situación actual	254
Tabla 75. Fallos del sistema con CPMD recrecido	256
Tabla 76. Salidas del sistema al mar con CPMD recrecido.....	257
Tabla 77. Fallos del sistema con Talave-Cenajo-CAMD	258
Tabla 78. Salidas del sistema al mar, con Talave-Cenajo-CPMD	258
Tabla 79. Fallos del sistema con circulación costera	259
Tabla 80. Salidas del sistema al mar con circulación costera.....	259
Tabla 81. Diferencias de fallos del sistema (C8-C12) con circulación costera.....	260
Tabla 82. Diferencias de fallos del sistema (C8-C12) con circulación interior.....	261
Tabla 83. Evolución reciente de la dotación de abastecimientos y volúmenes no registrados medios en España	265
Tabla 84 . Demandas virtuales globales agregadas según opción de transporte	278
Tabla 85. Aportaciones hídricas consideradas en el sistema.....	281
Tabla 86. Síntesis global de demandas consuntivas en el ámbito del Plan Hidrológico del Júcar	285
Tabla 87. Reutilización actual y prevista (hm ³ /año)	286
Tabla 88. Caudales mínimos.....	287
Tabla 89. Embalses de regulación.....	288
Tabla 90. Porcentajes de regulación en las cuencas vertientes a los principales embalses de la cuenca del Júcar.....	290
Tabla 91. Incremento en la explotación de las aguas subterráneas. Elaboración propia a partir de información contenida en el Plan de cuenca.....	292
Tabla 92 . Conducciones consideradas	300
Tabla 93. Número de fallos ordinarios del sistema según aportes externos	302
Tabla 94. Salidas del sistema, según aportes externos	302
Tabla 95. Número de fallos ordinarios del sistema según aportes externos. Transferencia 8 meses.....	304
Tabla 96. Salidas totales del sistema, según aportes externos. Transferencia 8 meses	304
Tabla 97. Número de fallos ordinarios del sistema según aportes externos. Situación no restringida.....	305
Tabla 98. Número de fallos absolutos del sistema según aportes externos. Situación no restringida	305

Tabla 99. Evolución reciente de la dotación de abastecimientos y volúmenes no registrados medios en España	312
Tabla 100 . Demandas agregadas	321
Tabla 101. Aportaciones hídricas consideradas en el sistema.....	324
Tabla 102. Síntesis de demandas actuales consideradas.....	333
Tabla 103. Distribución estacional del incremento de demandas de Barcelona y su entorno.....	341
Tabla 104. Síntesis de demandas futuras consideradas	343
Tabla 105. Caudales mínimos.....	345
Tabla 106. Embalses de regulación considerados	345
Tabla 107. Porcentajes de regulación en las cuencas vertientes a La Baells y Sau.....	347
Tabla 108. Incremento en la explotación de las aguas subterráneas.....	349
Tabla 109 . Conducciones consideradas	356
Tabla 110. Capacidad del embalse de Vall d'infern	373
Tabla 111. Capacidad del embalse de Cervera.....	375
Tabla 112. Capacidad del embalse de Calig.....	377
Tabla 113. Capacidad del embalse de Gorra.....	378
Tabla 114. Capacidad del embalse de Alcalá.....	381
Tabla 115. Características básicas de los embalses analizados	384
Tabla 116. Características de los orígenes identificados	386
Tabla 117. Características de las demandas identificadas	387
Tabla 118. Demandas agregadas por cuencas de destino.....	387

1. INTRODUCCIÓN. CRITERIOS BÁSICOS

En este documento se procede al estudio de los sistemas hidráulicos afectados por las posibles transferencias objeto de este Plan Hidrológico Nacional.

Para ello, se comenzará por una introducción recordatoria de los resultados básicos mostrados en el Libro Blanco del Agua en España (MIMAM, 1998), en el que, con un carácter aproximado y cartográfico, se realizó una primera identificación de las áreas más significativas que debían ser objeto de posteriores análisis detallados en el Plan Hidrológico Nacional.

Tras ello, se exponen tales análisis detallados para todas las cuencas afectadas, resumiéndose los principales resultados obtenidos. Se dedica asimismo un apartado al estudio de posibilidades de algunas regulaciones intermedias, cuestión relacionada con el estudio de los sistemas aunque, como se verá, no imprescindible para la funcionalidad de las posibles transferencias.

Ha de recordarse que estos análisis se refieren exclusivamente a la viabilidad hidrológica de las transferencias, en el sentido de determinar necesidades estrictas en las cuencas receptoras, máximos trasvasables en las cedentes, y condiciones técnicas del proceso. Ello constituye un dato básico del problema pero no lo agota en modo alguno, pues otras consideraciones, como las económicas o las medioambientales, han de ser debidamente valoradas y consideradas, conjuntamente con las hidrológicas, para la ponderación y la decisión final. A tales análisis económicos y medioambientales se dedican otros documentos de este Plan Hidrológico.

Entre las hipótesis hidrológicas básicas para el análisis de los sistemas, y tal y como se expuso en el Libro Blanco, se asume que no se realizará ninguna transferencia de volúmenes destinados al incremento de regadíos en las cuencas receptoras. Sí se admite, por contra, la atención de los incrementos de los abastecimientos, y la posible adscripción de recursos a aspectos medioambientales. Desde el punto de vista de los regadíos, y en relación con el medio ambiente, las transferencias de recursos se destinarán exclusivamente a eliminar la actual sobreexplotación de acuíferos, y a paliar la infradotación y falta de garantía de los regadíos con suministros precarios.

Un principio básico para las posibles transferencias desde las cuencas cedentes es el de la obligada acreditación de caudales suficientes en origen a largo plazo, tras el desarrollo máximo previsto en el futuro por la planificación hidrológica de la cuenca, y la satisfacción previa de sus restricciones medioambientales. Del mismo modo, un principio básico para las posibles transferencias desde las cuencas receptoras es el de la obligada acreditación de necesidades estructurales actuales en estas zonas, tras el desarrollo de medidas internas para el mayor aprovechamiento de sus recursos propios convencionales y no convencionales (agotamiento de las posibilidades de regulación de recursos propios de la cuenca, reutilización, uso conjunto, ahorros en las redes de suministro urbano, y mejora y modernización de los regadíos existentes).

Por otra parte, y aunque sea cuestión ya reiterada, es oportuno recordar que los conceptos de déficit y excedente de una cuenca no son sino una convención de lenguaje y, como tal, requiere ser explicitada.

Así, no cabe hablar con propiedad de déficit de agua en un territorio si no es en términos del uso que se haga del recurso. En términos absolutos, en un desierto no hay agua pero tampoco hay déficit de la misma, pues es su natural condición y, precisamente, lo que lo caracteriza. Por el contrario, en una cuenca muy húmeda no cabría tampoco hablar de superávit, ya que el régimen de abundancia hídrica está en la base de los ecosistemas fluviales y los paisajes de esta cuenca.

No obstante, este concepto extremo, sin matizaciones, es de una errada simpleza, pues es obvio que existe un cierto nivel de utilización de los recursos naturales que se considera necesario, e incluso deseable: es imposible vivir sin utilizar absolutamente nada las aguas de los ríos (como si no hubiese ningún *excedente* que pudiera emplearse), y también es imposible vivir utilizándolas completamente (como si nunca hubiese *déficit* y pudiesen agotarse todos los recursos naturales). Existe, obviamente, un punto intermedio de desarrollo, que es el deseable, y que requiere una definición formal mediante el análisis del sistema de usos y los conceptos de caudales ambientales y buen estado ecológico. Ello ha de ser especificado, y una vez hecho esto, solo lo que quede puede considerarse, a efectos jurídicos y operacionales, un excedente.

Nótese, además, que este punto intermedio es, en buena medida, el resultado de una convención. Su ubicación relativa entre ambos extremos de nulo aprovechamiento y aprovechamiento exhaustivo es una decisión social mudable con el tiempo, con el desarrollo socioeconómico, y con la percepción cultural de los recursos naturales.

En este documento emplearemos convencionalmente los conceptos de déficit y excedente en este sentido jurídico y operacional, sin que ello prejuzgue la decisión social sobre el grado de desarrollo de los recursos hídricos, por otra parte ya explicitada –con mayor o menor acierto– mediante los instrumentos formales y participativos de la planificación hidrológica.

Por otra parte, cabe indicar que los documentos ofrecidos se han redactado de forma concisa y sintética, procurando eludir todo detalle accesorio al hilo del razonamiento desarrollado. El resultado final puede resultar denso pero se ha optado por esta densidad frente a exposiciones más prolijas, extensas y desvaídas.

Así, y en aras a esta concentración, se ha procurado presentar lo esencial en la forma de gráficos y tablas resumen, no incluyendo listados exhaustivos de ordenador, apéndices numéricos, tablas de resultados intermedios, etc., pese a que los análisis numéricos realizados son computacionalmente muy intensivos.

Por último, debe señalarse que el campo de investigación que se ha indagado está abierto, y la propuesta formulada en este Plan Hidrológico no excluye, en modo alguno, la posibilidad futura de investigar otros criterios y métodos o perfeccionar los que se ofrecen. Nos parece, no obstante, poco probable que se consigan mejoras sustanciales, ya que, como se señaló con motivo de otros estudios anteriores (MIMAM, 1997), la verdadera dificultad no está en la formulación de mecanismos matemáticos que modelen los sistemas de explotación y alcancen y cuantifiquen los objetivos prescritos, sino en la propia especificación formal de estos objetivos, siempre inciertos y tensionados por el sutil equilibrio entre seguridad y eficiencia de los sistemas hidráulicos, clave última de nuestra reflexión sobre estos sistemas.

2. ANÁLISIS PREVIOS. IDENTIFICACIÓN DE CUENCAS

El avance más reciente en materia de análisis sobre posibles transferencias hídricas lo constituyen los estudios realizados con motivo de la elaboración del Libro Blanco del Agua en España, cuya primera versión sometida a debate público fue dada a conocer por el Ministerio de Medio Ambiente en diciembre de 1998. En él no se prevé la ejecución de trasvase alguno, sino que se realiza un balance hídrico entre recursos potenciales y demandas (actuales y futuras) en todo el territorio nacional, estableciendo a nivel de cada sistema de explotación y después de cada ámbito de planificación su carácter deficitario o excedentario conforme a una definición de balance convencional. Tal balance se ha efectuado empleando un procedimiento novedoso y homogéneo en todo el territorio nacional, del que seguidamente se reseña el método, los resultados y las conclusiones fundamentales, antecedentes inmediatos de los análisis desarrollados en este Plan Hidrológico.

Los recursos que se han considerado en el balance son los denominados potenciales, que resultan de reducir los naturales totales en un 20%, que es la reserva destinada tanto a requerimientos ambientales previos como a cubrir las incertidumbres en la estimación de los recursos. En cuanto a las demandas, sólo se ha considerado la fracción consuntiva, es decir, la cantidad resultante después de restar a la demanda bruta los retornos.

Con el procedimiento de cálculo seguido se obtiene una cota máxima absoluta del posible aprovechamiento de los recursos actuales en los sistemas deficitarios. Se ha supuesto en cada sistema que todo el recurso potencial es utilizable, como si se dispusiera de absolutamente todas las infraestructuras necesarias y de óptimas condiciones de calidad, añadiendo además los recursos procedentes de desalación de agua del mar, las transferencias actuales realizadas desde otros sistemas, y el máximo grado de reutilización directa e indirecta de los recursos, incluyendo la utilización de todas las aguas subterráneas salobres renovables existentes así como las reducciones de consumo derivadas del ahorro.

Debido a estas hipótesis, los territorios que resultan deficitarios lo son inevitablemente, aún en el supuesto teórico extremo considerado de aprovechamiento exhaustivo, ahorro, regulación absoluta de todos los recursos existentes y optimización de la gestión del sistema. Es decir, se trata de territorios que únicamente pueden ver resueltos sus problemas actuales de insuficiencia mediante transferencias procedentes de otros ámbitos de planificación.

La calificación de excedentario –existencia de superávit en el balance- significa que los recursos son globalmente superiores a las demandas actuales, lo cual no excluye que puntualmente, en alguna zona del ámbito territorial considerado puedan producirse problemas de suministro, incluso muy graves. Ello es debido a que, como ya se ha indicado, se ha supuesto que es factible la utilización plena de los recursos existentes, lo cual puede no ser posible en la situación actual, por no ser viable o no disponerse de la infraestructura necesaria.

El primer balance efectuado corresponde, por tanto, a las demandas actuales y permite identificar aquellos sistemas que en situación actual son incapaces de atender con sus propios recursos, en el supuesto de máxima utilización posible, sus necesidades

presentes. Igualmente permite detectar aquellos sistemas y ámbitos de planificación que son excedentarios en la situación actual.

El resultado de los cálculos anteriores se refleja en las figuras siguientes. En las dos primeras, se recogen los déficit en situación actual (primero por sistemas de explotación dentro de cada ámbito de planificación y después integrados a nivel de dicho ámbito), y en las dos siguientes se recogen los superávits con el mismo esquema.

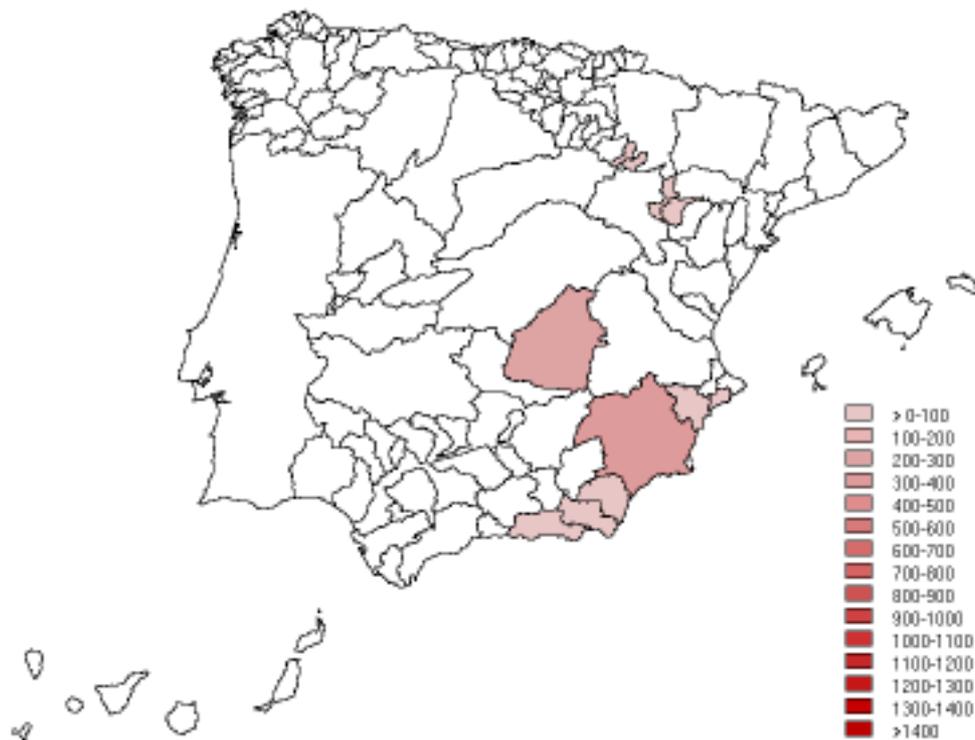


Figura 1. Mapa de déficit ($\text{hm}^3/\text{año}$) en los sistemas de explotación de los Planes Hidrológicos (situación actual)



Figura 2. Mapa de déficit (hm³/año) en los ámbitos territoriales de los Planes Hidrológicos (situación actual)

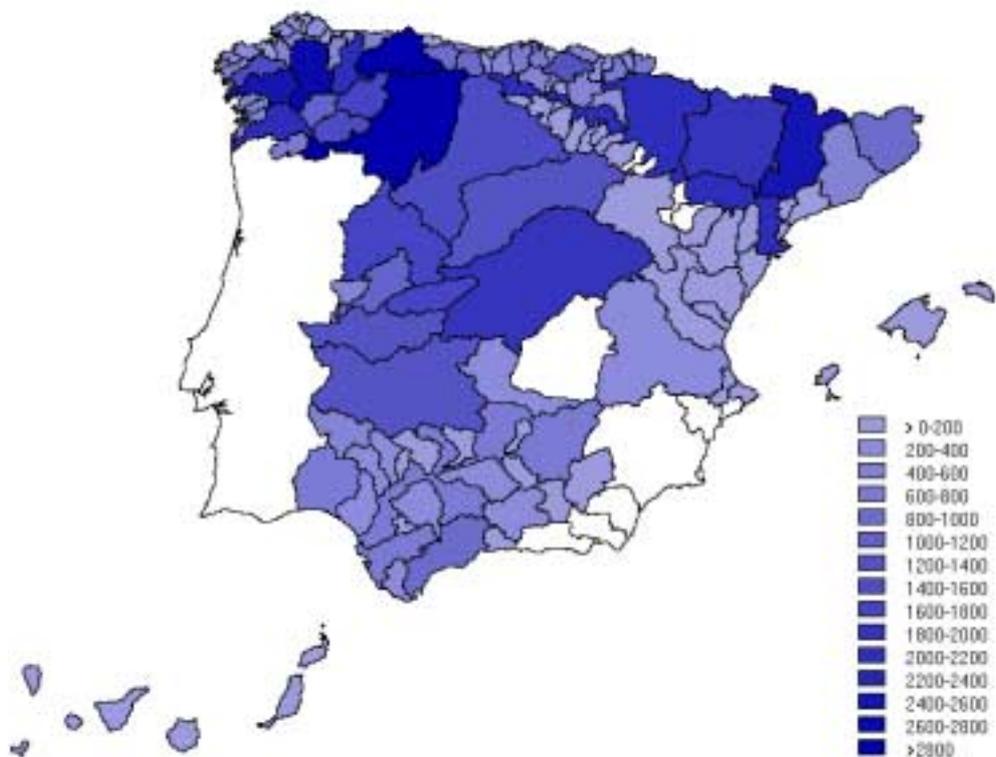


Figura 3. Mapa de superávit (hm³/año) en los sistemas de explotación de los Planes Hidrológicos (situación actual)



Figura 4. Mapa de superávit ($\text{hm}^3/\text{año}$) en los ámbitos territoriales de los Planes Hidrológicos (situación actual)

Sin embargo, cualquier decisión de transferencia de recursos debe tener en cuenta los usos potenciales o futuros que puedan aparecer en los ámbitos de planificación cedentes, de acuerdo con lo especificado en sus planes de cuenca ya aprobados y, en consecuencia, matizarse el carácter excedentario de cada sistema concreto. Por ello, se ha efectuado también dentro del Libro Blanco un balance entre los recursos potenciales y las demandas futuras previstas en el segundo horizonte de los planes de cuenca.

Una vez efectuados estos nuevos balances, considerando recursos potenciales y demandas futuras máximas previstas en cada plan, se dispondría de una cota mínima del posible excedente transferible en aquellos sistemas que siguieran resultando excedentarios.

Con el procedimiento seguido se identifica por tanto, de manera rigurosa, una horquilla de necesidades y posibilidades de transferencia, se asegura que las necesidades a satisfacer con transferencias no responden a expectativas de futuro (salvo en lo que a abastecimiento de población se refiere), sino a la satisfacción de las necesidades presentes en las cuencas deficitarias, y que las posibilidades de transferencias no merman, en ningún caso, todas las previsiones de crecimiento a largo plazo contempladas por la planificación hidrológica de las cuencas cedentes. Todo ello en la hipótesis de aprovechamiento máximo de los recursos potenciales.

En las dos figuras siguientes se indican los superávit resultantes del balance correspondiente a las demandas previstas en el segundo horizonte de los planes de cuenca.

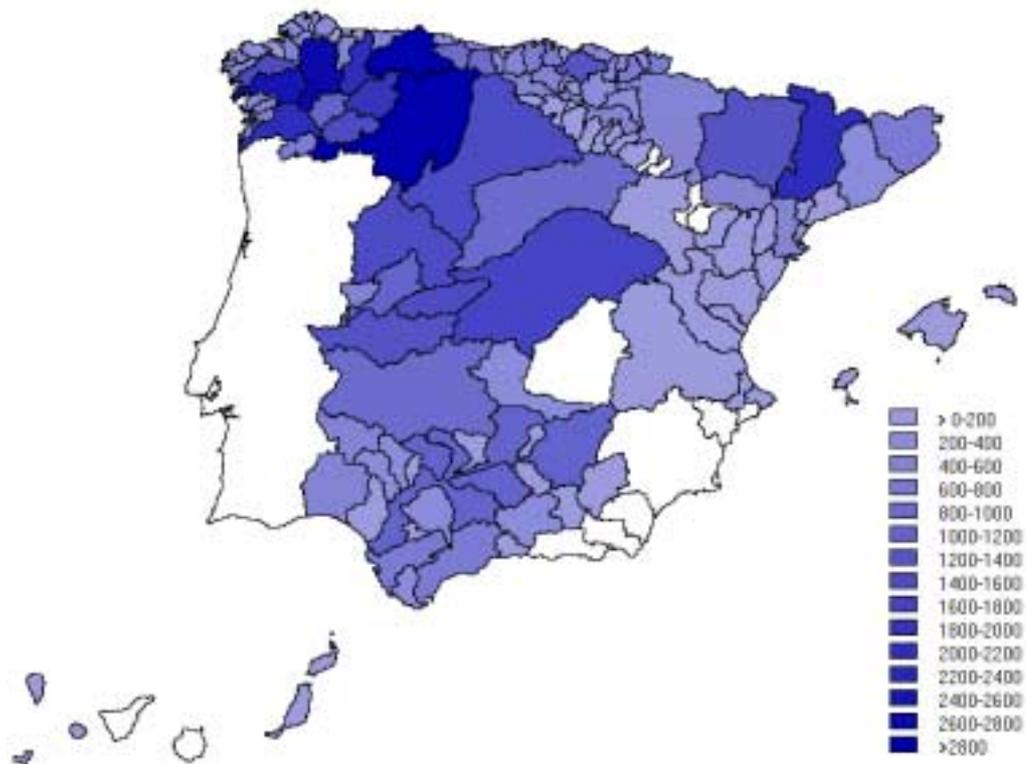


Figura 5. Mapa de superávit (hm³/año) en los sistemas de explotación considerando las demandas máximas previstas en los Planes Hidrológicos de cuenca para el segundo horizonte



Figura 6. Mapa de superávit (hm³/año) en los ámbitos territoriales de los Planes Hidrológicos de cuenca considerando las demandas máximas previstas en ellos para el segundo horizonte

Ahora bien, cabe dar un paso más, teniendo en cuenta que las cifras absolutas anteriores no dan una idea exacta de la situación real de cada sistema de explotación, puesto que, entre otras cosas no se tiene en cuenta su tamaño relativo. Para introducir esta componente se ha utilizado el denominado índice de consumo, que relaciona las demandas consuntivas con los recursos potenciales. Este índice da lugar al mapa de riesgo de escasez en los sistemas de explotación, que aparece en la figura siguiente.

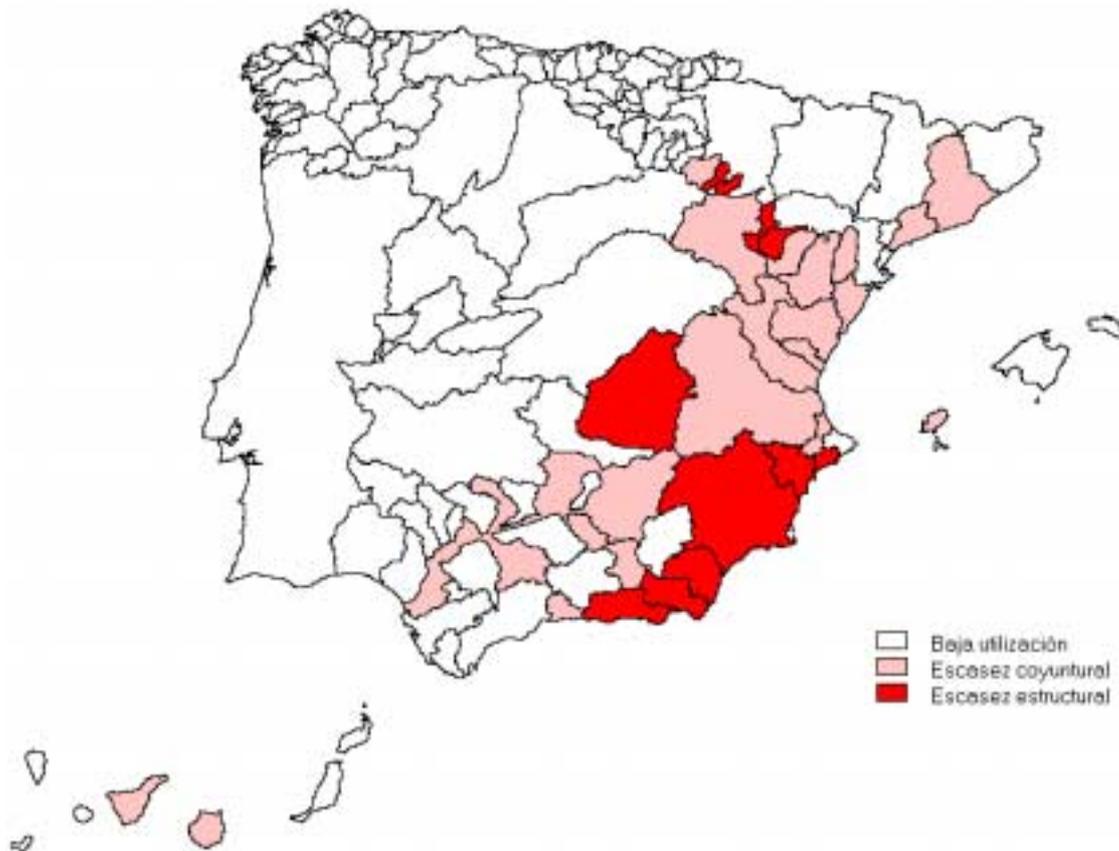


Figura 7. Mapa de riesgo de escasez en los sistemas de explotación (situación actual)

En la figura puede apreciarse como los sistemas antes calificados como deficitarios presentan lo que se ha denominado escasez estructural, es decir, el recurso potencial, incluyendo reutilización, desalación y transferencias actuales es sistemáticamente inferior a las demandas consuntivas. Sin embargo, existen otros sistemas no deficitarios que también presentan un riesgo de escasez coyuntural, es decir, sus niveles de consumo, en situación actual, se hallan relativamente próximos al recurso potencial. Por ello, en secuencias hidrológicas adversas podrían sufrir problemas de suministro por insuficiencia de recursos. En el mapa adjunto puede verse el resultado de la agregación territorial del riesgo de escasez por ámbitos de planificación.

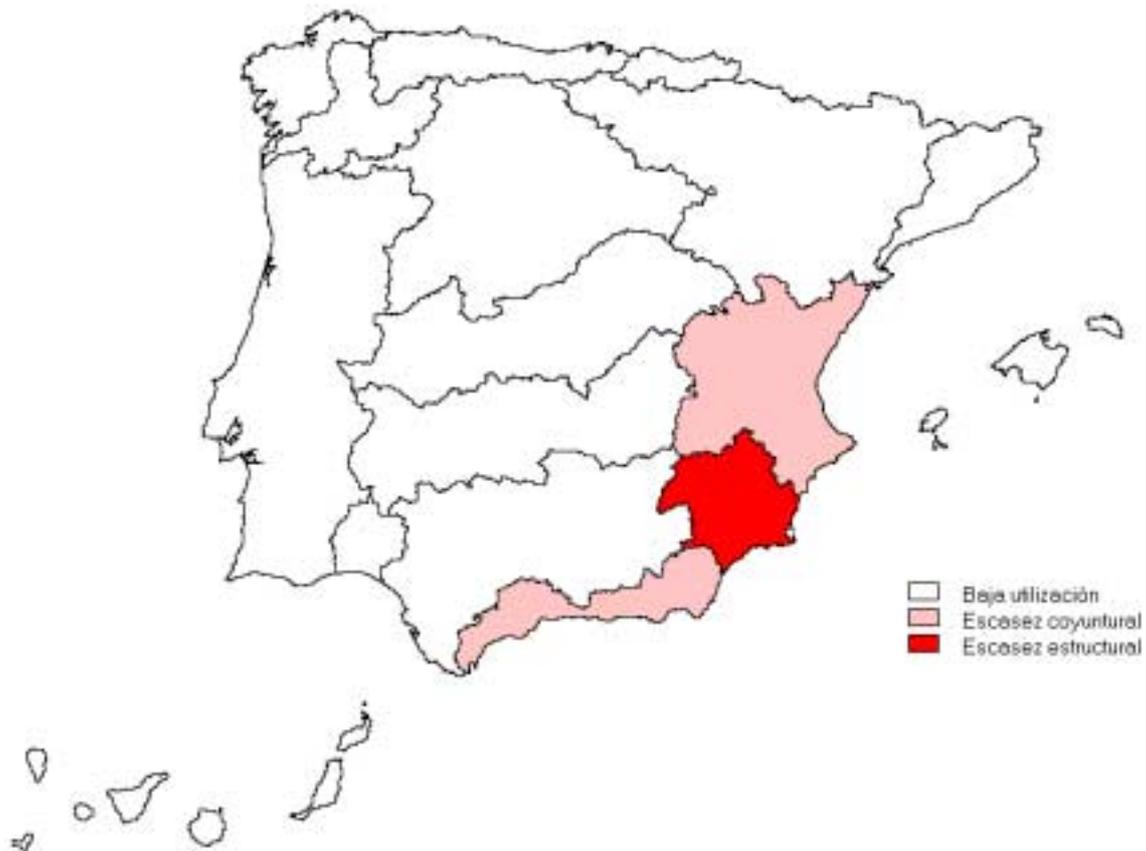


Figura 8. Mapa de riesgo de escasez en los ámbitos territoriales de los Planes Hidrológicos (situación actual)

En definitiva, del análisis efectuado se desprende que:

- El único ámbito de planificación cuyo territorio es estructuralmente deficitario, sea cual sea la óptica de análisis, es el correspondiente al Plan Hidrológico del Segura.
- En las cuencas del Guadiana, Sur, Segura y Ebro, existen sistemas de explotación que se encuentran en situación de escasez estructural, aunque no lo esté el conjunto del territorio del Plan Hidrológico correspondiente.
- En el territorio de los planes de cuenca del Guadalquivir, Sur, Júcar, Ebro, Cuencas Internas de Cataluña, Baleares y Canarias existen algunos sistemas de explotación en situación de escasez coyuntural.

Ante esta situación, en el Libro Blanco se formulan las siguientes observaciones:

- Los sistemas de explotación identificados como de déficit estructural en la situación actual en la cuenca del Guadiana, del Sur, del Segura y del Júcar, sólo podrían ver superado eficazmente este déficit mediante aportaciones procedentes de los territorios de otros Planes Hidrológicos:
 - a) En el caso del Júcar, todos sus sistemas de explotación -excepto uno- están sometidos a riesgo de escasez coyuntural, lo que dificultaría la

posibilidad de reequilibrios internos, máxime teniendo en cuenta la situación global de escasez coyuntural de su Plan Hidrológico. Igual sucede en el caso del Sur.

- b) En el caso del Segura, donde se ha definido un único sistema de explotación, coincidente con el ámbito de su Plan Hidrológico, solo se puede superar su déficit incrementando las aportaciones externas que actualmente recibe.
 - c) En el caso del Guadiana, la ubicación en cabecera de un sistema fuertemente deficitario requeriría, en la práctica, una transferencia externa.
- Los sistemas de explotación identificados como de déficit estructural en la cuenca del Ebro tienen carácter local, y podrían, en principio, ser corregidos mediante actuaciones en el propio ámbito de su Plan Hidrológico. Además, existen situaciones de escasez coyuntural que podrían recibir el mismo tratamiento en el futuro.
 - Existe un área geográfica en el Sureste claramente identificada como estructuralmente deficitaria, y es la constituida por los sistemas meridionales del Júcar, el Segura, y los sistemas orientales del Sur. La evidente unidad geográfica que conforman estos territorios sugiere una unidad de tratamiento en las posibles soluciones que se arbitren.
 - Si se juzgase necesario eliminar el riesgo de escasez coyuntural, los sistemas de explotación que se hallan en esta situación en las cuencas del Guadalquivir y Cataluña, deben ser estudiados respecto a si es posible superar esa situación de escasez mediante transferencias internas de su Plan Hidrológico, o mediante recursos del exterior.

Debe señalarse la diferente gravedad de las situaciones de escasez coyuntural y estructural. En las primeras los problemas de insuficiencia de recursos tienen un carácter temporal y están generalmente asociados a rachas hidrológicas adversas, de tal modo que en condiciones de normalidad no se presentarán problemas graves. De hecho, estos sistemas presentan, como se refleja en las figuras anteriores, un balance hídrico excedentario en términos medios.

En el caso de escasez estructural, en cambio, los sistemas son permanentemente incapaces de atender sus consumos, y la insuficiencia de recursos, aún en el caso de aprovechamiento exhaustivo, constituye un problema crónico.

En cuanto a los sistemas con superávit, el examen de las figuras anteriores pone de manifiesto que:

- Por sistemas de explotación resultan claramente excedentarios la mayor parte de los sistemas del Norte I y Norte II, en el Duero el Sistema Esla-Valderaduey, en el Tajo el macrosistema de su cabecera y curso medio y una parte importante de los sistemas de la margen izquierda del Ebro, en especial el sistema del Segre seguido del Gállego y Cinca.

- Por ámbitos de planificación resulta claramente excedentaria la mayor parte de la cornisa cantábrica (Norte I, Norte II y Galicia-Costa), el Duero, el Ebro y el Tajo.

Por tanto, en principio, teniendo en cuenta la ubicación relativa de los sistemas de explotación, la cuenca del Ebro y el macrosistema de la cabecera y curso medio del Tajo se presenta, por su posición geográfica y superávit existente, como susceptibles de ser estudiados inicialmente como posibles áreas de origen para transferencias de recursos hacia los sistemas deficitarios. También las del Duero y Norte presentan claras posibilidades desde el punto de vista de sus recursos, pero con mayores dificultades geográficas –sobre todo el Norte– por su posición relativa respecto a las áreas deficitarias.

En definitiva, y a la luz de estos resultados elaborados en el Libro Blanco, parece razonable que se estudien con detalle como posibles ámbitos territoriales receptores los del Segura, Júcar, Cuencas Internas de Cataluña, Guadiana, Guadalquivir y Sur oriental, y como posibles ámbitos cedentes los del Tajo, Ebro y Duero.

Así, en el presente Plan Hidrológico Nacional, y siguiendo esta lógica de razonamiento, se ha profundizado en los análisis de tales cuencas, pasando de modelos cartográficos de balance a modelos matemáticos analíticos que permiten reproducir con detalle el comportamiento de los diferentes sistemas de explotación. Tales modelos son los descritos en los capítulos que siguen.

3. CUENCA DEL DUERO

3.1. INTRODUCCIÓN

En el marco del Plan Hidrológico de la cuenca del Duero se han expuesto las magnitudes y determinaciones fundamentales del sistema hidráulico de esta cuenca, que son asumidas a los efectos del presente nuevo análisis para la planificación hidrológica nacional. Nos remitimos, pues, a esta referencia básica, incorporando ahora algunas modificaciones puntuales correspondientes, por ejemplo, a detalles de homogeneización técnica con los otros sistemas estudiados, o a la actualización de series hidrológicas, tal y como se indicará en su momento.

En síntesis, los elementos y magnitudes fundamentales del sistema de explotación son los que se describen seguidamente.

3.2. ELEMENTOS DEL SISTEMA

3.2.1. APORTACIONES

Como datos de aportaciones hidráulicas se han empleado las series obtenidas mediante el modelo de evaluación de recursos desarrollado para el Libro Blanco del Agua en España. Las series mensuales se han generado con criterios similares a los adoptados en el Plan Hidrológico de la cuenca del Duero, pero ampliando su periodo hasta el año hidrológico 1995/96.

La figura adjunta muestra la situación de los puntos básicos simulados en la evaluación de recursos hídricos.

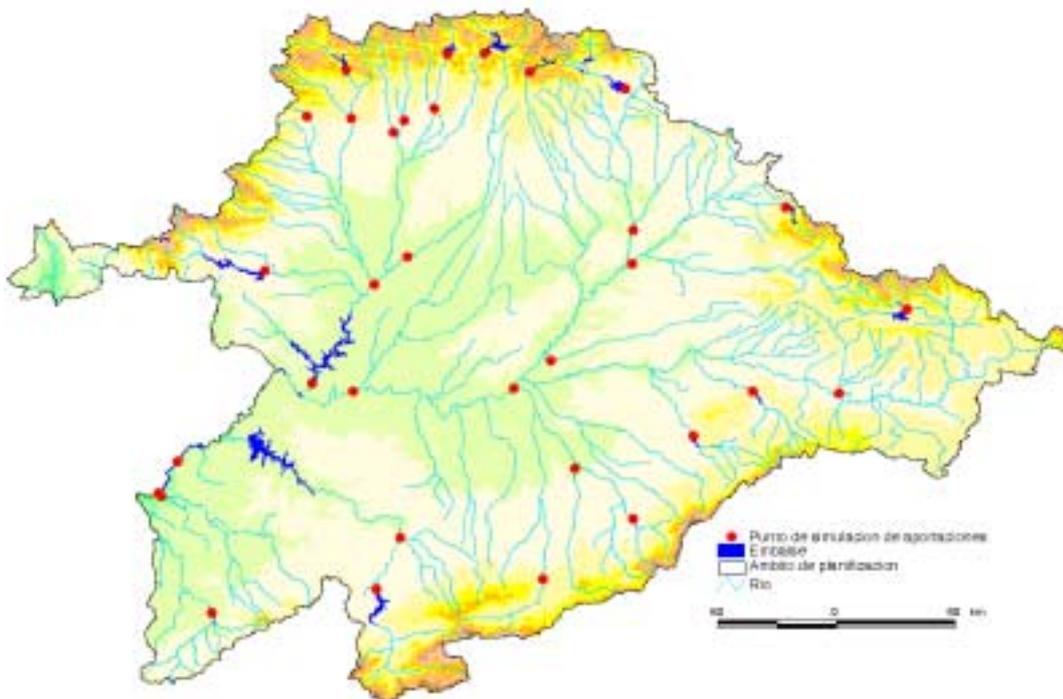


Figura 9. Puntos de incorporación de series de aportaciones de recursos hídricos

La tabla adjunta resume las cuantías anuales medias de aportaciones en los puntos considerados.

Punto de aportación	Aport. anual (hm ³ /año)	Aport. anual acumulada (hm ³ /año)
Adaja en emb. Las Cogotas	119	
Agueda en emb. Agueda	297	
Almar completo	126	
Arlanzón en emb. Uzquiza	53	53
Arlanza tras el Arlanzón	770	823
Bernesga en La Robla	352	
Carrión en emb. Compuerto	217	
Cea completo	253	
Duero en emb. Cuerda del Pozo	196	196
Duero tras el Eresma	1697	4393
Duero en Zamora	398	4791
Duero en emb. Aldeadávila	664	11554
Duero en emb. Saucelle	41	12048
Duración en emb. Burgomillodo	103	
Eresma en Segovia	108	
Esgueva completo	71	
Esla en emb. Riaño	615	615
Esla tras el Orbigo	1093	4010
Esla en Ricobayo	567	5143
Huebra completo	453	
Órbigo en emb. Barrios de Luna	388	388
Órbigo tras Omaña	406	794
Pisuerga en emb. Aguilar	263	263
Pisuerga en Villalaco	487	750
Porma en emb. Porma	260	260
Porma tras Curueña	340	600
Riaza en emb. Linares del Arroyo	84	
Tormes en emb. Santa Teresa	831	
Tera en emb. Valparaíso	566	
Torío completo	279	
Tuerto en emb. Villameca	23	
Ucero completo	166	
Voltoya completo	60	
Total:	12.344	

Tabla 1. Aportaciones hídricas consideradas en el sistema

Estas aportaciones de cálculo no incorporan todas las aportaciones naturales generadas en la parte española de la cuenca del Duero, que según el modelo de evaluación de recursos citado se estimaban en 13.660 hm³/año.

3.2.2. DEMANDAS

Con análogo criterio al seguido en los casos del Ebro y Tajo, se han adoptado todas las demandas correspondientes al segundo horizonte del Plan Hidrológico de la cuenca del Duero de forma que los sobrantes se analicen bajo el supuesto del máximo desarrollo previsible. Con vistas a su inclusión en el modelo de sistema de explotación de la cuenca, las unidades de demanda se han agregado siguiendo un criterio territorial y buscando la máxima sencillez, sin pérdida de representatividad. En la mayor parte de los casos, la agregación realizada sigue la misma división en sistemas y subsistemas de explotación propuesta en el Plan de cuenca.

La figura adjunta muestra la situación de poblaciones y regadíos (principales demandantes de agua), y permite apreciar la concentración de las manchas de riego y la diseminación de los pequeños núcleos de población.

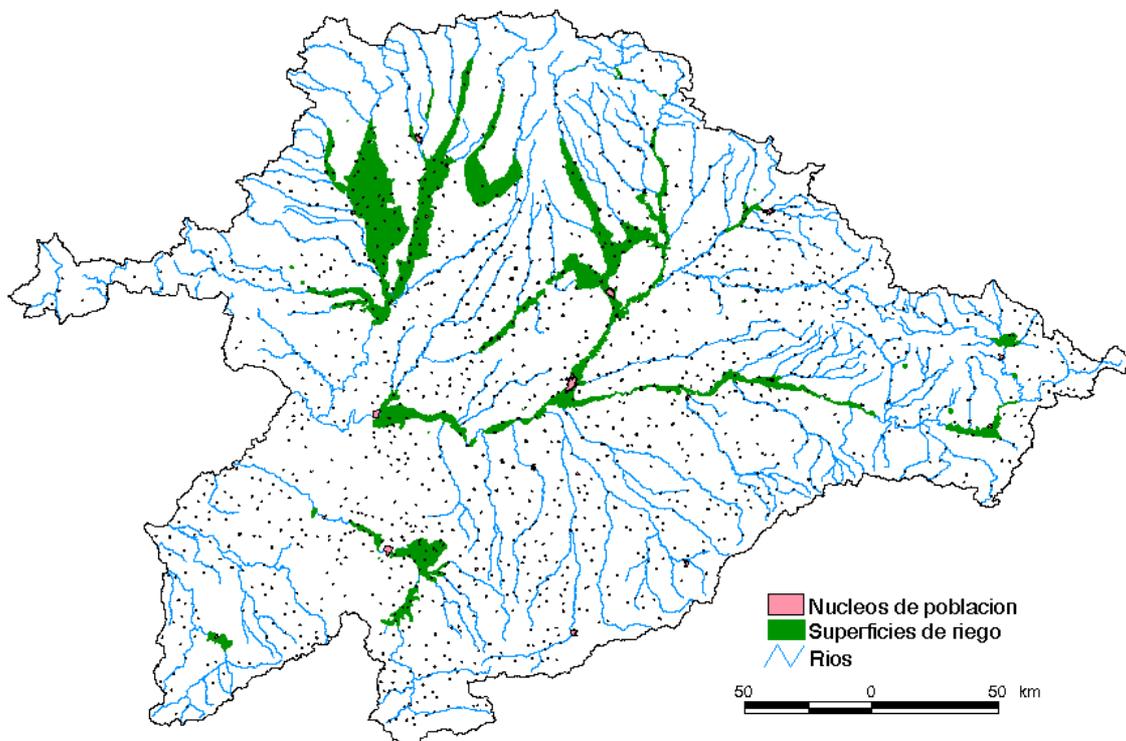


Figura 10. Mapa de situación de poblaciones y regadíos

Para los abastecimientos urbanos, se han considerado las unidades de demanda urbana (UDU) propuestas en el Plan para el segundo horizonte, agregadas por sistemas o subsistemas de explotación tal y como se muestra en la tabla adjunta.

Unidad de demanda	Descripción	Junta de Explotación	Demanda (hm ³ /año)
Águeda y Huebra	Abastecimientos Huebra	Águeda	4
Águeda y Huebra	Abastecimientos Águeda	Águeda	2
Astorga	Abastecimiento a Astorga	Órbigo	3
Ávila	Abastecimiento a Ávila desde el embalse del Voltoya	Adaja-Cega	7
Ávila	Abastecimiento a Ávila desde el embalse de Becerril	Adaja-Cega	4
Benavente	Abastecimiento a Benavente y otros	Órbigo	7
Burgos	Abastecimiento a Burgos	Arlanza	41
Cuencas 17-21	Abastecimiento cuencas 17 a 21 (resto Carrión)	Carrión	4
La Robla	Refrigeración CT de La Robla	Esla-Valderaduey	24
Leon	Abastecimiento León (embalse del Porma)	Esla-Valderaduey	11
Leon	Abastecimiento León (Galerías filtrantes del aluvial)	Esla-Valderaduey	4
Leon	Abastecimiento León (canal de Velilla)	Órbigo	20
Medina del Campo	Abastecimiento a Medina del Campo (embalse de Las Cogotas)	Adaja-Cega	2
Palencia	Abastecimiento a Palencia	Carrión	18
Poblaciones Esla	Abastecimiento a poblaciones del Esla entre el Porma y el Órbigo	Esla-Valderaduey	13
Salamanca	Abastecimiento de Salamanca y otras poblaciones	Tormes	48
Segovia	Abastecimiento a Segovia	Adaja-Cega	10
Soria	Abastecimiento a Soria	Alto Duero	7
Soria	Azucareras de Aranda y Santa Victoria	Alto Duero	1
Valladolid y otros	Abastecimiento a Valladolid	Carrión	45
Valladolid y otros	Abastecimiento poblaciones cuencas 8 a 16 (Pisuerga entre Arlanza y Esgueva)	Pisuerga	9
Valladolid y otros	Abastecimiento poblaciones cuencas 22 a 24 (resto Pisuerga)	Pisuerga	2
Valladolid y otros	Abastecimiento a Valladolid desde el Duero	Riaza	45
Valladolid y otros	Abastecimiento cuencas 1 a 6 (Duero entre el Riaza y el Pisuerga)	Riaza	17
Valladolid y otros	Azucarera de Venta de Baños	Carrión	1
Valladolid y otros	Industria FASA Renault	Riaza	6
Velilla	Refrigeración de la Central de Terminor en Velilla	Carrión	9
Zamora	Abastecimiento a Zamora	Bajo Duero	14
Zamora	Azucarera de Toro	Bajo Duero	2
Total			380

Tabla 2. Demanda futura urbana e industrial prevista en el Plan de cuenca

En cuanto a los usos de regadío, la tabla adjunta muestra el detalle de las unidades básicas de demanda agraria (UDA) consideradas en el esquema general, las zonas de riego que comprenden, la Junta de Explotación a la que pertenecen según el Plan de cuenca, el valor de la demanda anual y su correspondiente horizonte temporal.

UDA	Zona de riego	Junta de	Demanda	Horizonte
C.Payuelos	Riegos Canal Alto de los Payuelos	Esla-Valderaduey	192	Actual
C.Payuelos	Riegos Canal Bajo de los Payuelos	Esla-Valderaduey	173	1
Esla M.D. y part.	Riegos margen derecha del Esla	Esla-Valderaduey	75	Actual
Esla M.D. y part.	Riegos particulares Esla entre el Porma y el	Esla-Valderaduey	18	1
Esla M.I. y otros	Riegos margen izquierda del Esla	Esla-Valderaduey	10	Actual
Esla M.I. y otros	Riego Vegas Altas del Valderaduey	Esla-Valderaduey	19	1
Esla M.I. y otros	Resto del Valderaduey	Esla-Valderaduey	21	1
Part.Ber.	Riegos particulares Bernesga	Esla-Valderaduey	10	Actual
Part.Ber.	Riegos del Torio-Bernesga	Esla-Valderaduey	69	2
Part.Cea	Riegos particulares Cea	Esla-Valderaduey	6	Actual
Part.Cea	Riegos Alto Cea	Esla-Valderaduey	9	1
Part.Cea	Riegos Medio Cea	Esla-Valderaduey	9	1
Part.Cea	Riegos Bajo Cea	Esla-Valderaduey	15	1
Part.Cea	Resto del Cea	Esla-Valderaduey	37	1
Part.Por.	Riegos part. Porma hasta el Curueño	Esla-Valderaduey	31	Actual
Part.Tri.	Riegos particulares Torio tramo alto	Esla-Valderaduey	17	Actual
Poma I-Esla, II y otr.	Riegos Canal Porma fase I	Esla-Valderaduey	35	Actual
Poma I-Esla, II y otr.	Riegos Canal Porma fase II	Esla-Valderaduey	73	Actual
Poma I-Esla, II y otr.	Riegos Vegas Altas del Esla	Esla-Valderaduey	24	1
Poma I-Esla, II y otr.	Riegos Canal Valverde Enrique	Esla-Valderaduey	60	1
Poma I-Esla, II y otr.	Riegos particulares Esla hasta el Porma	Esla-Valderaduey	14	1
Porma I y Arr.	Riegos Arriola	Esla-Valderaduey	36	Actual
Porma I y Arr.	Canal del Porma fase I (cuenca Porma)	Esla-Valderaduey	17	Actual
Porma I y Arr.	Canal del Porma fase I (cuenca Esla)	Esla-Valderaduey	16	Actual
Riego Aguas Subterráneas	Unidades hidrogeol. Esla-Valderaduey	Esla-Valderaduey	92	Actual
Carrizo y otros	Riegos de Carrizo	Órbigo	25	Actual
Carrizo y otros	Riegos de Castañón	Órbigo	25	Actual
Carrizo y otros	Riegos Villares	Órbigo	15	Actual
Carrizo y otros	Riegos Presa de Tierra	Órbigo	9	Actual
Mangan.,B.Paramo y otr.	Riegos de Manganeses	Órbigo	20	Actual
Mangan.,B.Paramo y otr.	Riegos Bajo Páramo-resto	Órbigo	73	Actual
Mangan.,B.Paramo y otr.	Riegos de San Román y San Justo	Órbigo	2	Actual
Mangan.,B.Paramo y otr.	Riegos Bajo Páramo-riegos actuales	Órbigo	99	1
Mangan.,B.Paramo y otr.	Riegos particulares del Duerna	Órbigo	31	1
Mangan.,B.Paramo y otr.	Riegos del Duerna	Órbigo	63	1
Mangan.,B.Paramo y otr.	Riegos del Eria	Órbigo	24	1
Mangan.,B.Paramo y otr.	Riegos particulares del Eria	Órbigo	1	2
Paramo	Riegos Canal del Páramo	Órbigo	103	Actual
Riego Aguas Subterráneas	Unidades hidrogeológicas Órbigo	Órbigo	55	Actual
Villadangos y otros	Riegos part. Órbigo hasta el Duerna	Órbigo	45	Actual
Villadangos y otros	Riegos de Velilla	Órbigo	5	Actual
Villadangos y otros	Riegos de Villadangos	Órbigo	40	Actual
Riego Aguas Subterráneas	Unidades hidrogeológicas Tera	Tera	5	Actual
Tera y part.	Riegos particulares Tera	Tera	10	Actual
Tera y part.	Riegos de margen derecha Tera	Tera	50	Actual
Tera y part.	Margen izda. Tera, sectores 10 y 11	Tera	10	Actual
Tera y part.	Riegos de margen izquierda Tera-resto	Tera	50	1

UDA	Zona de riego	Junta de	Demanda	Horizonte
Arlanzon y part.	Riegos particulares Arlanzón	Arlanza	14	Actual
Arlanzon y part.	Riegos del Arlanzón	Arlanza	20	Actual
Part.Arz.	Riegos particulares Arlanza	Arlanza	9	Actual
Part.Arz.	Riegos del Arlanza	Arlanza	152	1
Riego Aguas Subterráneas	Unidades hidrogeológicas Arlanza	Arlanza	8	Actual
Car.-Sal.y otros	Riegos part. Carrión hasta la Cueva	Carrión	5	Actual
Car.-Sal.y otros	Riegos de Carrión-Saldaña	Carrión	64	Actual
Car.-Sal.y otros	Riegos del Bajo Carrión	Carrión	39	Actual
Car.-Sal.y otros	Riegos particulares Carrión entre la Cueva y	Carrión	8	Actual
Castilla C. y otros	Riegos de Castilla Campos	Carrión	65	Actual
Castilla C. y otros	Riegos de Macías Picavea	Carrión	19	Actual
Castilla C. y otros	Riegos de la Retención	Carrión	22	Actual
Castilla C. y otros	Riegos de la Nava Norte	Carrión	13	Actual
CastillaS y NavaS	Riegos Castilla Sur	Carrión	27	Actual
CastillaS y NavaS	Riegos de la Nava Sur	Carrión	17	Actual
Palencia	Riegos de Palencia	Carrión	24	Actual
Riego Aguas Subterráneas	Unidades hidrogeológicas Carrión	Carrión	23	Actual
Castilla N. y otros	Riegos particulares Pisuerga hasta el Canal	Pisuerga	7	Actual
Castilla N. y otros	Riegos Castilla Norte	Pisuerga	57	Actual
Castilla N. y otros	Riegos de Cervera	Pisuerga	1	Actual
Geria	Riegos de Geria	Pisuerga	5	Actual
Part.Esg.	Riegos del Esgueva	Pisuerga	31	2
Part.Pga.	Riegos particulares Pisuerga entre el	Pisuerga	6	Actual
Pisuerga	Riegos del canal del Pisuerga	Pisuerga	77	Actual
Riego Aguas Subterráneas	Unidades hidrogeológicas Pisuerga	Pisuerga	16	Actual
Villalaco y part.	Riegos part. Pisuerga entre C. Castilla y el	Pisuerga	14	Actual
Villalaco y part.	Riegos part. Pisuerga entre C. Castilla y el	Pisuerga	13	Actual
Villalaco y part.	Riegos de Villalaco	Pisuerga	27	Actual
Camp.Alm y part.	Riegos part. Duero hasta el Ucero	Alto Duero	25	Actual
Camp.Alm y part.	Riegos canal de Almazán	Alto Duero	34	Actual
Camp.Alm y part.	Riegos Campillo de Buitrago	Alto Duero	21	Actual
Ines y otros	Riegos de Inés	Alto Duero	10	Actual
Ines y otros	Riegos de Olmillos	Alto Duero	2	Actual
Ines y otros	Riegos la Vid	Alto Duero	3	Actual
Ines y otros	Riegos de Zuzones	Alto Duero	3	Actual
Ines y otros	Riegos de Guma	Alto Duero	28	Actual
Ines y otros	Riegos de Aranda	Alto Duero	18	Actual
Part.Ucero	Riegos particulares Ucero	Alto Duero	15	Actual
Riego Aguas Subterráneas	Unidades hidrogeológicas Alto Duero	Alto Duero	1	Actual
C.Duero y otros	Riegos part., incluido C. del Duero	Riaza	113	Actual
C.Duero y otros	Riegos canal de Padilla	Riaza	1	Actual
C.Duero y otros	Riegos Meridionales	Riaza	244	2
Duraton y part.	Riegos particulares Duratón	Riaza	2	2
Duraton y part.	Riegos del Duratón	Riaza	29	2
Riaza	Riegos particulares Riaza	Riaza	17	Actual
Riaza	Riegos del Riaza	Riaza	34	Actual
Riego Aguas Subterráneas	Unidades hidrogeológicas Riaza	Riaza	42	Actual

UDA	Zona de riego	Junta de	Demanda	Horizonte
Adaja	Riegos del Adaja	Adaja-Cega	54	1
Eresma	Riegos particulares Eresma	Adaja-Cega	20	2
Eresma	Riegos de Guijasalbas	Adaja-Cega	9	2
Eresma	Riegos del Eresma	Adaja-Cega	234	2
Part.Volt.	Riegos particulares Voltoya	Adaja-Cega	4	Actual
Riego Aguas Subterráneas	Unidades hidrogeológicas Adaja-Cega	Adaja-Cega	35	Actual
S.Jose y otros	Riegos part. Duero entre Pisuerga y	Bajo Duero	28	Actual
S.Jose y otros	Riegos part. Duero entre Pisuerga y	Bajo Duero	85	Actual
S.Jose y otros	Riegos de Tordesillas	Bajo Duero	15	Actual
S.Jose y otros	Riegos canal de Pollos	Bajo Duero	10	Actual
S.Jose y otros	Riegos de Castronuño	Bajo Duero	3	Actual
S.Jose y otros	Riegos Toro-Zamora	Bajo Duero	60	Actual
S.Jose y otros	Riegos de San José	Bajo Duero	34	Actual
S.Jose y otros	Riegos del Cega	Adaja-Cega	43	1
S.Jose y otros	Riegos del Pirón	Adaja-Cega	46	1
S.Jose y otros	Riegos particulares Cega-Pirón	Adaja-Cega	22	2
Riego Aguas Subterráneas	Unidades hidrogeológicas Bajo Duero	Bajo Duero	288	Actual
Águeda M.I.y part.	Riegos particulares Águeda	Águeda	15	Actual
Águeda M.I.y part.	Riegos margen izquierda del Águeda	Águeda	7	Actual
Águeda M.I.y part.	Ampliación riegos del Águeda	Águeda	57	1
Part.Huebra	Riegos particulares Huebra	Águeda	14	Actual
Riego Aguas Subterráneas	Unidades hidrogeológicas Águeda	Águeda	1	Actual
Florida y otros	Riegos particulares tramo bajo Tormes	Tormes	11	Actual
Florida y otros	Riegos de Florida	Tormes	10	Actual
Florida y otros	Riegos canal de Ledesma	Tormes	2	Actual
Florida y otros	Riegos de Villamayor	Tormes	6	Actual
Florida y otros	Riegos de Zorita	Tormes	4	Actual
La Maya y otros	Riegos part. Tormes hasta Villagonzalo	Tormes	10	Actual
La Maya y otros	Riegos de Alba de Tormes	Tormes	3	Actual
La Maya y otros	Riegos de Ejeme Galisancho	Tormes	7	Actual
La Maya y otros	Riegos de la Maya	Tormes	20	Actual
Part.Almar y Gamu	Riegos particulares del Almar y Gamu	Tormes	8	Actual
Part.Cab.Tor.	Riegos particulares de cabecera Tormes	Tormes	17	Actual
Part.Cab.Tor.	Riegos part. Tormes hasta Santa Teresa	Tormes	92	2
Part.Cab.Tor.	Riegos de Los Llanos	Tormes	20	2
Riego Aguas Subterráneas	Unidades hidrogeológicas Tormes	Tormes	32	Actual
Villagonzalo y otros	Riegos de Babilafuente	Tormes	30	Actual
Villagonzalo y otros	Riegos de Villoria	Tormes	45	Actual
Villagonzalo y otros	Riegos de Villagonzalo	Tormes	46	Actual
Villagonzalo y otros	Riegos del Almar	Tormes	16	Actual
Villagonzalo y otros	Riegos de La Armuña 1ª fase	Tormes	58	1
Villagonzalo y otros	Riegos de La Armuña 2ª fase	Tormes	238	2
Total			5.022	

Tabla 3. Unidades de demanda agraria de la cuenca del Duero

Se han considerado los retornos de las principales demandas de riego y abastecimiento de la cuenca. A efectos computacionales los retornos se han concentrado en los siguientes puntos básicos: embalses de Almendra y Santa Teresa, canal Alto de Payuelos, Duero en Zamora, confluencias del Duero con el Pisuerga, del Esla con el Órbigo, Esla y Bernesga, Tera y Esla, Carrión y Canal de Castilla Norte, Pisuerga y Esgueva, Arlanza y Arlanzón, y Pisuerga y Arlanza. Para los retornos de regadíos, se admite el coeficiente general convencional del 20% de la demanda y para los de abastecimiento, del 80%.

La siguiente tabla resume las demandas finalmente consideradas en el esquema, indicando su cuantía total anual, su distribución estacional y el porcentaje de retorno aprovechable en el sistema.

	DEM. (hm ³)	DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA DEMANDA (%)											RET. (%)	
		OC	NV	DC	EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG		ST
Abast. Agueda y Huebra	6	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	
Abast. Astorga	3	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	
Abast. Avila	11	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	
Abast. Benavente	7	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	
Abast. Burgos	41	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	80
Abast. Cuencas 17-21	4	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	
Abast. Leon	35	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	80
Abast. Medina del Campo	2	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	
Abast. Palencia	18	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	
Abast. Poblaciones Esla	13	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	
Abast. Salamanca	48	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	80
Abast. Segovia	10	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	
Abast. Soria	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	
Abast. Valladolid y otros	125	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	80
Abast. Zamora	16	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	
Refrig. La Robla	24	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	95
Refrig. Velilla	9	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	95
Reg. Adaja	54	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Aguas Subterráneas	598	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Agueda M.I.y part.	79	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Arlanzon y part.	34	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. C.Duero y otros	358	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	20
Reg. C.Payuelos	365	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	20
Reg. Camp.Alm.y part.	80	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Car.-Sal.y otros	116	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	20
Reg. Carrizo y otros	74	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Castilla C. y otros	119	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Castilla N. y otros	65	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Castilla S. y Nava S.	44	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Duraton y part.	31	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Eresma	263	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	20
Reg. Esla M.D. y part.	93	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Esla M.I.y otros	50	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Florida y otros	33	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Geria	5	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Ines y otros	64	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. La Maya y otros	40	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Mangan.,B.Paramo y otr.	313	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	20

	DEM. (hm ³)	DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA DEMANDA (%)												RET. (%)
		OC	NV	DC	EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG	ST	
Reg. Palencia	24	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Part.Almar y Gamu	8	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Part.Arz	161	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	20
Reg. Part.Ber.	79	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Part.Cab.Tor.	129	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	20
Reg. Part.Cea	76	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Part.Esg.	31	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Part.Huebra	14	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Part.Pga	6	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Part.Por.	31	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Part.Tri	17	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Part.Ucero	15	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Part.Volt.	4	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Pisuerga	77	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Porma I y Arr.	69	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Porma I-Esla, II y otros	206	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	20
Reg. Riaza	51	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. S.Jose y otros	346	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	20
Reg. Tera y part.	120	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	20
Reg. Villadangos y otros	90	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Villagonzalo y otros	433	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	20
Reg. Villalaco y part.	54	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	
Reg. Paramo	103	3	0	0	0	0	0	4	16	20	25	22	10	20
Total	5402													

Tabla 4. Síntesis global de demandas consuntivas en el ámbito del Plan Hidrológico del Duero

En cuanto a niveles de garantía y prioridades de suministro, se adoptan los criterios estándares de la planificación nacional cifrados en déficit anuales acumulados de cuantías porcentuales [2, 3, 10] para abastecimientos y demandas industriales de refrigeración y [50, 75, 100] demandas de riego.

3.2.2.1. CAUDALES MÍNIMOS

Siguiendo lo establecido en el Plan Hidrológico de la cuenca del Duero, y que se recoge por este Plan Nacional, los caudales mínimos circulantes en los distintos tramos fluviales son los que se recogen en la siguiente tabla.

TRAMO	Ap. natural (hm ³ /año)	Caudal mín. (m ³ /s)	Caudal mín. (hm ³ /mes)
Adaja en emb. Las Cogotas	119	2	5,3
Águeda en emb. Águeda	297	2	5,3
Arlanzón en emb. Uzquiza	53	1	2,7
Carrión en emb. cabecera	217	4	10,5
Esla en emb. Riaño	615	4	10,5
Órbigo en emb. Barrios de Luna	388	3	6,6
Pisuerga en emb. Aguilar	263	2	5,3
Pisuerga en Valladolid	1860	10	26,3
Porma en emb. Porma	260	3	7,9
Tormes en emb. Santa Teresa	831	12	31,5

Tabla 5. Caudales mínimos

Estos caudales se han introducido, siguiendo los criterios conceptuales adoptados de forma general, como restricciones de funcionamiento al sistema global de explotación de recursos.

Por otra parte, además de estos caudales ambientales existe una nueva limitación singular en la explotación, que es la derivada del reciente *Convenio sobre cooperación para la protección y el aprovechamiento sostenible de las aguas de las cuencas hidrográficas hispano-portuguesas* (BOE núm. 37, 12 de febrero de 2000, pp. 6703-6712), también llamado Convenio de Albufeira. Por este Convenio, España está obligada en condiciones hidrológicas normales a satisfacer un régimen de caudales mínimos en Saucelle+Águeda de 3.800 hm³/año. Este régimen de caudales *no se aplica en los periodos en que se verifique que la precipitación de referencia acumulada en la cuenca desde el inicio del año hidrológico (1 de octubre) hasta el 1 de junio sea inferior al 65% de la precipitación media acumulada de la cuenca en el mismo periodo* (Protocolo Adicional, arts. 3.2 y 3.3).

La precipitación de referencia se calcula de acuerdo con los valores de las precipitaciones observadas en las estaciones pluviométricas de Salamanca (Matacán), León (Virgen del Camino) y Soria (Observatorio), afectados por un coeficiente de ponderación del 33,3% en cada caso. Los valores medios se entienden calculados de acuerdo con los registros del periodo 1945-46 a 1996-97 (Anexo al Protocolo Adicional, punto 4).

De acuerdo con estos criterios se ha seguido el proceso que se muestra en la figura siguiente. En ella se incluyen las precipitaciones acumuladas desde octubre hasta junio en las estaciones de Salamanca, León y Soria y la precipitación de referencia obtenida ponderando estas tres series con el coeficiente indicado. También se incluye el valor medio de la precipitación de referencia para el periodo señalado de 1945-46 a 1996-97 y la precipitación límite establecida como el 65% de la media anterior. Este valor límite permite identificar los periodos de excepción en los que no se habría exigido la satisfacción del régimen de caudales mínimos previsto (años 1941-42, 1944-45, 1948-49, 1975-76 y 1991-92). Una vez identificados estos años, el régimen de caudales es el indicado en la figura.

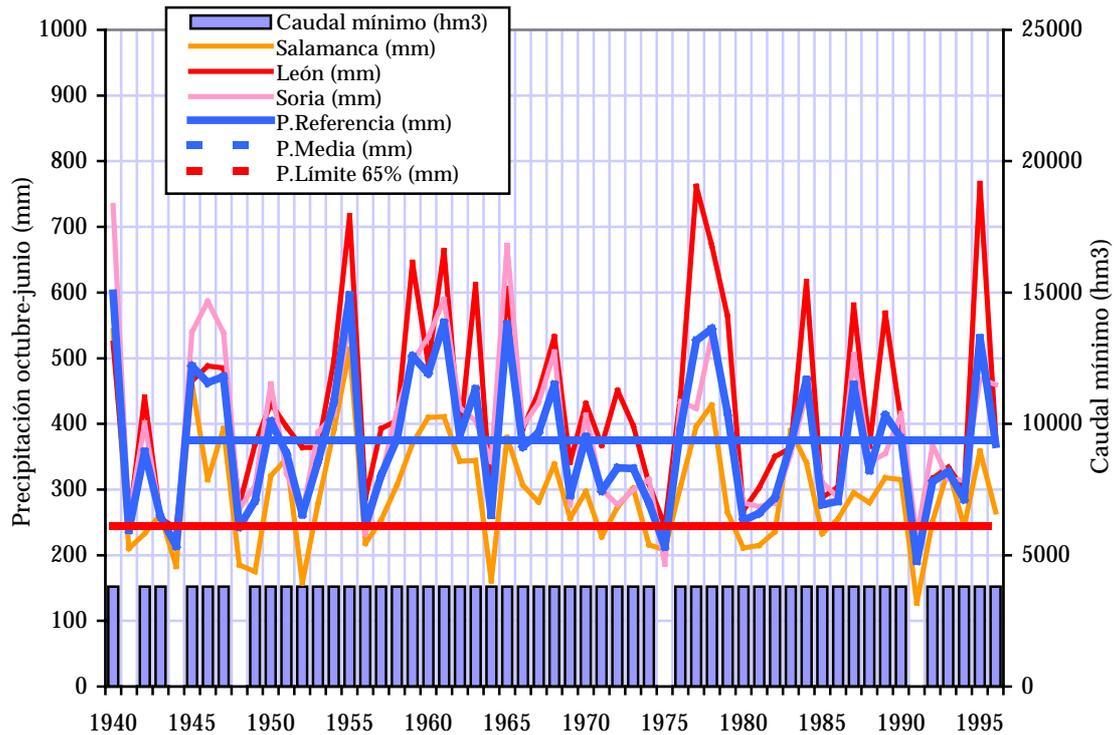


Figura 11. Obtención del régimen de caudales mínimos según el Convenio con Portugal

El régimen así obtenido ha de ajustarse para tener en cuenta las condiciones por las que se considera concluido el periodo de excepción durante el cual no se aplicaría dicho régimen. Según el Convenio, *el periodo de excepción se considera concluido a partir del primer mes siguiente a diciembre en que la precipitación de referencia acumulada en la cuenca desde el inicio del año hidrológico fuera superior a la precipitación media acumulada en la cuenca en el mismo periodo* (Protocolo Adicional, art. 3.4).

Para aplicar este precepto se han considerado los cinco periodos de excepción identificados (años 1941-42, 1944-45, 1948-49, 1975-76 y 1991-92) y se han obtenido las precipitaciones de referencia acumuladas desde el inicio de cada año hidrológico posterior a cada periodo de excepción, expresadas como porcentaje respecto a la precipitación de referencia media, según se muestra en la figura siguiente.

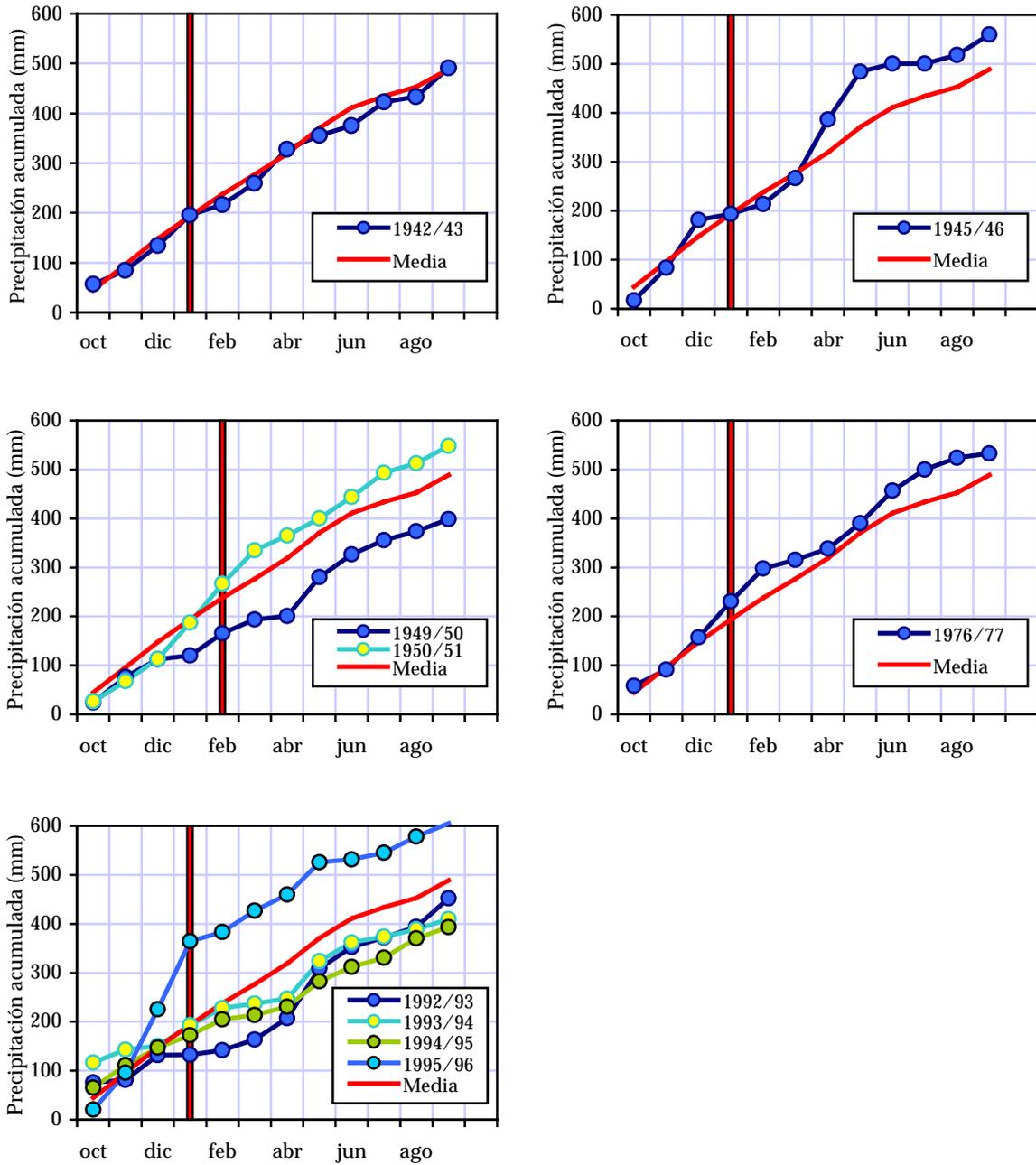


Figura 12. Identificación de la finalización de los periodos de excepción del régimen de caudales mínimos según el Convenio con Portugal

Con estas curvas de precipitación de referencia acumulada se han identificado los años en los que, a partir de diciembre, el valor acumulado supera a la media en el mismo periodo, en cuyo caso se da por finalizado el periodo de excepción. Esto sucede al año siguiente en el caso de los periodos que comienzan en 1941-42, 1944-45 y 1975-76, se prolonga durante un año más en el periodo que comienza en 1948/49 y durante tres años más en el que comienza en 1991/92, por lo que este último periodo se prolongaría durante cuatro años, coincidiendo con la sequía de la primera mitad de los años noventa.

Con todo ello se dispone del régimen definitivo de caudales mínimos según las condiciones establecidas en el Convenio de Albufeira. Este régimen, junto con las aportaciones totales de cálculo consideradas en el análisis se muestran en la figura siguiente.

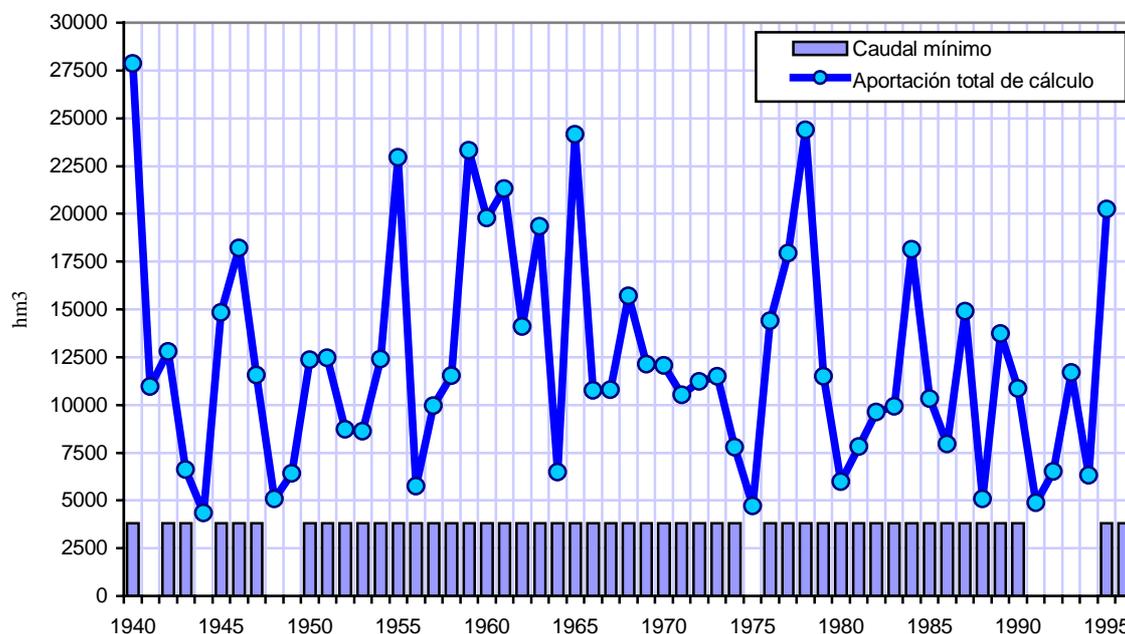


Figura 13 Régimen de caudales mínimos según el Convenio con Portugal y aportación total de cálculo

En cuanto a las condiciones estacionales de este régimen de caudales, el Convenio no establece ningún criterio ni limitación. Por ello, y a efectos exclusivamente de llevar a cabo las determinaciones propias de este Plan Nacional, se ha adoptado el régimen mensual de caudales que se indica en la figura siguiente. Este régimen se ha obtenido como promedio mensual de los volúmenes entrantes a Portugal en la situación de demandas correspondiente al segundo horizonte previsto en el Plan de cuenca sin imponer ninguna limitación, salvo el cumplimiento de los requerimientos ambientales previstos en el propio Plan y anteriormente señalados. La pauta mensual de circulación de flujos así obtenida se aplica al volumen anual de 3.800 hm³ fijado en el Convenio, obteniéndose el régimen mensual indicado en la figura. Como también puede apreciarse en la figura, el régimen obtenido es prácticamente idéntico al que se registraría en condiciones naturales.

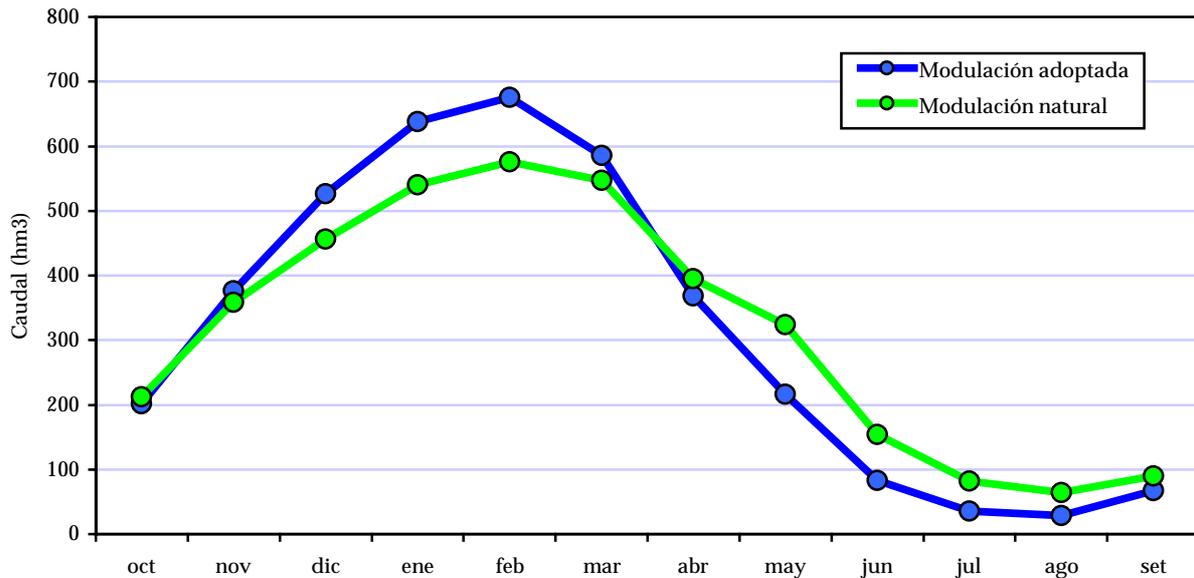


Figura 14 Variación mensual del régimen de caudales mínimos

El régimen de caudales así calculado se introduce como un requisito de caudales mínimos mensuales que deben circular en el último tramo del esquema, de la misma forma que se introducen los caudales mínimos por motivos ambientales. De esta forma, y de acuerdo con los criterios conceptuales establecidos en el Libro Blanco del Agua, el sistema condiciona su funcionamiento al cumplimiento de las restricciones de carácter ambiental (fijadas en el Plan de cuenca) y de carácter geopolítico (fijadas en el Convenio de Albufeira), que conjuntamente determinan el recurso potencial de la cuenca.

3.2.3. ELEMENTOS DE REGULACIÓN

En el cuadro adjunto se resumen los volúmenes de todos los embalses considerados en este análisis. En él se reflejan la capacidad total (hm³) y los volúmenes totales mensuales (hm³), considerando los resguardos previstos en el Plan de cuenca para el control de crecidas.

Se han considerado los embalses más significativos desde el punto de vista de la regulación. En algunos casos se han agrupado en un único elemento de regulación varios embalses en serie o en paralelo, siempre que esta agrupación no afectara negativamente a los objetivos del presente estudio. No se han incluido los embalses de uso hidroeléctrico, como Ricobayo o Aldeadávila, por suponer que su almacenamiento no está disponible para la regulación del sistema.

	Cap.	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set
Águeda	23	6	7	11	16	16	16	18	22	22	19	13	7
Aguilar+Requejada+Cervera	342	116	116	123	156	202	239	309	332	309	243	188	124
Barrios de Luna	323	32	48	81	162	210	258	313	313	313	258	178	81
Burgomillodo+Las Vencías	19	10	8	8	10	11	13	16	17	17	17	17	10
Cernadilla+Valparaíso+Agavanzal	459	138	115	92	92	92	115	138	138	161	161	161	138
Cogotas, Las	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
Compuerto+Camporredondo	169	34	34	51	68	85	101	164	164	152	118	85	51
Cuerda del Pozo	252	50	50	50	76	126	176	242	242	242	176	126	76
Porma	317	79	95	111	206	238	286	308	308	308	270	222	111
Linares del Arroyo	64	19	19	19	26	38	51	61	61	51	32	26	19
Riño	651	163	195	228	423	488	586	631	631	631	553	456	228
Santa Teresa	496	149	174	198	322	387	461	471	471	461	382	273	174
Uzquiza+Arlanzón	97	41	41	41	52	65	93	93	93	93	74	56	43
Villameca	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	3291	915	981	1092	1686	2037	2475	2843	2872	2840	2383	1877	1138

Tabla 6. Embalses de regulación considerados

Además de estos embalses se ha incluido en el esquema un embalse ficticio que permite reflejar las posibilidades de almacenamiento y regulación en los acuíferos de la cuenca. De este embalse dependen las demandas de riego que el Plan de cuenca considera atendidas con aguas subterráneas.

En efecto, en la cuenca del Duero existen 21 unidades hidrogeológicas delimitadas, con una superficie de afloramiento permeable próxima a los 53.000 km², lo que representa casi un 70% de la superficie de la cuenca. La recarga media anual a estas unidades hidrogeológicas es del orden de 1.800 hm³/año, mientras que los bombeos son muy inferiores a esta recarga, del orden de 380 hm³/año.

Una gran parte de la explotación de los acuíferos en toda la cuenca (aproximadamente un 75%) se produce en 2 de las 20 unidades hidrogeológicas delimitadas, las denominadas Río Esla-Valderaduey y la Región de los Arenales, con unos bombeos medios de 70 hm³/año y 210 hm³/año (v. figura adjunta), y unas recargas medias de 189 hm³/año y 440 hm³/año. También conviene mencionar la importancia de las reservas almacenadas en esos acuíferos, que superan en total los 7.000 hm³, y los lentos tiempos de respuesta que se derivan del análisis de los caudales de agotamiento de los ríos que los drenan, de forma muy especial en el caso de la unidad Río Esla-Valderaduey.



Figura 15. Bombeos medios anuales (hm^3) en las unidades hidrogeológicas de la cuenca del Duero

Las cifras anteriores muestran por una parte que los bombeos en la cuenca del Duero son bastante inferiores a las recargas, y por otra, que se concentran prácticamente en 2 unidades. Parece razonable por tanto asumir, a efectos del modelo, que las extracciones de aguas subterráneas se produzcan, tal y como se ha indicado, desde un gran acuífero que se situaría en el tramo final de cuenca.

3.2.4. CONDUCCIONES

El cuadro resumen de conducciones básicas que se adopta en este estudio, es el adjunto. Por analogía con los criterios adoptados en los otros análisis de este Plan Nacional, no se impone ninguna limitación de servicio estacional.

CONDUCCIÓN	Q_{\max} (m^3/s)	Q_{\max} (hm^3/mes)
Canal de Castilla Ramal Norte	8,2	21
Canal de Castilla Ramal Campos	16,6	43
Canal de Castilla Ramal Sur	13,5	35
Elevación de Palencia	4	10
Canal Esla-Carrión	12	31

Tabla 7. Conducciones consideradas

En el esquema se han añadido dos conducciones ficticias que parten de Gormaz, en el Alto Duero, y de Villalcampo, en la confluencia de Duero y Esla, y que permiten evaluar los recursos sobrantes en las condiciones que posteriormente se indican.

3.2.5. ESQUEMA GENERAL

Con los elementos descritos en epígrafes anteriores se ha construido el sistema básico de explotación general de la cuenca del Duero, tal y como se muestra en el gráfico adjunto.

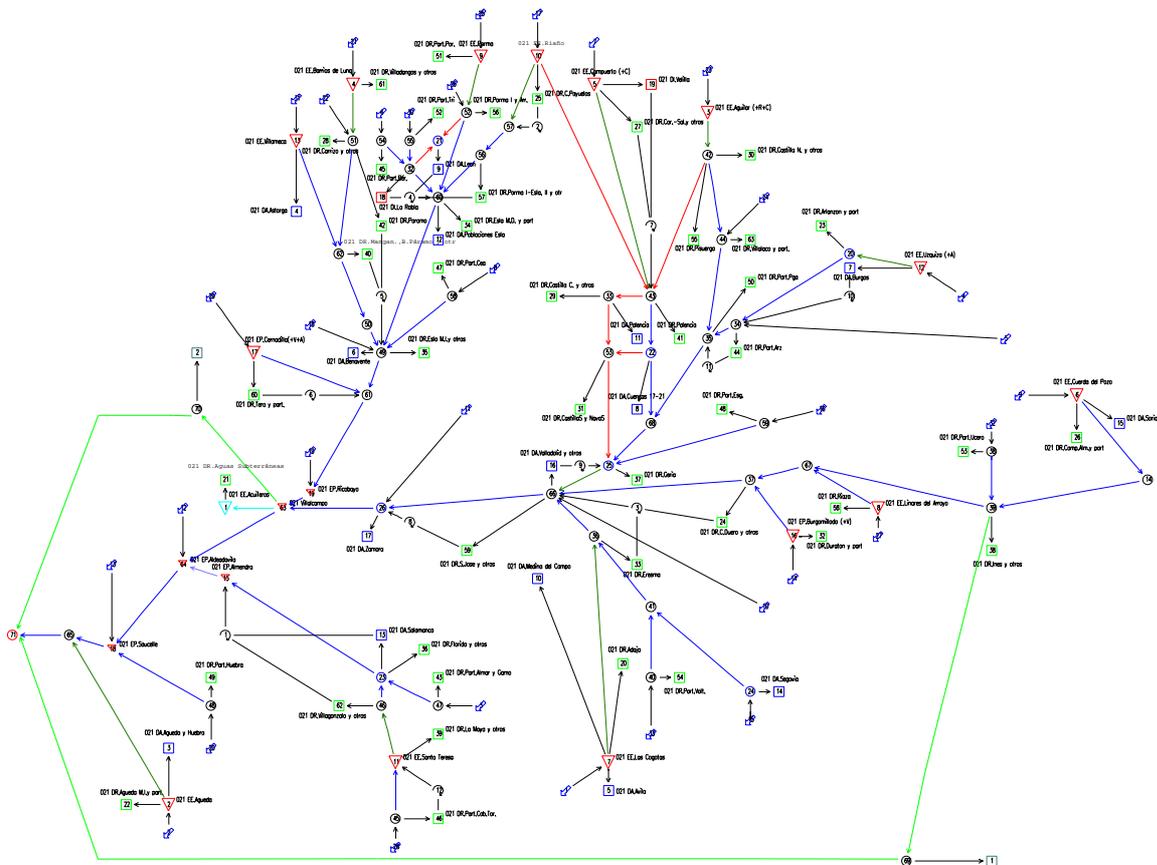


Figura 16. Sistema básico de explotación de la cuenca del Duero

Este sistema es el que se somete a optimización de la gestión y análisis de la regulación general, con los resultados que seguidamente se exponen.

3.3. RESULTADOS OBTENIDOS

En la situación de partida se describe la explotación del sistema con las demandas correspondientes al segundo horizonte de la Plan Hidrológico de la cuenca del Duero, pero sin ejecutar ninguna infraestructura adicional.

En esta situación de partida se observa que, si no se ejecutara ninguna obra adicional de regulación, la cuenca tendría serios problemas para atender la totalidad de las demandas correspondientes al segundo horizonte del Plan con suficiente garantía. Sería inviable en la práctica atender algunas de estas demandas salvo que, como se ha indicado, se introduzcan nuevos elementos de infraestructura, o las demandas no se desarrollen hasta las máximas cuantías previstas en el Plan, lo que alerta sobre la necesaria prudencia a la hora de materializar tales previsiones.

A partir de esta situación base se han estimado los excedentes generados en distintos puntos de la cuenca. Por excedentes se entienden los caudales circulantes por la cuenca cuya detracción no afectaría en nada a los suministros a las demandas, caudales ecológicos y compromisos internacionales, durante la totalidad del periodo de simulación. La evaluación de estos caudales no presupone, pues, la introducción de ninguna demanda de trasvase adicional en la cuenca; se trata, exclusivamente, de los sobrantes que quedan en la cuenca una vez que se han atendido todas las demandas internas en la medida de lo posible. Los caudales así obtenidos no están garantizados, presentan una natural irregularidad, y, como se ha dicho y conviene reiterar, se obtienen de forma que no afecten en modo alguno al comportamiento del sistema.

Conforme a lo expuesto en otros documentos de este Plan Hidrológico Nacional, se han considerado dos posibles puntos de derivación, ambos sobre el río Duero, cuyos valores medios de sobrantes obtenidos, en la hipótesis de funcionamiento exclusivo de cada uno de ellos, son los reflejados en la tabla y figura adjuntas.

Punto de toma	Aport. natural de cálculo (hm ³ /año)	Aport. media a largo plazo (hm ³ /año)	Excedentes (hm ³ /año)		
			Media	Máximo	Mínimo
Alto Duero (en Ucero, cerca de Gormaz)	362	226	167	691	0
Bajo Duero (tras Esla, en Villalcampo)	9934	6823	4866	17943	0

Tabla 8. Estimación de excedentes exclusivos en los puntos de toma

Como puede verse, los sobrantes medios existentes en cabecera son ciertamente reducidos, mientras que en el bajo Duero alcanzan valores muy importantes y, en ambos casos, con fuerte irregularidad, existiendo años en que se anulan. Dado que estos resultados son el dato inicial para la posible consideración de transferencias intercuenas, estudiaremos con detalle las características y disponibilidad de tales excedentes en un epígrafe posterior.

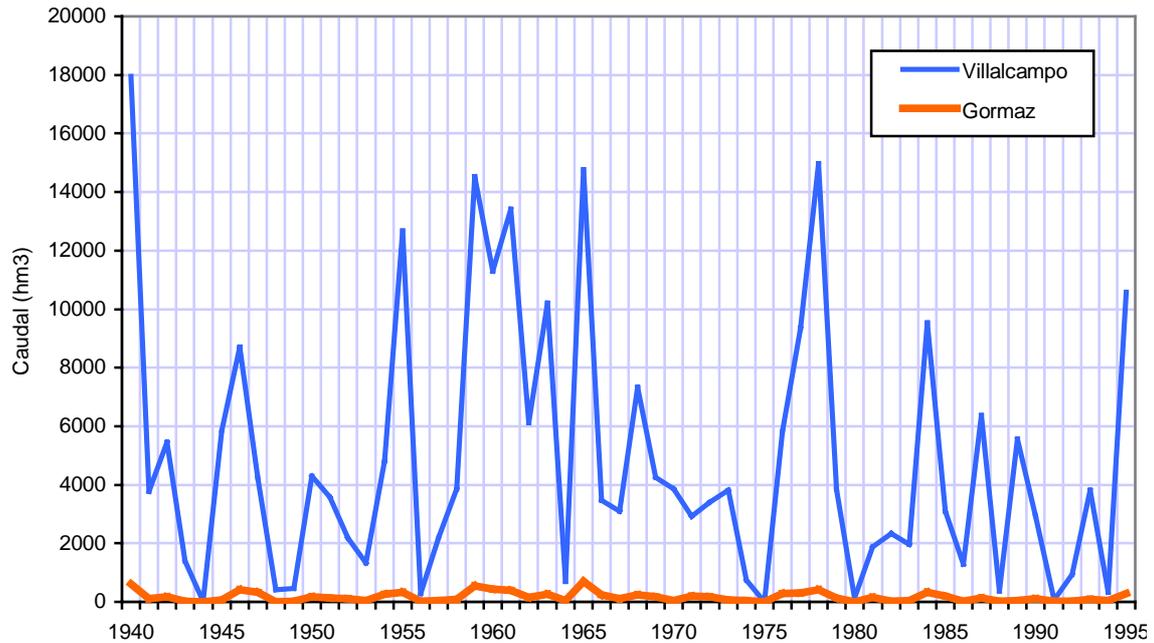


Figura 17. Series de sobrantes anuales exclusivos (hm³) en la cuenca del Duero

Un aspecto de importancia fundamental en el análisis es la comprobación de la satisfacción del Convenio con Portugal. En la figura siguiente se presenta la serie de aportaciones anuales que entran en Portugal tanto sin detracción de ningún excedente como en cada una de las alternativas de toma, y en el supuesto extremo, técnicamente inviable, de derivación de *todos* los caudales excedentarios. En la figura también se muestran los valores medios resultantes en cada caso.

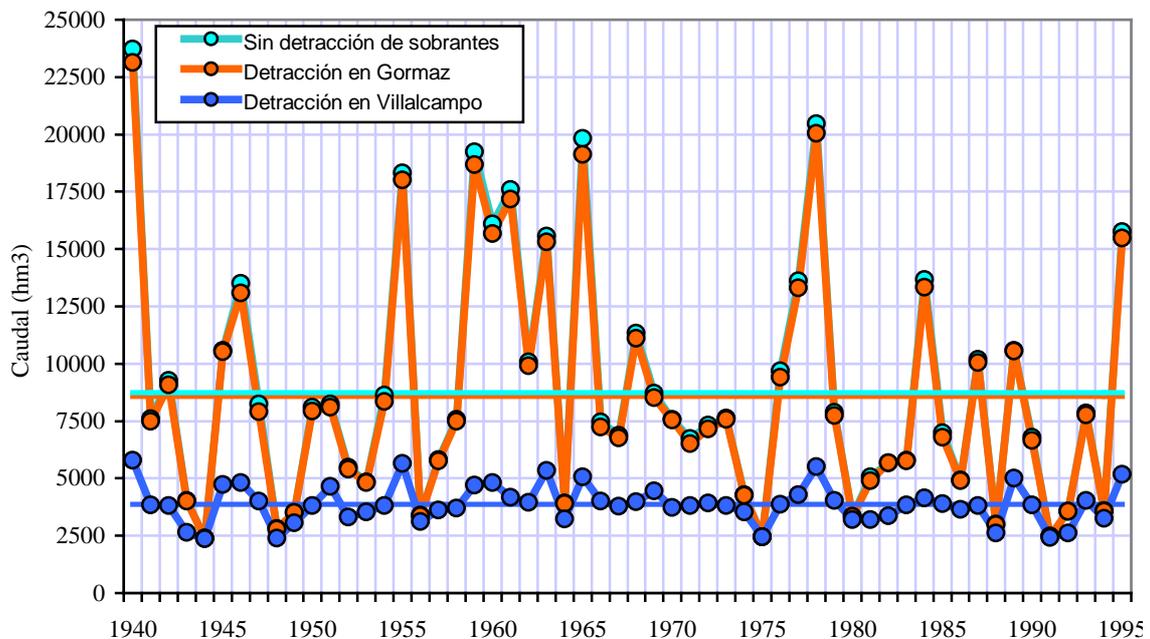


Figura 18. Caudales mínimos entrantes a Portugal supuesta la detracción de todos los sobrantes

Como puede apreciarse, la detracción de todos los sobrantes en Gormaz apenas presenta incidencia en el régimen de caudales entrantes a Portugal, cuyo aporte medio sería de unos 8.580 hm³/año, frente a 8.750 hm³/año sin detracción de sobrantes. Sin embargo, la detracción teórica de todos los sobrantes en Villalcampo supondría una importante reducción, quedando las entradas a Portugal reducidas a unos 3.900 hm³/año de media. En todo caso, y como se acaba de mencionar, estas detracciones totales son técnicamente inviables y su consideración sirve tan solo para acotar los caudales mínimos de los que se dispondría en tal caso límite. El análisis concreto de la situación resultante de la detracción de sobrantes que se considera técnicamente viable, y que ha de adoptarse como situación de cálculo, se realiza en un epígrafe posterior, donde podrá comprobarse el cumplimiento de las condiciones establecidas en el Convenio de Albufeira.

A partir de las series obtenidas en la forma descrita, en el siguiente epígrafe se aborda el análisis de los excedentes desde el punto de vista de su disponibilidad para las posibles transferencias externas.

3.4. LA DISPONIBILIDAD DE SOBRANTES

3.4.1. INTRODUCCIÓN. SERIES OBTENIDAS

Como se ha visto, el análisis del sistema de explotación global de la cuenca del Duero muestra que, en la situación futura, con todos los desarrollos previstos en la planificación hidrológica de la cuenca española, y fijando la condición previa de cumplimiento de los compromisos internacionales establecidos en el acuerdo con Portugal, se producirán unos flujos en la frontera con cuantía media de unos 8.700 hm³/año. Si de estos se deducen los 3.800 correspondientes al Convenio internacional, resulta disponerse de unos 4.900 hm³/año calificables, en términos jurídicos, como sobrantes. Si no se alcanzase el desarrollo completo de todos aprovechamientos previstos a largo plazo en el Plan Hidrológico, tal cuantía de sobrantes se vería correspondientemente incrementada.

La figura adjunta muestra las evaluaciones de sobrantes en los dos puntos considerados como posibles orígenes de las transferencias, y con el criterio de puntos exclusivos, es decir, considerados como fuentes únicas, de uno en uno por separado, como si el otro no existiese, y solo pudiese derivarse agua exclusivamente desde el punto considerado.

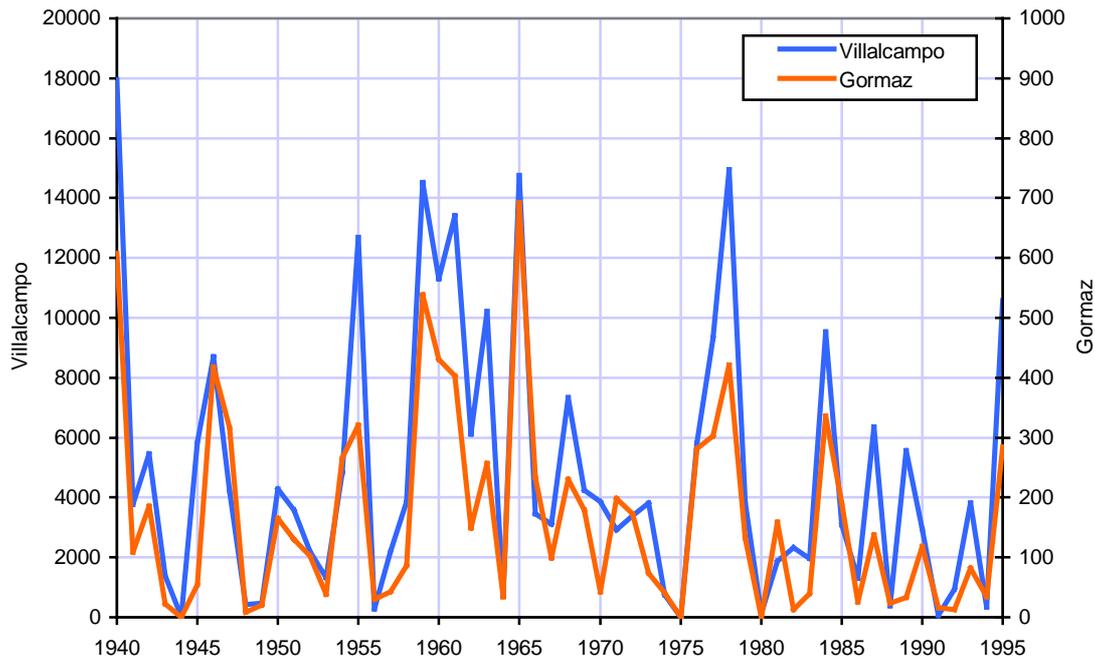


Figura 19. Sobrantes anuales exclusivos (hm³) en la cuenca del Duero

Puede verse que ambas series presentan una gran concordancia, como era de prever tratándose de puntos de la misma cuenca, a lo largo del mismo eje fluvial. Sus valores medios anuales son, como se vió, de unos 170 hm³/año en Gormaz, y unos 4.800 hm³/año en Villalcampo. Estas cifras son, pues, cotas máximas absolutas del sobrante aprovechable en cada caso, considerado como el único punto de detracción de la cuenca.

Es también perceptible en la figura la muy elevada irregularidad interanual, con importantes rangos de oscilación en todos los casos, y años en los que prácticamente no hay sobrantes disponibles.

Por otra parte, además de su comportamiento hiperanual es necesario conocer la estructura estacional de los caudales excedentarios. A estos efectos, la figura adjunta muestra los valores medios y distintos percentiles de las series mensuales en los dos puntos considerados.

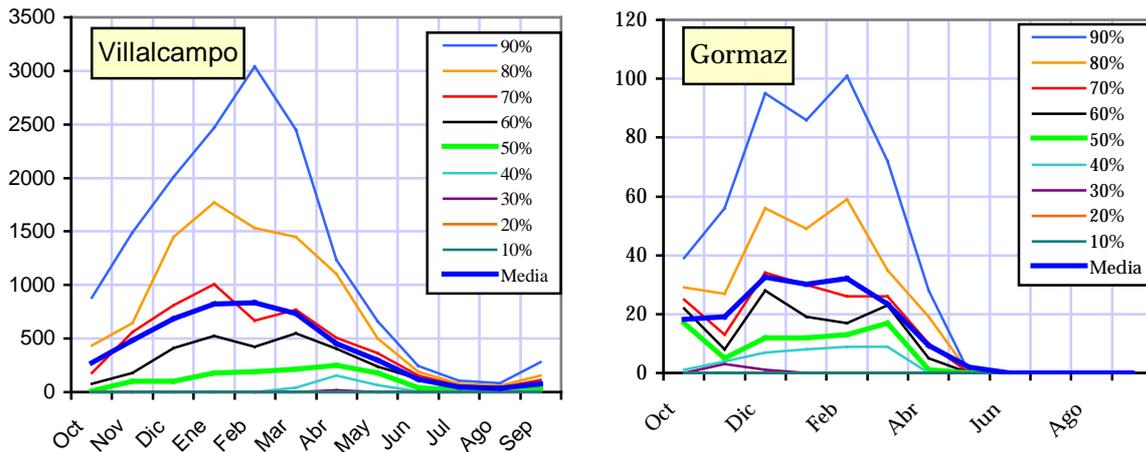


Figura 20. Percentiles y medias de los caudales sobrantes mensuales exclusivos (hm^3) en la cuenca del Duero

La inspección visual de estos gráficos permite obtener algunas interesantes conclusiones. En primer lugar, puede verse que, pese a las notables diferencias de escala de los dos puntos, los patrones de sobrantes estacionales muestran un comportamiento común, y es la práctica inexistencia de sobrantes en el cuatrimestre de junio a septiembre. En ambos casos, los sobrantes se generan fundamentalmente en el semestre de noviembre a abril. Se observa asimismo que las medias son mucho mayores que las medianas (del orden del doble), lo que muestra una muy elevada asimetría en la distribución de los excedentes mensuales.

Al igual que se hizo en los casos del Ebro y Tajo, en los que se apreciaba un régimen similar, este patrón de comportamiento sugiere emplear una demanda continua en los 8 meses de octubre a mayo y nula en el cuatrimestre de junio a septiembre. Con ello se minimiza el impacto sobre la circulación de flujos en la cuenca, y se reduce la necesidad de regulación en origen para un nivel dado de demanda externa. El hecho de que este patrón sea similar en las tres cuencas parece revelar un modelo generalizado de comportamiento de los excedentes en las posibles zonas de origen.

Los resultados anteriores corresponden a la hipótesis de funcionamiento exclusivo de los puntos de toma. El supuesto de funcionamiento simultáneo de ambas fuentes de suministro implicaría una situación en la que los sobrantes en Gormaz son iguales a los obtenidos en la hipótesis exclusiva, y los de Villalcampo serían iguales a los exclusivos menos los de Gormaz.

3.4.2. ALTO DUERO

Fijando la atención en la posible derivación del curso alto del Duero, y de igual forma a como se hace en el análisis de los sobrantes del Tajo y Ebro, evaluaremos, para diferentes valores de la demanda externa y del hipotético almacenamiento disponible, el comportamiento de distintos indicadores de garantía de atención de esta demanda,

en un régimen de funcionamiento simultáneo. Se evaluará también la posibilidad de derivación de sobrantes sin patrón de demanda preestablecido. Debe notarse que la hipótesis de simultaneidad es conservadora respecto a los máximos derivables, pues no necesariamente ambas fuentes se activarán en el diseño final óptimo de las transferencias elegidas.

Las figuras adjuntas muestran, para el supuesto de una demanda continua en los 8 meses octubre-mayo y nula en junio-septiembre, los valores de la garantía mensual, garantía volumétrica y déficit anuales acumulados para 1, 2 y 10 años, según el almacenamiento disponible, y para cada total anual demandado.

Asimismo, se incluye finalmente un gráfico que, prescindiendo de la especificación formal de demanda en 8 meses, muestra el volumen anual de sobrantes que podría derivarse ($\text{hm}^3/\text{año}$) en función de la capacidad de la toma ($\text{hm}^3/\text{año}$), y para diferentes supuestos de almacenamiento disponible (hm^3). Se incluye en este gráfico la línea de 45° , representativa del aprovechamiento integral de los sobrantes circulantes.

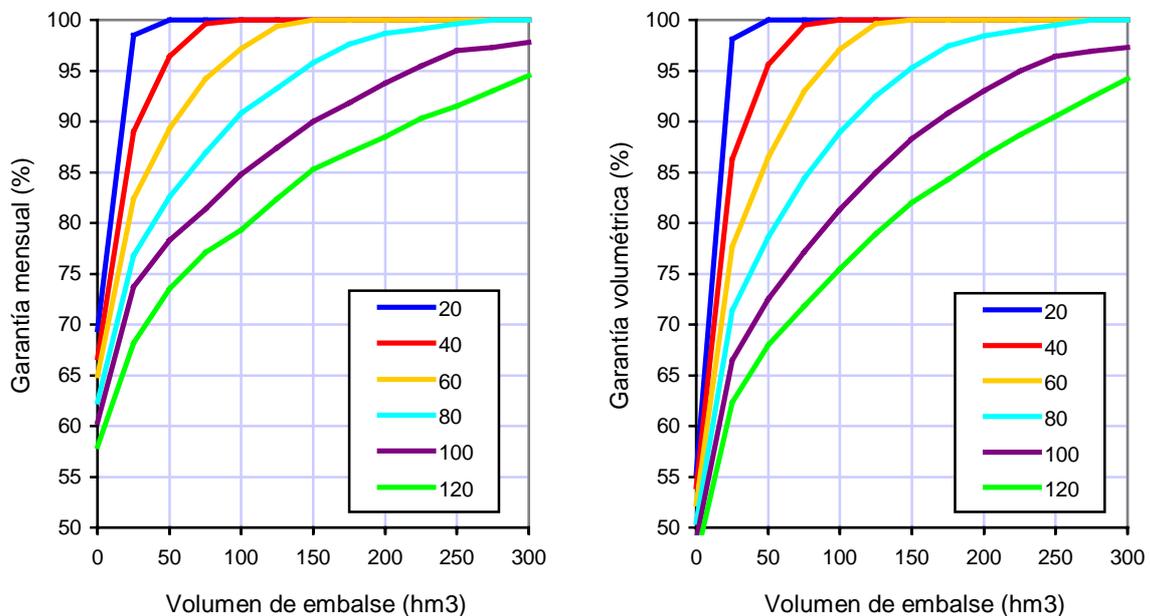


Figura 21. Alto Duero. Garantías mensual y volumétrica para demanda continua en 8 meses

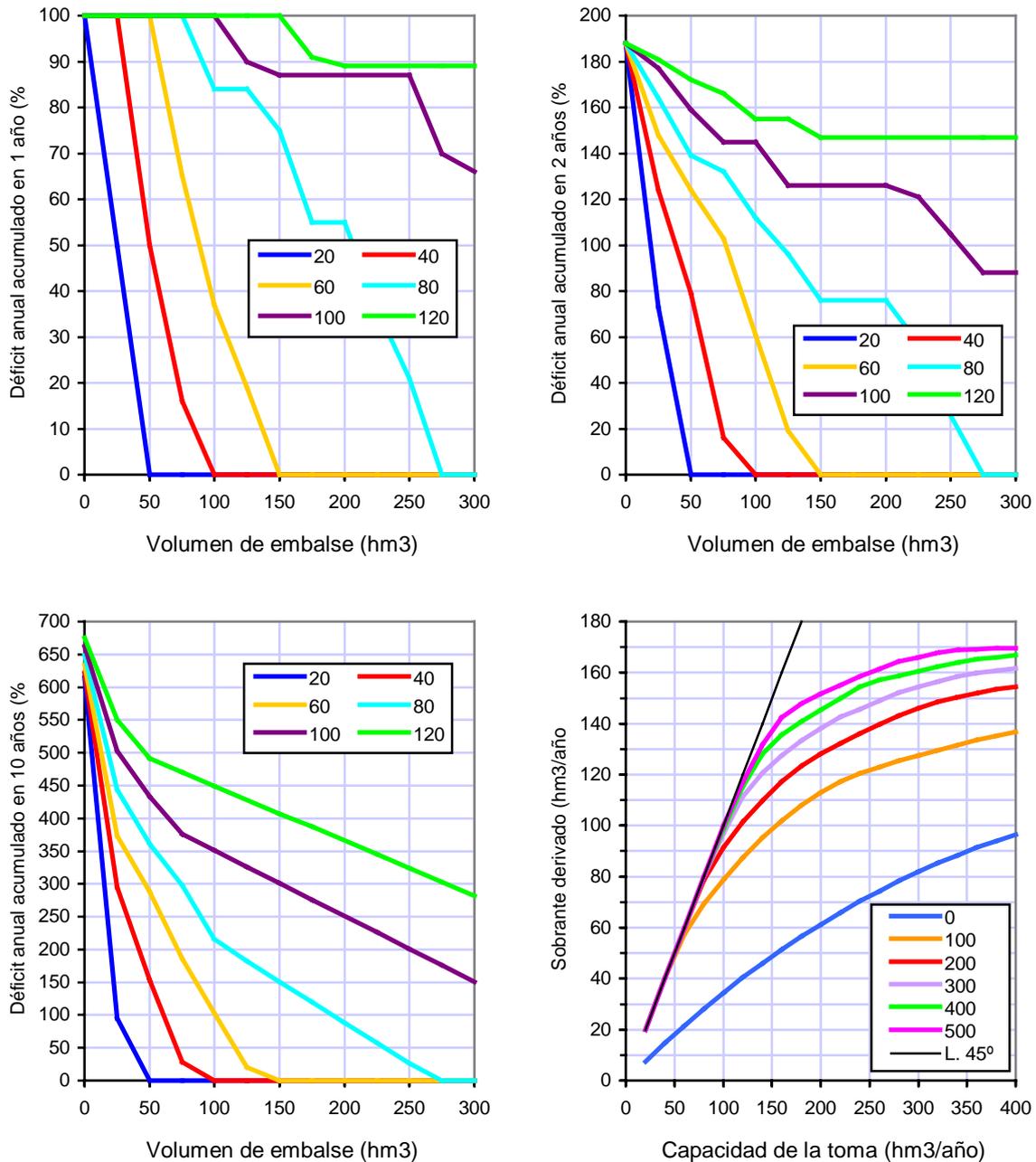


Figura 22. Alto Duero. Déficit anuales acumulados para demanda continua en 8 meses, y excedentes derivables según capacidad de toma

Como se observa en las figuras, si no existe ninguna capacidad de almacenamiento disponible, y se especifica una demanda continua de 8 meses, las garantías mensuales son inferiores al 70%, las volumétricas inferiores al 60%, y se producen fallos absolutos de suministro (100, 180, 600% de déficit en 1, 2 y 10 años), lo que supone un resultado muy deficiente, incluso para demandas reducidísimas, del orden de 20 hm³/año.

En los gráficos de garantías mensual y volumétrica se observa que, si puede disponerse de alguna capacidad de almacenamiento, los rendimientos mejoran sensiblemente hasta volúmenes de embalse del orden de 50-100 hm³, y después continúan mejorando

pero a un ritmo más reducido. Ello da una primera idea de la disponibilidad mínima que parece recomendable. Si se examina el conjunto de indicadores de déficit acumulado puede verse un comportamiento muy desfavorable, con fuerte irregularidad y rachas breves extremadamente adversas que no permiten garantizar prácticamente nada. Cabe concluir que si no hay almacenamiento disponible en origen, las garantías serían nulas incluso para transferencias muy pequeñas, que un pequeño almacenamiento de unos 50 hm³ permitiría derivar unos 40-50 hm³/año; de 100 permitiría unos 60, y si el almacenamiento se elevase a 300, podrían derivarse unos 80 hm³/año, muy poco más que antes.

Un enfoque alternativo al expuesto hasta ahora es el de considerar una cierta capacidad de almacenamiento y de toma, y derivar los sobrantes que sea posible en cada momento encomendando la regulación de estas derivaciones a los lugares de tránsito o destino, fuera del sistema cedente. No se plantea, pues, una demanda de transferencia como tal, sino un máximo trasvasable anual –dado por la máxima capacidad de la toma en régimen continuo- y una facilidad de derivación no regulada del sobrante existente en cada momento, hasta alcanzar a lo sumo este máximo, sin ningún compromiso de disponibilidad ni regulación en la zona de origen. Este régimen parece, en principio, deseable siempre y cuando tal régimen de explotación sea técnicamente viable en el sistema global, con tránsitos y destinos.

Para valorar los resultados de esta posibilidad puede verse el último gráfico, indicativo de los volúmenes medios anuales que podrían derivarse en función de la capacidad de la toma, y para diferentes supuestos de almacenamiento disponible.

Como puede comprobarse, si el almacenamiento disponible es cero, los volúmenes de sobrantes derivables crecen con la capacidad de toma con coeficientes de dimensionamiento de 3 para 100 hm³/año, 3'3 para 200 hm³/año, y casi 4 para 400 hm³/año, valores claramente ineficientes.

Puede verse que si pudiese disponerse de algún almacenamiento en origen, el comportamiento mejoraría muy sensiblemente hasta capacidades de toma del orden de 150 hm³/año, y en menor medida para valores mayores. Con 50 hm³/año de capacidad de toma podrían derivarse unos 50 hm³/año aún con almacenamientos iniciales reducidos, del orden de 100 hm³, por lo que esta podría ser una opción razonable y eficiente.

Asimismo, si pudiese disponerse de 100 hm³ de almacenamiento en origen podrían derivarse hasta 100 hm³/año en media con capacidad de toma de 150, lo que resulta también un comportamiento relativamente eficiente.

En definitiva, combinando ambos enfoques y considerando que las cerradas identificadas para posibles transferencias permiten embalsar hasta algo más de 100 hm³ (115 en Gormaz, además de 340 en Velacha, previsto en el Plan Hidrológico del Duero con destino a su regulación propia), parece prudente plantear la instalación de una toma limitada a 60 hm³/año de capacidad de diseño, con lo que cabría esperar una derivación media de 57 hm³/año (lo que supone un coeficiente de dimensionamiento de la conducción próximo a 1).

Bajo este supuesto, la serie anual y los cuantiles mensuales del sobrante realmente derivado son los mostrados en el gráfico adjunto.

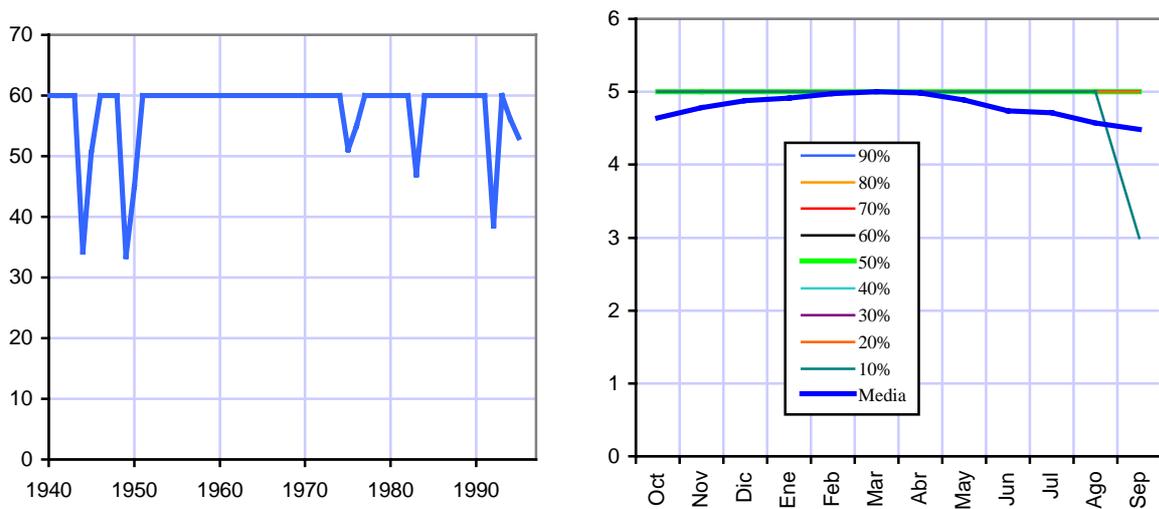


Figura 23. Alto Duero. Serie anual y cuantiles mensuales de los sobrantes derivables

Como puede verse, existe una excelente regularidad, pues la mayoría de los años se derivan los 60 hm³/año, y solo en muy pocos años se llega a dar un mínimo de 35. No hay ningún año en que no puedan derivarse sobrantes.

Debe recordarse que estas derivaciones se refieren a la serie de sobrantes en el río, y no a la de caudales circulantes reales, que es, como vimos, mayor (unos 226 hm³/año frente a 167 de sobrantes, de los que se derivará una media de 57). La parte del total circulante que no es requerida aguas abajo para ningún uso actual o futuro, restricción ambiental, o acuerdo internacional es la de sobrante.

Observando los cuantiles mensuales puede verse que son extraordinariamente regulares, con derivaciones de 5 hm³/año casi todos los meses, y muy pocos fallos concentrados en el mes de septiembre. El modelo conceptual de 8 meses octubre-mayo es, pues, muy conservador en este caso, y podría suponerse sin dificultad caudal continuo para estudiar la viabilidad técnica de este régimen de envíos en los sistemas de tránsito y de destino.

Con esta detracción de sobrantes, los caudales entrantes a Portugal apenas se verían afectados y serían prácticamente idénticos a los que se producirían si se alcanzasen las previsiones del segundo horizonte del Plan de cuenca. Más adelante se visualizará este hecho.

3.4.3. BAJO DUERO

Repitiendo los análisis anteriores para la posible derivación en el bajo Duero, desde el embalse de Villalcampo, las figuras adjuntas muestran, como antes, los distintos indicadores de comportamiento resultantes, también para requerimientos en el periodo de octubre a mayo (razonable a la luz de los cuantiles mensuales de sobrantes obtenidos), así como el sobrante derivable en función de la capacidad de toma para distintos posibles almacenamientos disponibles. Como antes, se incluye en este gráfico la línea de 45°, representativa del aprovechamiento integral de los sobrantes circulantes.

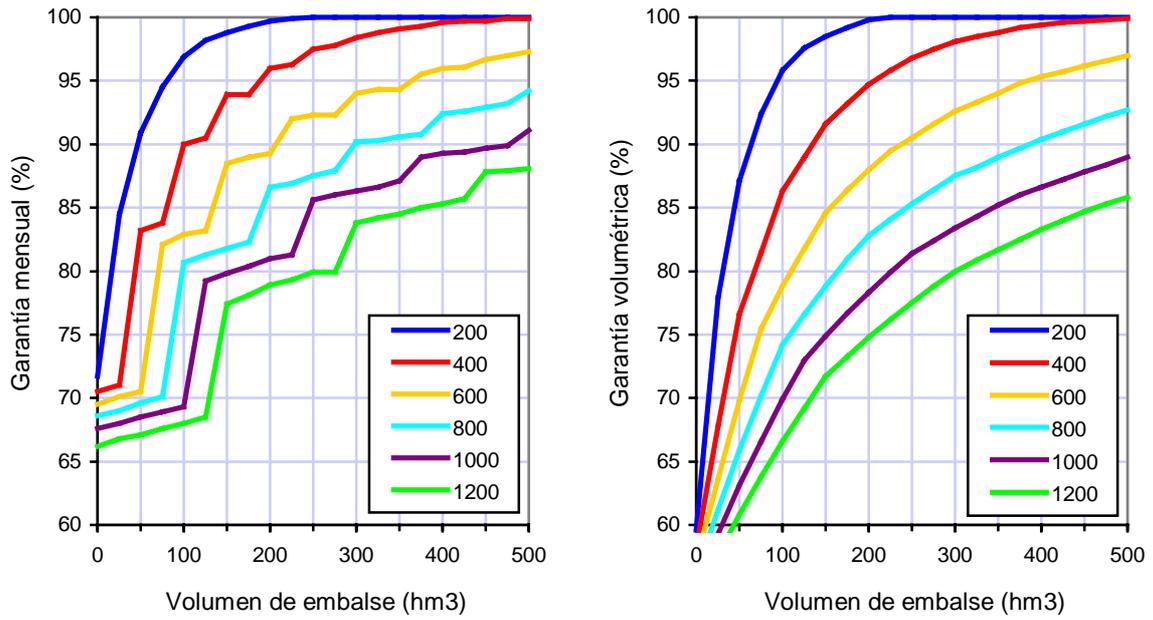


Figura 24. Bajo Duero. Garantías mensual y volumétrica para demanda continua en 8 meses

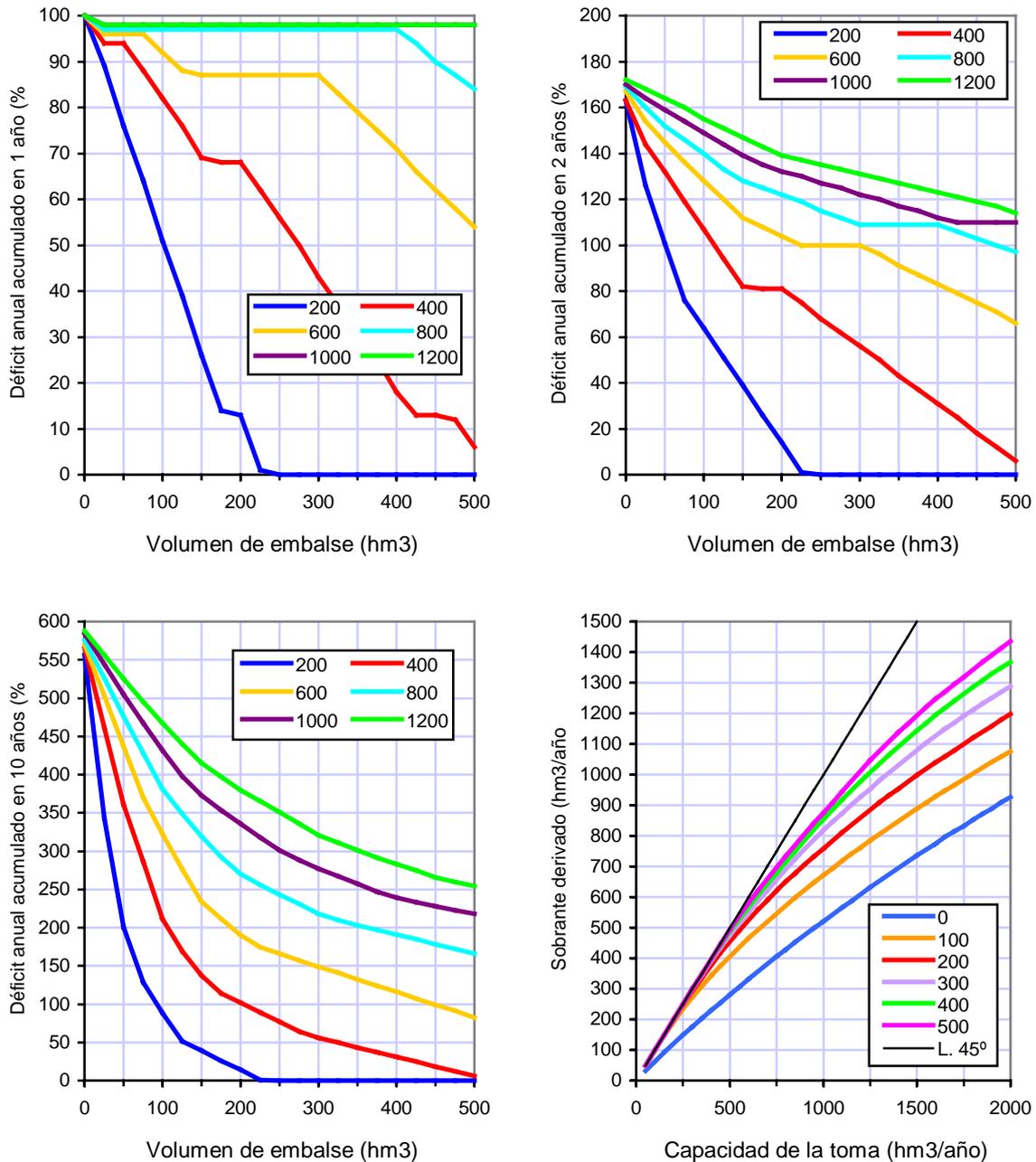


Figura 25. Bajo Duero. Déficit anuales acumulados para demanda continua en 8 meses, y sobrantes derivables según capacidad de toma

Como se observa en las figuras, si no existe ninguna capacidad de almacenamiento disponible, y se especifica una demanda continua de 8 meses, las garantías mensuales son inferiores al 75%, las volumétricas inferiores al 60%, y se producen fallos absolutos de suministro (100, 170, 550% de déficit en 1, 2 y 10 años), para demandas moderadas, del orden de 200 hm³/año, lo que supone un resultado muy deficiente.

No obstante, si puede disponerse de alguna regulación en origen la situación mejora sensiblemente, pues con 200 hm³ podrían alcanzarse garantías del orden del 95% tanto mensual como volumétrica para demandas de 400 hm³/año, y niveles de déficit

acumulados admisibles para esta demanda. Si se dispone de 400 hm³ de almacenamiento, puede alcanzarse un 95% mensual y volumétrico para demandas del orden de los 600 hm³/año, y el cumplimiento razonable del criterio de déficit acumulados para demandas incluso algo mayores.

Si se examina ahora el gráfico indicativo de los volúmenes medios anuales que podrían captarse en función de la capacidad de la toma, y para diferentes supuestos de almacenamiento disponible, puede apreciarse que, si el almacenamiento disponible es cero, los volúmenes de sobrantes derivables crecen de forma casi lineal con la capacidad de toma durante todo el recorrido, y son del orden del 45 al 60% de esta capacidad, sin que se aprecie con nitidez el punto de cambio. Si se dispone una toma de 500 hm³/año podrían derivarse unos 300, si se dispone de 1000 podrían derivarse 500, y si se dispone de 2000 podrían derivarse 900.

Puede verse, asimismo, que si se pudiese disponer de alguna capacidad de almacenamiento en origen, podrían derivarse cuantías bastante mayores. Con embalse de 200, podrían pasarse a 450 con la toma de 500, 750 con la toma de 1000, y 1200 con la toma de 2000.

Puesto que en Villalcampo existe cierta capacidad de almacenamiento susceptible de ser parcialmente empleada con destino a las transferencias, es razonable suponer, en principio, que, empleando solo 100 hm³ de almacenamiento, pueden derivarse sin dificultad una media próxima a los 800 hm³/año con una toma de 1250, lo que supone un coeficiente de dimensionamiento de 1,6. En definitiva, puede concluirse que la posible captación en el bajo Duero es hidrológicamente interesante, pues puede proporcionar volúmenes importantes a costes de toma razonables, y sin afectar en nada a los compromisos establecidos con Portugal.

Bajo este supuesto, la serie anual y los cuantiles mensuales del sobrante realmente derivado son los mostrados en el gráfico adjunto.

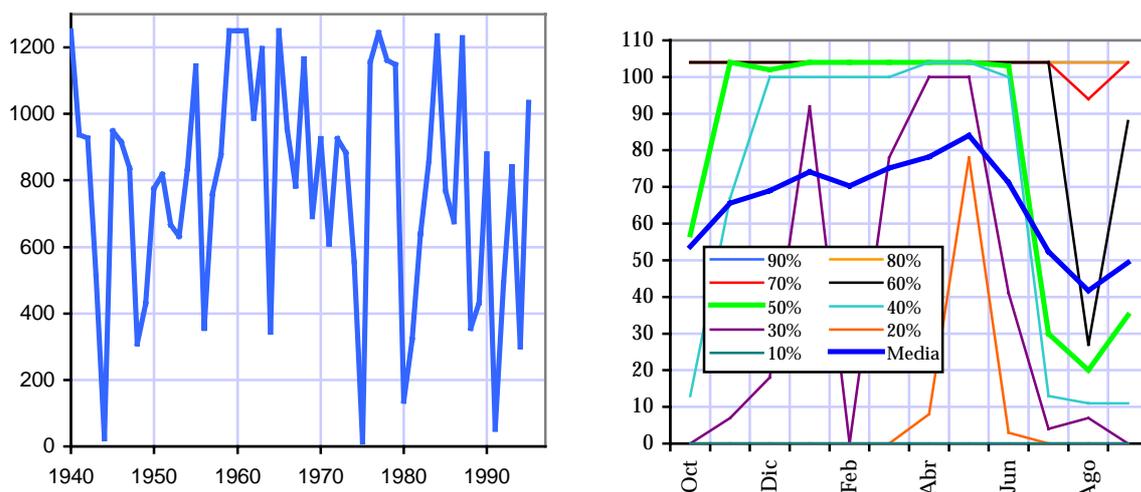


Figura 26. Bajo Duero. Serie anual y cuantiles mensuales de los sobrantes derivables

Como puede verse, la derivación sería irregular, la mayoría de los años se derivan entre 700 y 1200 hm³/año, y existen 4 en los que los sobrantes son muy reducidos (menores de 300 hm³/año).

Como en el caso anterior, debe recordarse que estas derivaciones se refieren a la serie de sobrantes en el río, y no a la de caudales circulantes reales, que es, como se vió, mucho mayor (unos 6821 hm³/año frente a 4866 de sobrantes, de los que se derivaría una media de 785).

Observando los cuantiles mensuales de este régimen puede verse que son reducidos (aunque no nulos, como sucedía en otras cuencas) en el periodo de julio a septiembre, lo que permite reafirmar la validez del modelo conceptual de 8 meses octubre-mayo, y su utilidad como primera aproximación a los efectos de estudiar la viabilidad técnica de este régimen de envíos en los sistemas de tránsito y de destino.

Con esta detracción de sobrantes, los caudales entrantes a Portugal supondrían un aporte medio de unos 7.950 hm³/año, con la variación anual indicada en la figura siguiente. En ella se han añadido los caudales que circularían si se alcanzara el máximo desarrollo previsto en el Plan de cuenca a largo plazo, los sobrantes derivados, y los caudales establecidos según el Convenio de Albufeira.

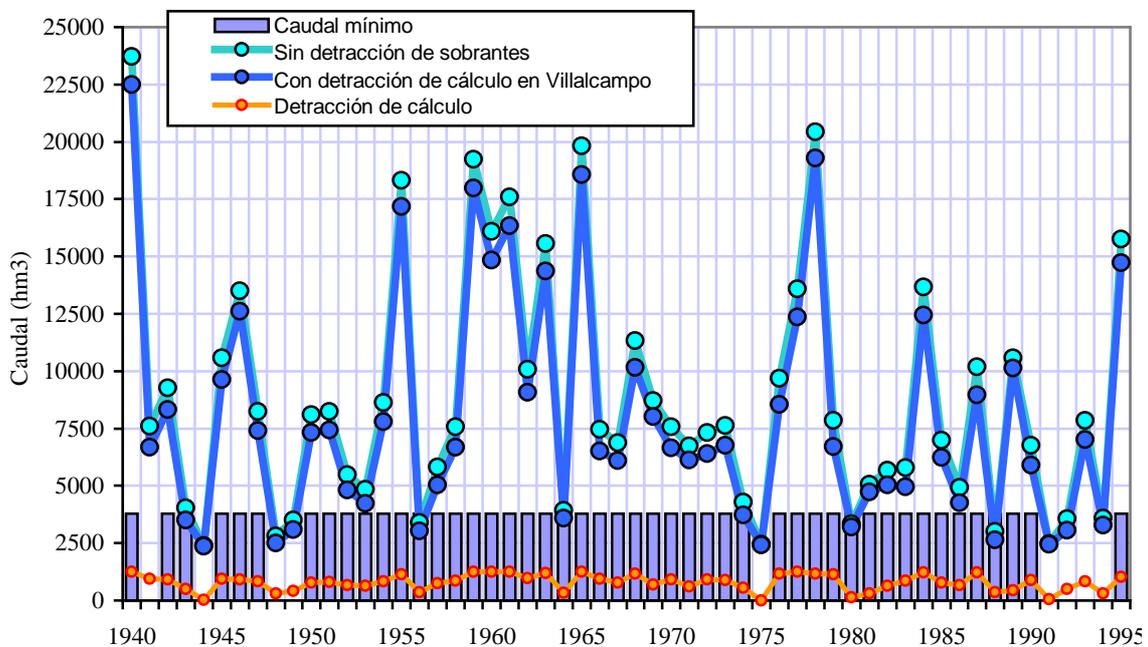


Figura 27. Caudales mínimos entrantes a Portugal supuesta la detracción de cálculo en Villalcampo

Como puede apreciarse en la figura, la detracción de los sobrantes de cálculo apenas introduciría variación en las entradas a Portugal respecto a las que se producirían sin detracciones de sobrantes en el supuesto de que se materializaran las actuaciones catalogadas por el Plan de cuenca a largo plazo. Es poco verosímil que estas actuaciones y previsiones de crecimiento, que revelan básicamente la potencialidad de desarrollo máximo de la cuenca, se alcancen en su totalidad, por lo que esta situación de referencia tendría la consideración de umbral inferior en lo que se refiere a las entradas a Portugal. Por todo ello puede concluirse que la detracción de cálculo obtenida es perfectamente compatible con el cumplimiento satisfactorio del Convenio de cooperación con Portugal en lo relativo a la cuenca del Duero.

3.4.4. ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS

Como se indicó anteriormente, en la denominada situación básica o de referencia no se han incorporado embalses futuros y se han incorporado las demandas previstas en el Plan de cuenca para el segundo horizonte. Ello obedece a un criterio de simplicidad que permite acotar suficientemente el posible sobrante existente. Para profundizar en el análisis y asegurar la robustez de los resultados obtenidos, se ha relajado este supuesto inicial introduciendo posibles embalses futuros y modificando el esquema de forma que se incorporen sus aportaciones intermedias.

Para ilustrar este efecto cabe considerar el caso de Velacha. Este posible embalse futuro, previsto en el Plan de cuenca, permitiría atenuar los problemas de suministro en esta zona. Su no consideración en la hipótesis básica hace que los recursos naturales considerados en toda la cabecera del Duero correspondan al embalse de Cuerda del Pozo, donde se incorpora una aportación media de 196 hm³/año, y al río Uceró, donde se incorporan 166 hm³/año. Ambas aportaciones totalizan, como se indicó anteriormente, 362 hm³/año y vienen a constituir todos los recursos naturales considerados en la cabecera del Duero bajo esta hipótesis.

Es evidente que tal cifra resulta sumamente prudente y conservadora, pues prescinde de todas las aportaciones de la intercuenca entre Cuerda del Pozo y Gormaz. Como referencia al respecto, la estación de aforos de San Esteban de Gormaz (2007), en las proximidades del origen considerado para la posible transferencia, registra una aportación media durante el periodo 1930-1990 de 745 hm³/año. Es decir, las aportaciones *naturales* consideradas en el análisis básico apenas llegan a alcanzar la mitad de las aportaciones *reales* registradas (que incluyen además, obviamente, todos los consumos y detracciones efectuados aguas arriba). Esta minoración de los recursos naturales tiene en la determinación de los excedentes un efecto más conservador que el que se derivaría de la regulación obtenida en el embalse de Velacha, como se verá a continuación. Como es obvio, adoptar tales criterios conservadores resulta razonable en una situación en la que se busca determinar posibles sobrantes. En definitiva, con objeto de analizar el efecto que el incremento de regulación en la cuenca podría tener en la determinación de los sobrantes, se ha vuelto a analizar el esquema incorporando algunos de los embalses futuros previstos en la cuenca, de acuerdo con la información disponible procedente de la Confederación Hidrográfica. Los embalses considerados, junto con el río donde se ubican y su capacidad se muestran en la tabla adjunta.

Embalse	Río	Capacidad (hm ³)
Velacha	Duero	350
Bernardos	Eresma	546
Los Llanos	Tormes	60
Iruña	Águeda	210
Torresandino	Esgueva	62
Torio	Torio	255
Total		1.483

Tabla 9. Características de los posibles embalses futuros

Esta capacidad representa un 45% de la capacidad actual de los embalses de regulación considerados en el esquema, que se cifra en 3.291 hm³.

El nuevo esquema resultante de la incorporación de estos embalses se muestra en la figura siguiente.

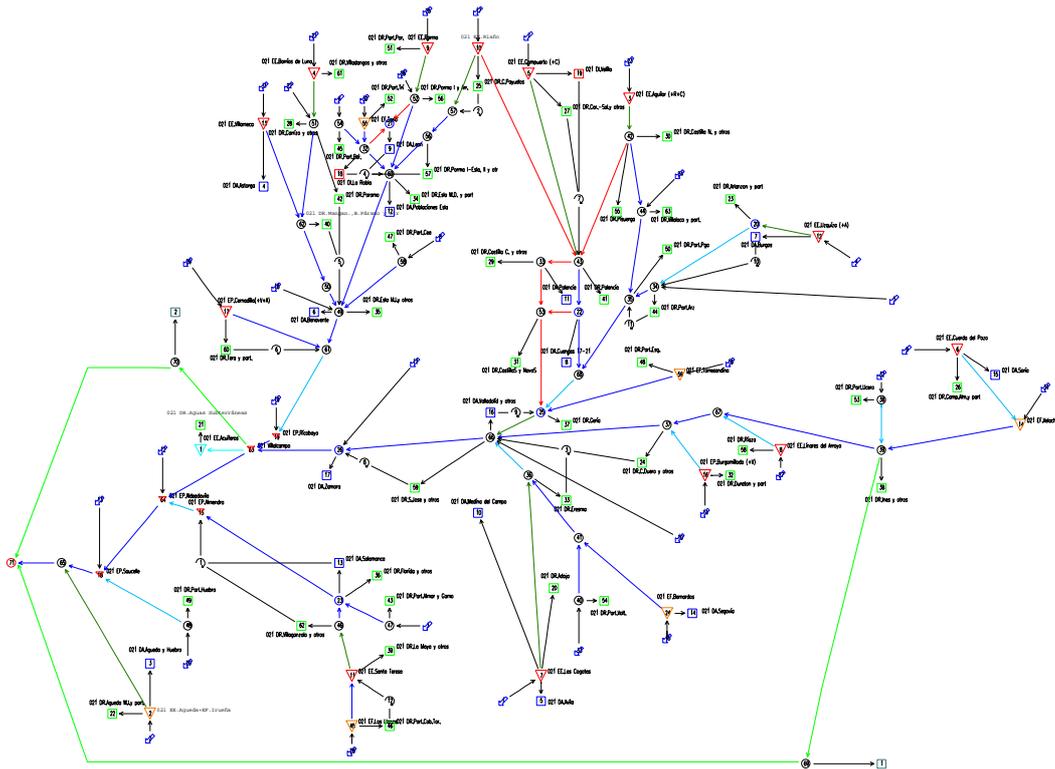


Figura 28. Sistema básico de explotación considerando embalses futuros

De los nuevos embalses, tan solo el de Velacha afectaría al cálculo de los excedentes en Gormaz, mientras que los excedentes en Villalcampo se verían afectados, además, por los de Benardos, Torresandino y Torio.

En el caso de los excedentes en Gormaz, la incorporación del embalse de Velacha requiere que se incluyan las aportaciones naturales de la cuenca vertiente a este embalse, pues en caso contrario su efecto regulador sería nulo. Estas aportaciones tienen un valor medio de 524 hm³/año, cifra muy similar a la indicada en el Plan de cuenca (Anejo n^o 1, Catálogo de Infraestructuras Básicas Requeridas por el Plan, tomo I) que considera 508 hm³/año. En la figura siguiente se muestra un detalle del esquema resultante en esta zona.

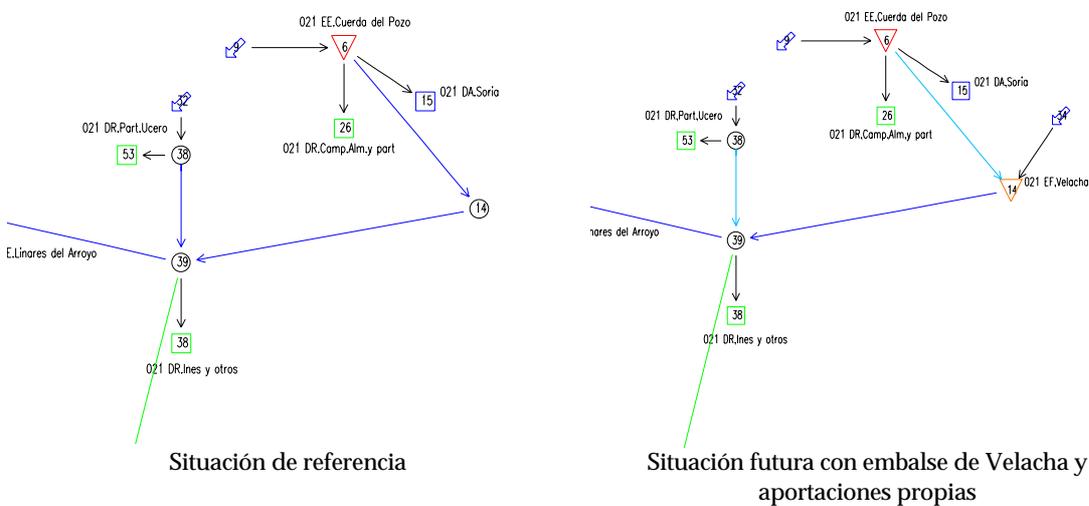


Figura 29. Detalles del esquema funcional en cabecera

Con este nuevo esquema, los excedentes medios en Gormaz resultan ser de 224 hm³/año, es decir, unos 57 hm³/año más que en la situación de referencia, donde se cifraban en 167 hm³/año. Ello es debido, como ya se ha indicado, a la no consideración de las aportaciones intermedias en esta situación, lo que resulta, como se acaba de comprobar, más conservador que considerar la regulación futura en el embalse de Velacha. Y esta nueva cifra de 224 hm³/año seguiría siendo conservadora, pues tampoco se han incluido las aportaciones de la intercuenca entre Velacha y Gormaz. En este sentido cabe recordar que las aportaciones reales registradas en San Esteban de Gormaz son 745 hm³/año, mientras que las aportaciones naturales consideradas en el esquema son 524 hm³/año hasta Gormaz, más 166 hm³/año del Ucero, es decir, un total de 690 hm³/año.

En lo que se refiere a los posibles excedentes en Villalcampo, el efecto de la nueva hipótesis es el contrario, produciéndose una disminución de los excedentes medios obtenidos, que ahora se reducen a 4.511 hm³/año, frente a los 4.866 hm³/año obtenidos en la hipótesis básica. Ello es debido al incremento de consumo en la cuenca como consecuencia de las mejores condiciones de suministro derivadas del incremento de regulación, y al incremento de las pérdidas por evaporación debido a los nuevos embalses, factores ambos que no llegan a verse compensados por el incremento de retornos debido a los mayores volúmenes suministrados.

Esta diferencia en los excedentes de Villalcampo, que puede ser importante en términos absolutos, tiene a nuestros efectos muy poca importancia relativa (supone una reducción de tan solo un 7%), sobre todo considerando que la captación media propuesta bajo la hipótesis de referencia se limitaba a una media de 785 hm³/año, cifra moderada y sobradamente alcanzable con los excedentes obtenidos en ambas situaciones.

La siguiente tabla resume las características de los hipotéticos sobrantes obtenidos en los dos posibles puntos de toma, bajo la hipótesis analizada de incorporación de nuevos embalses. Frente a la hipótesis básica, los excedentes medios en Gormaz aumentarían un 34%, y los de Villalcampo disminuirían un 7%.

Punto de toma	Aport. natural de cálculo (hm ³ /año)	Aport. media a largo plazo (hm ³ /año)	Excedentes (hm ³ /año)		
			Media	Máximo	Mínimo
Alto Duero (en Ucero, cerca de Gormaz)	689	503	224	1.199	0
Bajo Duero (tras Esla, en Villalcampo)	9.934	6.496	4.511	17.483	0

Tabla 10. Estimación de excedentes exclusivos en los puntos de toma con embalses futuros

En definitiva, y como recapitulación de este análisis complementario, puede concluirse que los resultados obtenidos bajo la hipótesis básica son robustos frente a la adopción de otros supuestos razonables alternativos como la incorporación de embalses futuros junto con sus correspondientes aportaciones intermedias. Ello reafirma la validez de las estimaciones y propuestas formuladas.

3.4.5. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Para perfeccionar los análisis realizados, cabe considerar el efecto que tendría sobre la serie de sobrantes una disminución generalizada de las aportaciones naturales de la cuenca del Duero como consecuencia de un hipotético cambio climático.

Tales efectos han sido analizados en el Libro Blanco del Agua, cuya conclusión al respecto puede resumirse en que no procede modificar las demandas hídricas previstas, pero sí cabe reducir las aportaciones en cuantías que son inciertas, pero que pueden tentativamente cifrarse, a efectos de diseño, en un 5% medio global al segundo horizonte del Plan (la horquilla correspondiente al Duero está en el 3-9% de disminución de aportaciones). Asimismo, se prevé también un aumento de irregularidad de las aportaciones, cuya cuantificación se ignora.

La figura adjunta muestra la circulación de caudales anuales prevista en el tramo internacional del río Duero, junto con las circulaciones resultantes tras una disminución generalizada de aportaciones naturales del 5 y el 10%, y con un efecto de irregularidad mediante reducciones de menores del 10%.

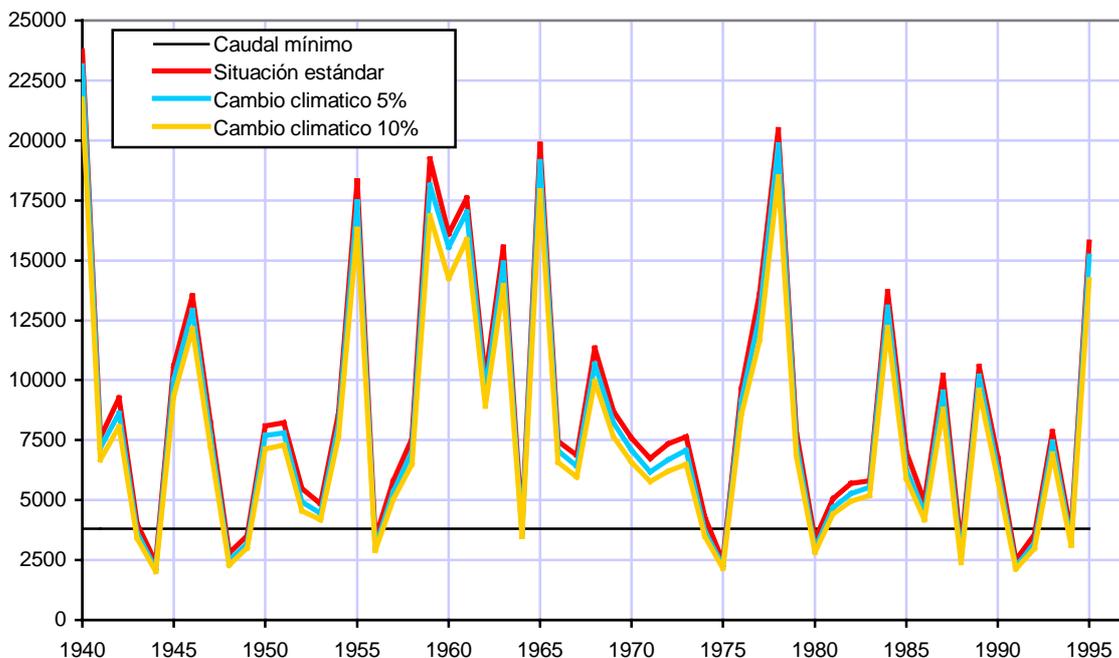


Figura 30. Circulación de caudales anuales (hm^3) en el tramo internacional del Duero bajo supuestos de cambio climático

Como puede verse, la serie de circulaciones anuales apenas se ve afectada por la reducción de caudales naturales, aunque, como es obvio, fallarían mas demandas propias de la cuenca. Las circulaciones medias resultantes son de 8745, 8235 y 7690 $\text{hm}^3/\text{año}$ respectivamente.

Los órdenes de magnitud de las cifras mostradas, en contraste con los máximos sobrantes derivables sugeridos, permiten concluir que una merma de aportaciones naturales como consecuencia del cambio climático no incidiría apreciablemente sobre los resultados básicos anteriormente obtenidos.

3.5. CONCLUSIONES

En síntesis, del análisis expuesto pueden extraerse las siguientes conclusiones básicas pertinentes para esta planificación hidrológica nacional:

1. En la cuenca del Duero se han identificado dos puntos como posibles orígenes de recursos para transferencias, cuya disponibilidad media anual de excedentes puede cifrarse de forma segura en unos 55 hm³/año para la cabecera, y unos 800 hm³/año para el curso bajo, y ello sin afectar a las demandas propias futuras previstas a largo plazo en la planificación hidrológica del Duero, ni a los compromisos establecidos en el Convenio de Albufeira.
2. Estos excedentes presentan una apreciable irregularidad interanual, necesitando de un cierto volumen de regulación en origen para poder suministrar aceptablemente las demandas de trasvase. Este volumen se ha estimado en unos 100 hm³ en ambos casos, ya existentes con holgura en Villalcampo, e inexistentes en la toma alta, por lo que se requeriría la construcción de un embalse específico a estos efectos.

Como síntesis del análisis realizado, la tabla adjunta resume los resultados obtenidos para los dos puntos identificados como posibles orígenes para las transferencias.

Punto de toma	Aportación natural de cálculo (hm ³ /año)	Aportación media largo plazo (hm ³ /año)	Sobrantes medios (hm ³ /año)	Capac. de toma (hm ³ /año)	Capt. media propuesta (hm ³ /año)	Coef. de dimens.
Alto Duero	362	226	167	60	57	1.1
Bajo Duero	9934	6821	4866	1250	785	1.6

Tabla 11. Resultados básicos del análisis de excedentes en distintos puntos de toma

4. CUENCA DEL TAJO

4.1. INTRODUCCIÓN

La cuenca del Tajo ha sido identificada en el Libro Blanco del Agua en España como una de las posibles áreas con recursos excedentarios susceptibles de ser movilizados mediante transferencias entre ámbitos de distintos Planes de cuenca. En esta sección se procederá a evaluar tal posibilidad, analizando en detalle el comportamiento del sistema de explotación de la cuenca en la hipótesis de pleno desarrollo de los aprovechamientos previstos a largo plazo en su Plan Hidrológico, y el cumplimiento de los nuevos acuerdos internacionales en materia de aguas establecidos en el Convenio de cooperación con Portugal.

Bajo este supuesto de cumplimiento del Convenio y plena satisfacción de las demandas y requerimientos ambientales actualmente existentes y previstos para el futuro, se analiza el sistema básico de explotación de la cuenca y se determinan los posibles sobrantes en distintos puntos, que podrían ser objeto de transferencia al exterior.

Las magnitudes fundamentales empleadas son las del Plan Hidrológico de la cuenca del Tajo, que es la referencia documental básica en la que se apoya este estudio, sin perjuicio del establecimiento de otros criterios globales necesarios para la homogeneización de evaluaciones de la planificación nacional.

4.2. ELEMENTOS DEL SISTEMA

4.2.1. APORTACIONES

Como aportaciones hídricas del sistema se han empleado las series obtenidas mediante el modelo de evaluación de recursos desarrollado para el Libro Blanco del Agua en España, tras verificar su buen acuerdo con las ya existentes. Las series mensuales se han generado con criterios similares a los adoptados en el Plan Hidrológico de la cuenca del Tajo, pero ampliando el periodo de cálculo hasta el año hidrológico 1995/96, de forma que incorporen el importante periodo de la última sequía.

La figura adjunta muestra la situación de los puntos básicos considerados en la evaluación de recursos.

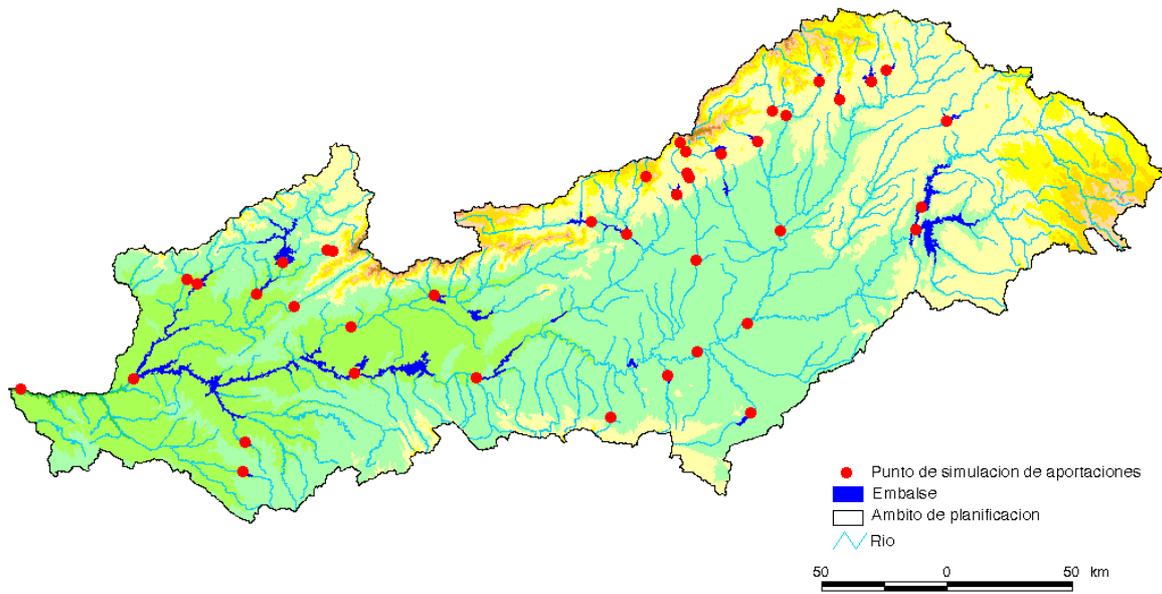


Figura 31. Puntos básicos de evaluación de recursos hídricos

Las aportaciones totales e incrementales en los distintos puntos son las mostradas en la tabla.

Punto de aportación	Aport. anual (hm ³ /año)	Aport. anual acumulada (hm ³ /año)
Alagón en emb. Gabriel y Galán	893	893
Alagón en emb. Valdeobispo	158	1103
Alberche en emb. Burguillo	428	428
Alberche en emb. San Juan	169	610
Algodor en emb. Finisterre	26	
Arrago en emb. Borbollón	148	
Aulencia en emb. Valmayor	26	
Baños en emb. Baños y Azud de Hervás	52	
Bornova en emb. Alcorlo	68	
Cañamares en emb. Palmaces	34	
Cofio en emb. La Aceña	13	
Guajaraz y Torcón en emb. Guajaraz	36	
Guadiela en emb. Buendía	481	
Guadiloba en emb. Guadiloba	15	
Guadalix en emb. El Vellón	47	
Guadarrama en el A. Las Nieves	72	92
Guadarrama tras el Aulencia	53	171
Jarama en emb. El Vado	120	120
Jarama tras el Lozoya	48	545
Jarama antes del Manzanares	395	1213
Jerte en emb. Jerte	305	
Jarosa en emb. Jarosa	5	
Lozoya en emb. Atazar	377	
Manzanares en emb. Santillana	67	79
Navalmedio en emb. Navalmedio	15	
Navacerrada en emb. Navacerrada	12	
Rivera de Gata en emb. Rivera de Gata	112	
Salor en emb. Salor	21	
Sorbe antes del emb. Beleña	124	
Tajo en emb. Entrepeñas	566	566
Tajo tras el Jarama	452	2841
Tajo tras el Algodor	96	2963
Tajo en emb. Azután	679	4460
Tajo en emb. Valdecañas	302	4761
Tajo en emb. Alcántara	1607	9890
Tajo tras el Salor	1908	11819
Tiétar en emb. Rosarito	922	922
Tiétar en Jaranda	916	1838
Tajuña en emb. La Tajera	52	
TOTAL :	11819	-

Tabla 12. Aportaciones hídricas consideradas en el sistema

4.2.2. DEMANDAS

Con objeto de asegurar en primer lugar todos los desarrollos propios de la cuenca, se han adoptado todas las demandas correspondientes al segundo horizonte del Plan Hidrológico de la cuenca del Tajo, o situación a largo plazo. Con vistas a su inclusión en el modelo de sistema de explotación de la cuenca, las unidades de demanda se han agregado siguiendo un criterio territorial y buscando la máxima sencillez sin menoscabo de su representatividad. En la mayor parte de los casos, la agregación realizada sigue la división en sistemas y subsistemas de explotación propuesta en el Plan de cuenca.

La figura adjunta ilustra sobre la situación de poblaciones y regadíos (principales demandantes de agua), y permite apreciar la variedad y diseminación de las manchas de riego, y el efecto de fuerte concentración urbana en el área de Madrid.

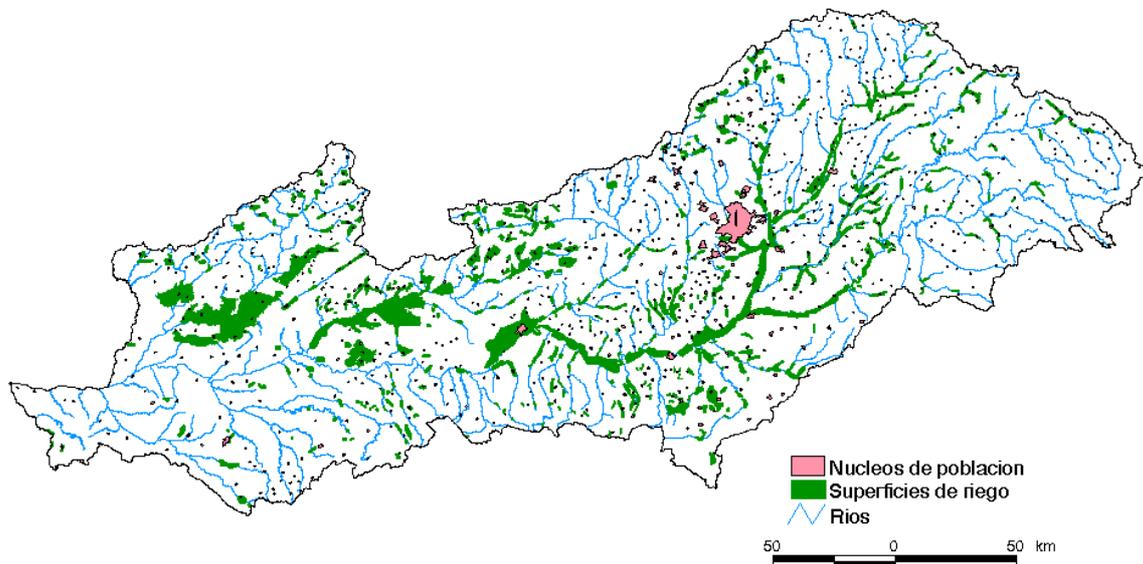


Figura 32. Mapa de situación de poblaciones y regadíos

Los resultados obtenidos en el análisis de demandas se exponen seguidamente para los distintos usos.

Para los abastecimientos urbanos, se han considerado las unidades de demanda urbana propuestas en el Plan, agregadas por sistemas o subsistemas de explotación tal y como se muestra en la tabla adjunta.

Unidad de demanda	Descripción	Sistema de Ejecución	Demanda (l/s/año)
Cabecera del Tajo	Aranjuez	Macrosistema	18
Cabecera del Tajo	Resto (Tarancón y zona de influencia y otros abast.)	Macrosistema	8
Tajuña	Almoguera-Mondéjar, Orusco, Zona 22	Macrosistema	6
Henares	Mancomunidad del Sorbe	Macrosistema	57
Henares	Pálmaces y otros abastecimientos	Macrosistema	3
Jarama-Guadarrama	Madrid (alta)	Macrosistema	146
Jarama-Guadarrama	Mortalaz	Macrosistema	116
Jarama-Guadarrama	Madrid (media y baja)	Macrosistema	63
Jarama-Guadarrama	Getafe	Macrosistema	62
Jarama-Guadarrama	Alcorcón	Macrosistema	59
Jarama-Guadarrama	Carabanchel	Macrosistema	41
Jarama-Guadarrama	Boadilla	Macrosistema	34
Jarama-Guadarrama	Madrid (media)	Macrosistema	31
Jarama-Guadarrama	Torrejón	Macrosistema	23
Jarama-Guadarrama	Las Rozas	Macrosistema	23
Jarama-Guadarrama	Pozuelo	Macrosistema	21
Jarama-Guadarrama	Alcobendas	Macrosistema	19
Jarama-Guadarrama	Hortaleza	Macrosistema	13
Jarama-Guadarrama	Navacerrada	Macrosistema	10
Jarama-Guadarrama	El Plantío	Macrosistema	10
Jarama-Guadarrama	Arganda del Rey	Macrosistema	9
Jarama-Guadarrama	Villalba	Macrosistema	8
Jarama-Guadarrama	Colmenar Viejo	Macrosistema	7
Jarama-Guadarrama	Guadarrama	Macrosistema	7
Jarama-Guadarrama	Vallecas y San Blas	Macrosistema	6
Jarama-Guadarrama	Tres Cantos	Macrosistema	5
Jarama-Guadarrama	Resto (Torrelaguna, Manzanares, Brunete, Torrelodones,	Macrosistema	23
Alberche	Talavera de la Reina	Macrosistema	11
Alberche	Resto (Cofio, San Juan, Charco del Cura, Escalona, La Aceña, Los	Macrosistema	11
Tajo Medio	Algodor (Guadiana)	Macrosistema	8
Tajo Medio	Algodor (Tajo)	Macrosistema	7
Tajo Medio	Resto (Mancomunidad Torcón, El Castro, Gévalo, Pusa y otros	Macrosistema	9
Toledo	Torrijos, Sagra Alta, Sagra Baja y Toledo (desde Alberche)	Macrosistema	29
Toledo	Toledo y zona de influencia (desde Tajo Medio)	Macrosistema	12
Tiétar	Cabecera del Tiétar, Sta. María, Bajo Tiétar y otros	Tiétar	13
Alagón	Plasencia	Alagón	6
Alagón	Resto (Béjar, Bajo Alagón, cabeceras Jerte y Alagón, Valdeobispo,	Alagón	12
Árrago	Aguas arriba de Borbollón, aguas arriba de Rivera de Gata, abastec.	Árrago	2
Bajo Tajo-Extremadura	Cáceres	Bajo Tajo-	12
Bajo Tajo-Extremadura	Resto (Almonte, Salor, Sever, Erjas y otros abastecimientos)	Bajo Tajo-	11
	Total		971

Tabla 13. Unidades de demanda urbana

En el esquema se ha incluido la fracción de la demanda del Algodor situada en la cuenca del Guadiana pero abastecida desde el Tajo.

En cuanto a los usos de regadío, la tabla adjunta muestra el detalle de las unidades básicas de demanda agraria (UDA) consideradas en el esquema general, a partir de los datos del Plan Hidrológico de la cuenca del Tajo, las zonas de riego que comprenden, el sistema de explotación al que pertenecen y el valor de la demanda anual.

UDA	Zona de riego	Sistema de Explotación	Demanda (hm ³ /año)
Alagón	Regs. sin reg. aguas arriba Gabriel y Galán	Alagón	23
Alagón	Regs. sin reg. aguas arriba del E. del Jerte	Alagón	4
Alagón	Zona regable del Ambroz	Alagón	24
Alagón	Zona regable del Alagón	Alagón	320
Alagón	Riegos del Jerte	Alagón	1
Alagón	Reg. pr. con reg. aguas abajo G. y Galán	Alagón	5
Árrago	Reg. priv. aguas arriba de Borbollón	Árrago	5
Árrago	Reg. priv. aguas arriba de Rivera de Gata	Árrago	2
Árrago	Zona regable del Árrago	Árrago	90
Árrago	Reg. priv. aguas abajo Borbollón y Rivera de Gata	Árrago	2
Bajo Tajo-Extremadura	Reg. priv. aguas arriba de Valdecañas	Bajo Tajo-Extremadura	16
Bajo Tajo-Extremadura	Reg. priv. entre Valdecañas y Alcántara	Bajo Tajo-Extremadura	7
Bajo Tajo-Extremadura	Reg. priv. en cuenca Erjas	Bajo Tajo-Extremadura	3
Bajo Tajo-Extremadura	Reg. priv. en cuenca Sever	Bajo Tajo-Extremadura	2
Bajo Tajo-Extremadura	Reg. priv. aguas abajo E. Salor	Bajo Tajo-Extremadura	5
Bajo Tajo-Extremadura	Reg. priv. en cuenca Almonte	Bajo Tajo-Extremadura	4
Bajo Tajo-Extremadura	Zona regable de Valdecañas	Bajo Tajo-Extremadura	29
Bajo Tajo-Extremadura	Zona regable del Salor	Bajo Tajo-Extremadura	6
Bajo Tajo-Extremadura	Zona regable de Alcolea	Bajo Tajo-Extremadura	26
Bajo Tajo-Extremadura	Zona regable de Don Antonio	Bajo Tajo-Extremadura	2
Cabecera Tajo	Reg. pr. Cabecera Tajo	Macrosistema	11
Cabecera Tajo	Reg. pr. Cabecera Guadiela	Macrosistema	22
Cabecera Tajo	Reg. pr. Bolarque-Estremera	Macrosistema	14
Cabecera Tajo	Zona regable de Estremera	Macrosistema	17
Cabecera Tajo	Reg. pr. Estremera-Jarama	Macrosistema	32
Cabecera Tajo	Zona regable Real Acequia del Tajo	Macrosistema	19
Cabecera Tajo	Zona regable Caz Chico-Azuda	Macrosistema	9
Cabecera Tajo	Zona regable de Almoquera	Macrosistema	21
Cabecera Tajo	Zona regable Canal las Aves	Macrosistema	28
Tajuña	Reg. pr. Tajuña cabecera	Macrosistema	5
Tajuña	Reg. pr. Tajera-Loranca	Macrosistema	7
Tajuña	Reg. pr. Loranca-Orusco	Macrosistema	6
Tajuña	Zona regable del Tajuña	Macrosistema	28
Tajuña	Reg. pr. Orusco-desemboc.	Macrosistema	8
Henares	Reg. pr. Cabecera Henares	Macrosistema	15
Henares	Reg. pr. Cabecera Salado	Macrosistema	3
Henares	Reg. pr. Cabecera Cañamares	Macrosistema	1
Henares	Zona regable Bornova	Macrosistema	14
Henares	Reg. pr. Cabecera Bornova	Macrosistema	1
Henares	Reg. pr. Jadraque-Humanes	Macrosistema	2
Henares	Reg. pr. aguas abajo Humanes	Macrosistema	30
Henares	Zona regable canal del Henares	Macrosistema	55

UDA	Zona de riego	Sistema de Explotación	Demanda (hm ³ /año)
Jarama-Guadarrama	Reg. pr. Cabecera Jarama	Macrosistema	35
Jarama-Guadarrama	Reg. pr. Cabecera Manzanares	Macrosistema	19
Jarama-Guadarrama	Reg. pr. Jarama a. abajo Madrid	Macrosistema	22
Jarama-Guadarrama	Zona regable R. Acequia Jarama	Macrosistema	105
Jarama-Guadarrama	Reg. pr. Cabecera Guadarrama	Macrosistema	1
Jarama-Guadarrama	Reg. pr. Guadarrama	Macrosistema	37
Alberche	Reg. pr. Cabecera Alberche	Macrosistema	50
Alberche	Reg. pr. Alberche	Macrosistema	32
Alberche	Zona regable Canal Alberche	Macrosistema	75
Tajo Medio	Zona regable Castrejón m.d.	Macrosistema	13
Tajo Medio	Zona regable Castrejón m.i.	Macrosistema	47
Tajo Medio	Zona regable Azután	Macrosistema	3
Tajo Medio	Reg. pr. Jarama-Castrejón	Macrosistema	52
Tajo Medio	Reg. pr. Castrejón-Azután	Macrosistema	81
Tajo Medio	Reg. pr. Martín Román	Macrosistema	14
Tajo Medio	Reg. pr. Cabecera Algodor	Macrosistema	10
Tajo Medio	Reg. pr. Cabecera Guajaraz	Macrosistema	5
Tajo Medio	Reg. pr. Cabecera Torcón	Macrosistema	1
Tajo Medio	Reg. pr. Pusa	Macrosistema	5
Tajo Medio	Reg. pr. Gévalo	Macrosistema	6
Sagra-Torrijos	Zona regable la Sagra-Torrijos	Macrosistema	237
Tiétar	Riegos sin reg. en Tiétar ag. arr. del Guadyervas	Tiétar	18
Tiétar	Riegos sin regul. en Guadyervas ag. arr. de Navalcán	Tiétar	1
Tiétar	Riegos sin regul. Tiétar entre Guadyervas y Rosarito	Tiétar	14
Tiétar	Riegos sin regulación en gta Alardos	Tiétar	10
Tiétar	Zona regable del Tiétar margen derecha	Tiétar	54
Tiétar	Zona regable del Tiétar margen izquierda	Tiétar	70
Tiétar	Riegos sin regul. en Tiétar entre Rosarito y Alcañizo	Tiétar	3
Tiétar	Riegos con regul. Tiétar entre Rosarito y Sta. María	Tiétar	4
Tiétar	Riegos sin regul. Tiétar entre Alcañizo y Sta. María	Tiétar	1
Tiétar	Riegos con regul. Tiétar entre Sta. María y Jaranda	Tiétar	30
Tiétar	Riegos de Peraleda de la Mata	Tiétar	10
Tiétar	Riegos de Valdecañas	Tiétar	7
Tiétar	Riegos con regul. Tiétar entre Jaranda y Torr.-Tiétar	Tiétar	35
Tiétar	Riegos sin regul. en cabecera gta. Jaranda	Tiétar	10
Tiétar	Riegos sin regul. Tiétar entre Jaranda y Torr.-Tiétar	Tiétar	7
Total:			2.048

Tabla 14. Unidades de demanda agraria de la cuenca del Tajo

Se han considerado, además, las demandas industriales de refrigeración correspondientes a las centrales de producción de energía relacionadas en la tabla siguiente.

Unidad de demanda	Descripción	Sistema de Explotación	Demanda (hm ³ /año)
C.N.Zorita	Refrigeración Central Nuclear de Zorita	Macrosistema	225
C.N.Trillo	Refrigeración Central Nuclear de Trillo	Macrosistema	45
C.T.Aceca	Refrigeración Central Térmica de Aceca	Tajo Medio	544
C.N.Almaraz	Refrigeración Central Nuclear de Almaraz	Bajo Tajo-Extremadura	583
			1.397

Tabla 15. Unidades de demanda de refrigeración de la cuenca del Tajo

Se ha incluido, asimismo, la demanda actual del Acueducto Tajo-Segura, en los términos establecidos por la Ley 52/1980 y por el Plan Hidrológico de la cuenca del Tajo. Además, y de acuerdo con lo establecido en el Plan de cuenca (art. 19.2, O.M. de 13 de agosto de 1999), en la cabecera del Tajo, embalse de Entrepeñas y Buendía, se reservan 60 hm³ 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 y cumplir las normas del Plan. También en la cabecera del Tajo, embalses de Entrepeñas y Buendía, se reservan 200 hm³ a nombre del Organismo de cuenca para atender, además de los regadíos incluidos en el cuadro de asignaciones y los declarados de interés general que dependen de estos recursos, los regadíos públicos potenciales, como son los regadíos del Guadiela que afectan 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.

Los retornos juegan un importante papel en el balance de recursos de la cuenca, ya que el grado de reutilización es muy elevado. En concreto, los retornos del abastecimiento de la zona metropolitana de Madrid son imprescindibles para garantizar la circulación de los caudales mínimos ambientales requeridos en el curso medio del Tajo. A efectos computacionales los retornos se han concentrado en diversos puntos de los ríos Jarama y Tajo. Para los retornos de regadíos se ha admitido el coeficiente general convencional del 20% de la demanda y para los de abastecimiento, del 80%.

Sintetizando lo expuesto, la siguiente tabla resume las demandas finalmente consideradas en el esquema, indicando su cuantía total anual, su distribución estacional y el porcentaje de retorno aprovechable en el sistema.

	DEM. (hm ³)	DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA DEMANDA (%)												RET. (%)
		OC	NV	DC	EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG	ST	
Abast.Alagón	18	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	
Abast.Alberche	22	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	
Abast.Árrago	2	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	
Abast.Bajo Tajo-Extremad.	23	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	
Abast.Cabecera Tajo	26	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	
Abast.Henares	60	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	80
Abast.Jarama-Guadarrama	736	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	80
Abast.Tajo Medio	24	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	
Abast.Tajuña	6	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	
Abast.Tiétar	13	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	
Abast.Toledo	41	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	80
Refrig.C.T.Aceca	544	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	95
Refrig.C.N.Almaraz	583	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	95
Refrig.C.N.Trillo	45	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	36
Refrig.C.N.Zorita	225	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	98
Reg.Alagón	377	3	0	0	0	0	1	2	6	15	30	29	14	20
Reg.Alberche	157	5	1	0	0	0	1	3	8	15	25	27	15	20
Reg.Árrago	98	3	0	0	0	0	1	2	5	13	31	30	15	20
Reg.Bajo Tajo-Extremadura	99	2	0	0	0	0	0	1	5	19	33	29	11	20
Reg.Cab.Tajo	173	4	0	0	0	0	2	4	8	17	29	24	12	20
Reg.Henares	121	3	0	0	0	0	4	6	12	17	26	22	10	20
Reg.Jarama-Guadarrama	220	4	0	0	0	0	4	6	11	17	26	21	11	20
Reg.Sagra-Torrijos	237	3	0	0	0	1	4	6	11	18	25	22	10	20
Reg.Tajo Medio	237	3	0	0	0	1	4	6	11	18	25	22	10	20
Reg.Tajuña	55	3	0	0	0	0	4	5	10	18	27	22	11	
Reg.Tiétar	274	1	0	0	0	0	0	2	5	21	35	29	7	20
Acueducto Tajo-Segura	650	9	9	9	0	9	9	9	9	9	9	10	9	
Reservas cabecera del Tajo	260	4	0	0	0	0	2	4	8	17	29	24	12	20

Tabla 16. Síntesis global de demandas en el ámbito del Plan Hidrológico del Tajo

En cuanto a niveles de garantía y prioridades de suministro, se adoptan los criterios estándares de la planificación nacional cifrados en déficit anuales acumulados de cuantías porcentuales [2,3,10] para abastecimientos y demandas industriales de refrigeración, y [50,75,100] para demandas de riego.

4.2.3. CAUDALES MÍNIMOS

El Plan Hidrológico de la cuenca del Tajo establece los criterios con los que deben fijarse los caudales mínimos circulantes en los distintos tramos fluviales y las circunstancias bajo las que la regulación en la cuenca debe contribuir a su satisfacción. En el esquema general se han introducido las limitaciones expresas de caudal circulante correspondientes al río Tajo en Aranjuez y en Toledo, tal y como se indica en el cuadro adjunto.

TRAMO	Ap. reg. natural (hm ³ /año)	Caudal mín. (m ³ /s)	Caudal mín. (hm ³ /mes)
Tajo en Aranjuez	1.046	6	15,8
Tajo en Toledo	2.963	-	26,3

Tabla 17. Caudales mínimos

Estos caudales se han introducido, siguiendo los criterios conceptuales adoptados, como restricciones de funcionamiento al sistema global de explotación de recursos.

Por otra parte, existe una nueva limitación en la explotación, que se deriva del reciente *Convenio sobre cooperación para la protección y el aprovechamiento sostenible de las aguas de las cuencas hidrográficas hispano-portuguesas* (BOE núm. 37, 12-2-2000, pp. 6703-6712). Por este Convenio, suscrito en Albufeira y también conocido por tal nombre, España está obligada en condiciones hidrológicas normales a satisfacer un régimen de caudales mínimos en Cedillo de 2.700 hm³/año. Este régimen de caudales no se aplica en los periodos en que se verifique una de las siguientes circunstancias (Protocolo Adicional, art. 4.3):

- a) *La precipitación de referencia acumulada en la cuenca desde el inicio del año hidrológico (1 de octubre) hasta el 1 de abril sea inferior al 60 por 100 de la precipitación media acumulada en la cuenca en el mismo periodo.*
- b) *La precipitación de referencia acumulada en la cuenca desde el inicio del año hidrológico hasta el 1 de abril sea inferior al 70 por 100 de la precipitación media acumulada en la cuenca en el mismo periodo y la precipitación de referencia acumulada el año hidrológico precedente hubiere sido inferior al 80 por 100 de la media anual*

La precipitación de referencia se calcula de acuerdo con los valores de las precipitaciones observadas en las estaciones pluviométricas de Cáceres y Madrid (Retiro), afectados por un coeficiente de ponderación del 50%. Los valores medios se entienden calculados de acuerdo con los registros del periodo 1945-46 a 1996-97 (Anexo al Protocolo Adicional, punto 4). En la figura siguiente se muestran las precipitaciones acumuladas parcial (desde octubre hasta abril) y total en las estaciones de Cáceres y Madrid y las correspondientes precipitaciones de referencia obtenidas ponderando estas dos series con el coeficiente indicado.

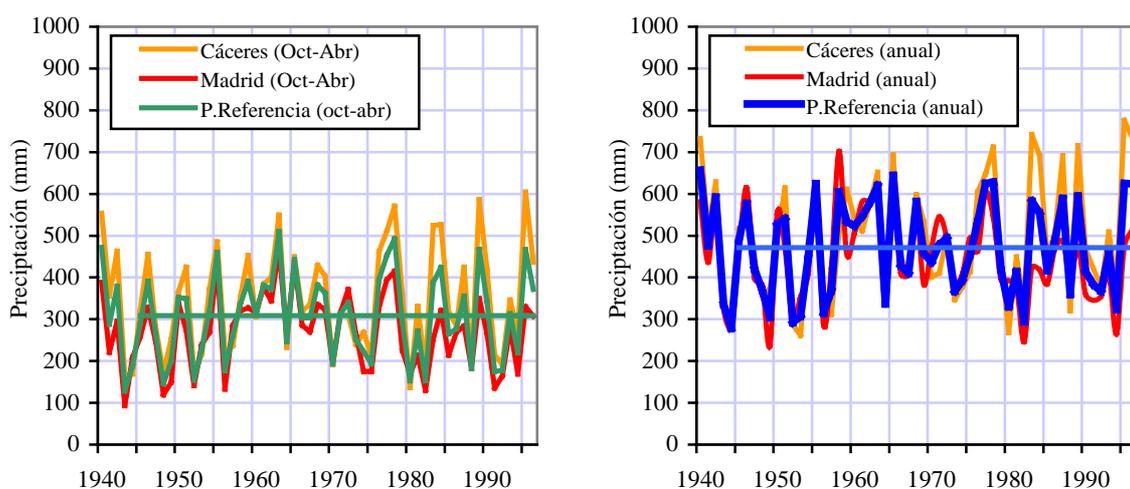


Figura 33. Obtención de las precipitaciones de referencia parcial (octubre-abril) y total anual según el Convenio con Portugal

A partir de estas precipitaciones de referencia, y de acuerdo con los criterios marcados en el Convenio de Albufeira, se ha obtenido el régimen de caudales mínimos siguiendo el proceso que se muestra en la figura siguiente. En ella se incluyen los valores medios de las precipitaciones de referencia parcial y total para el periodo señalado de 1945-46 a 1996-97 y las diferentes precipitaciones límite: 60 y 70% de la media de la precipitación de referencia parcial (octubre-abril) y 80% de la media de la precipitación de referencia total anual. Estos valores límite permiten identificar, de acuerdo con las condiciones a y b transcritas, los periodos de excepción en los que no se habría exigido la satisfacción del régimen de caudales mínimos previsto (años 1943-44, 1944-45, 1948-49, 1949-50, 1952-53, 1956-57, 1980-81, 1982-83, 1988-89, 1991-92y 1992-93). Una vez identificados estos años, el régimen de caudales es el indicado en la figura.

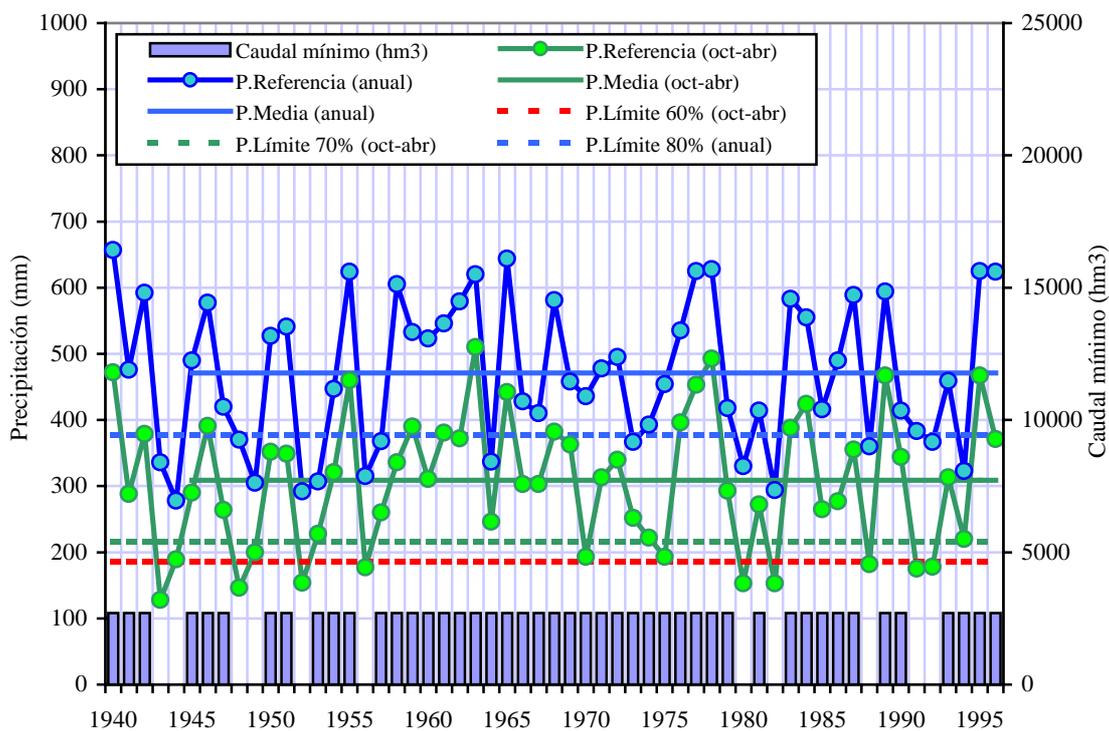


Figura 34. Obtención del régimen de caudales mínimos según el Convenio de Albufeira

El régimen así obtenido ha de ajustarse para tener en cuenta las condiciones por las que se considera concluido el periodo de excepción durante el cual no se aplicaría dicho régimen. Según el Convenio, *el periodo de excepción se considera concluido a partir del primer mes siguiente a diciembre en que la precipitación de referencia acumulada en la cuenca desde el inicio del año hidrológico fuera superior a la precipitación media acumulada en la cuenca en el mismo periodo* (Protocolo Adicional, art. 4.4).

Para aplicar este precepto se han considerado los ocho periodos de excepción identificados y se han obtenido las precipitaciones de referencia acumuladas desde el inicio de cada año hidrológico posterior a cada periodo de excepción, según se muestra en la figura siguiente.

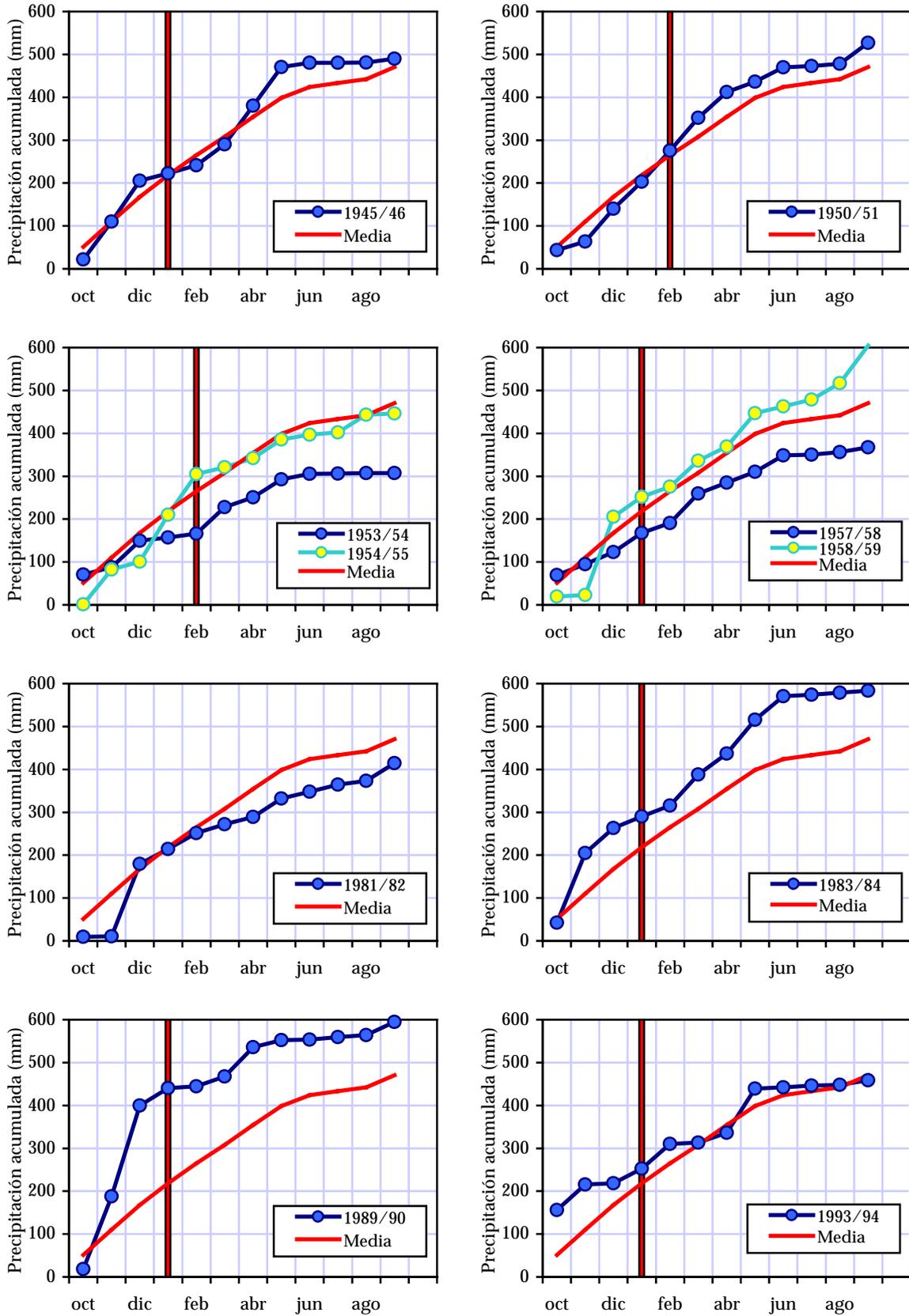


Figura 35. Identificación de la finalización de los periodos de excepción del régimen de caudales mínimos según el Convenio con Portugal

Con estas curvas de precipitación de referencia acumulada se han identificado los años en los que, a partir de diciembre, el valor acumulado supera a la media en el mismo periodo, en cuyo caso se da por finalizado el periodo de excepción.

Con todo ello se dispone del régimen definitivo de caudales mínimos según las condiciones establecidas en el Convenio. Este régimen, junto con las aportaciones totales de cálculo consideradas en el análisis se muestran en la figura siguiente.

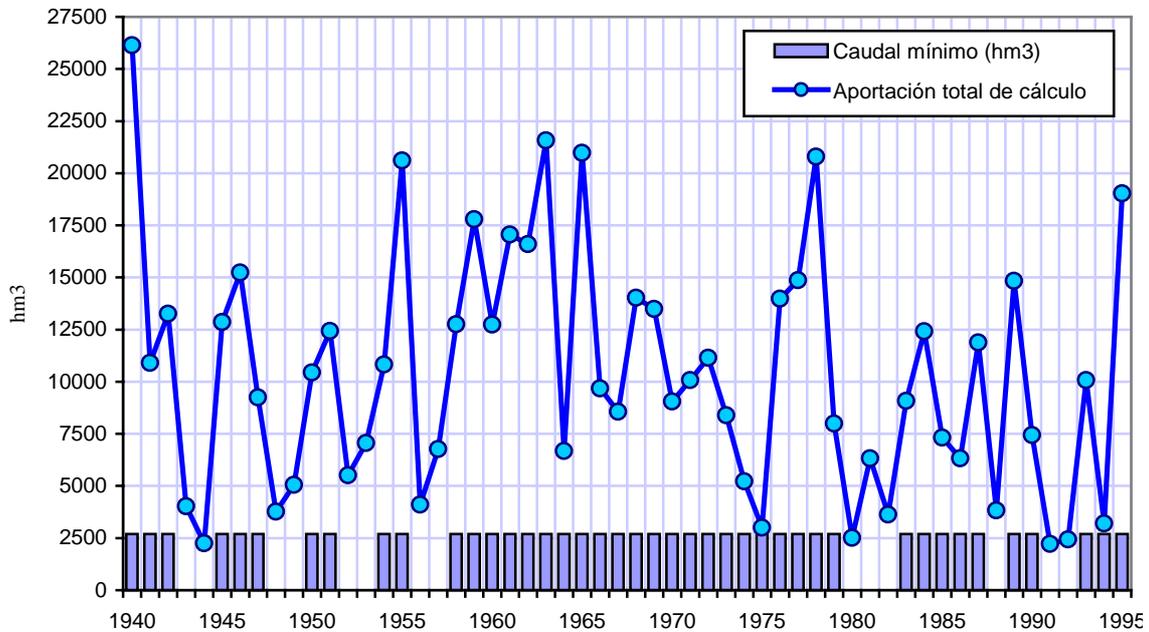


Figura 36 Régimen de caudales mínimos según el Convenio de Albufeira y aportación total de cálculo

En cuanto a las condiciones estacionales de este régimen de caudales, el Convenio no establece ningún criterio ni limitación. Por ello, y a efectos exclusivamente de llevar a cabo las determinaciones propias de este Plan Nacional, se ha adoptado el régimen mensual de caudales que se indica en la figura siguiente. Este régimen se ha obtenido como promedio mensual de los volúmenes entrantes a Portugal en la situación de demandas correspondiente al segundo horizonte previsto en el Plan de cuenca sin imponer ninguna limitación, salvo el cumplimiento de los requerimientos ambientales previstos en el propio Plan y anteriormente señalados. La pauta mensual de circulación de flujos así obtenida se aplica al volumen anual de 2.700 hm³ fijado en el Convenio, obteniéndose el régimen mensual indicado en la figura. Como también puede apreciarse en la figura, el régimen obtenido es prácticamente idéntico al que se registraría en condiciones naturales.

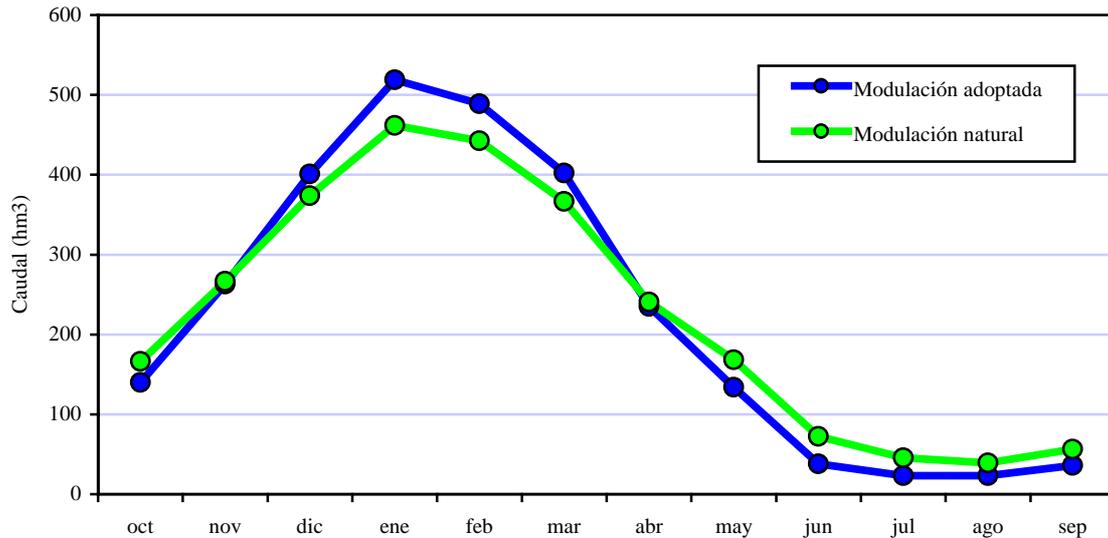


Figura 37 Variación mensual del régimen de caudales mínimos

El régimen de caudales así calculado se introduce como un requisito de caudales mínimos mensuales que deben circular en el último tramo del esquema, de la misma forma que se introducen los caudales mínimos por motivos ambientales. De esta forma, y de acuerdo con los criterios conceptuales establecidos en el Libro Blanco del Agua, el sistema condiciona su funcionamiento al cumplimiento de las restricciones de carácter ambiental (fijadas en el Plan de cuenca) y de carácter geopolítico (fijadas en el Convenio de Albufeira), que conjuntamente determinan el recurso potencial de la cuenca.

4.2.4. ELEMENTOS DE REGULACIÓN

En el cuadro adjunto se resumen los volúmenes de todos los embalses considerados en este análisis. En él se reflejan los volúmenes máximos mensuales (hm³), considerando los resguardos previstos en el Plan de cuenca para el control de crecidas y los condicionantes derivados, en su caso, del aprovechamiento hidroeléctrico.

Se han incluido los embalses más representativos de la cuenca destinados a la regulación del sistema. En algunos casos se han agrupado en un único elemento de regulación varios embalses en serie o en paralelo, siempre que esta agrupación no afectara negativamente a los objetivos del presente estudio. De los embalses del tramo hidroeléctrico del Tajo se ha incluido únicamente el de Valdecañas.

En algunos embalses ha sido preciso tener en cuenta los condicionantes derivados de su aprovechamiento hidroeléctrico. Para ello se han adoptado como volúmenes máximos mensuales los establecidos en las denominadas *curvas de hierro*, empleadas en el Plan de cuenca. Estas curvas reproducen dichos condicionantes al considerar que los vertidos producidos por encima de dichas curvas se corresponden con las aportaciones turbinadas, reflejando, en cada caso, las posibilidades de turbinación libre. Estos condicionantes se han introducido en los embalses de Burguillo y San Juan+Picadas, en el Alberche, y en el embalse de Gabriel y Galán, en el Alagón.

De la infraestructura prevista en el segundo horizonte del Plan Hidrológico del Tajo se han incluido el embalse del Pozo de los Ramos, que se considera imprescindible para atender el incremento de demanda de los subsistemas Jarama-Guadarrama y Henares, y el embalse de Venta del Obispo, en el Alberche. Además, y según se desprende del propio Plan, se prevé una regulación adicional en el río Tíetar o en alguno de sus afluentes, aunque esta posibilidad no se ha incluido en el modelo. Ha de aclararse que, al igual que se ha hecho en las otras cuencas estudiadas en este Plan Nacional, la inclusión de estos embalses futuros en el esquema no presupone ningún tipo de pronunciamiento sobre su viabilidad técnica, económica o ambiental, más allá de las consideraciones efectuadas en el propio Plan de cuenca.

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Alcorlo	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Baños	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
Beleña	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Borbollón	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84
Buendía	1638	1638	1638	1550	1500	1500	1550	1638	1638	1638	1638	1638
El Burguillo	98	104	107	113	119	127	134	140	128	123	113	101
Entrepeñas	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720
Finisterre	133	133	133	133	133	130	130	133	133	133	133	133
Gabriel y Galán	270	312	360	400	440	475	505	510	475	411	335	284
Jerte	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
La Aceña	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
La Tajera	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
Pálmaces	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Rivera de Gata	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
Rosarito y Navalcán	115	49	49	49	100	100	100	115	115	115	115	115
S.Juan y Picadas	90	95	97	102	106	113	118	122	114	109	102	92
Valdeobispo	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Azután	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113
Atazar y sist. Lozoya	583	583	583	583	583	583	583	583	583	583	583	583
El Vado	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
El Vellón	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
Guadiloba	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Guajaraz y Torcón	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
La Jarosa	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Navacerrada	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Salor	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Santillana	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91
Valdecañas	1446	1446	1446	1446	1446	1446	1446	1446	1446	1446	1446	1446
Valmayor	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124
Pozo de los Ramos	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Venta del Obispo	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Total	6414	6401	6454	6417	6468	6515	6607	6728	6673	6599	6506	6433

Tabla 18. Volúmenes máximos mensuales en los embalses considerados

4.2.5. CONDUCCIONES

El cuadro resumen de conducciones básicas que se adopta en este estudio, es el adjunto. Por analogía con los criterios adoptados en los otros análisis de este Plan Nacional, no se impone ninguna limitación de servicio estacional.

Conducción	Q _{max} (m ³ /s)	Q _{max} (hm ³ /mes)
Aceña-Jarosa	10,0	26
Atazar	13,9	36
Borbollon-Rivera Gata	9,3	24
Entrepeñas-Buendia	168,2	436
Impulsion Picadas	3,9	10
Impulsion S.Juan	6,6	17
Canal de Isabel II	23,5	61
Canal del Jarama	7,7	20
Navalmedio-Navacerrada	5,8	15
Nieves-Valmayor	30,1	78
Canal de Santillana	3,9	10
Canal del Sorbe	3,2	8
Canal de Valmayor	5,8	15
Canal del Vellon	8,1	21
Picadas-Toledo	1,0	2,6

Tabla 19. Conducciones consideradas

4.3. ESQUEMA GENERAL

Con los elementos descritos en epígrafes anteriores se ha construido el sistema básico de explotación general de la cuenca del Tajo, tal y como se muestra en el gráfico adjunto.

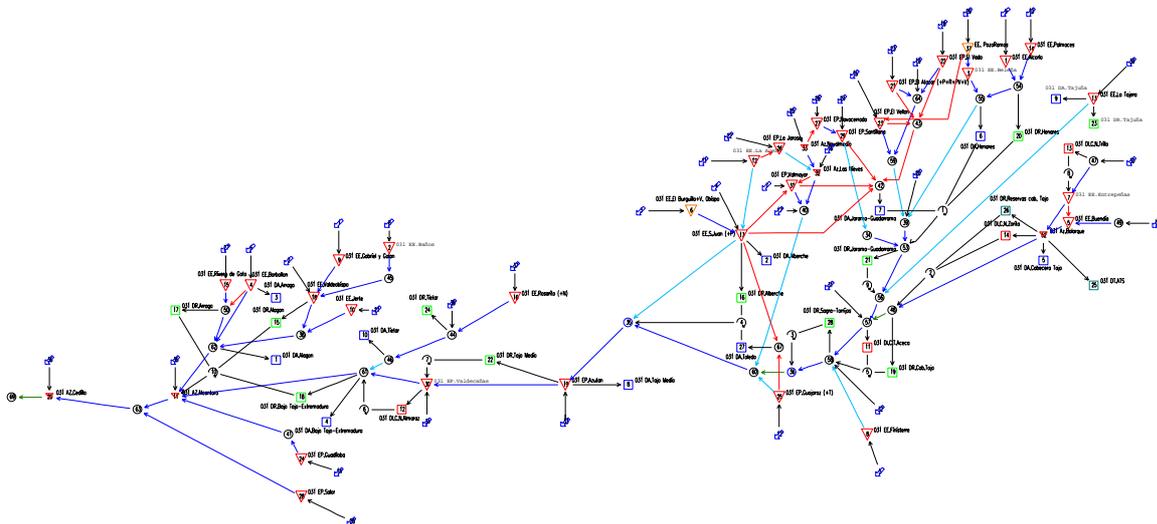


Figura 38. Sistema básico de explotación de la cuenca del Tajo

Este sistema es el que se somete a optimización de la gestión y análisis de la regulación general, con los resultados que seguidamente se exponen.

4.4. RESULTADOS OBTENIDOS

En la situación de partida se describe la explotación del sistema con las demandas correspondientes al segundo horizonte del Plan de la cuenca del Tajo, pero sin ejecutar ninguna infraestructura adicional, a excepción de los embalses del Pozo de los Ramos y Venta del Obispo.

A partir de esta situación de partida se han estimado los caudales excedentarios disponibles en distintos puntos de la cuenca. En este contexto, y análogamente a lo realizado en los análisis de otros sistemas, por excedentes se entienden aquellos caudales circulantes por la cuenca cuya posible detracción no afectaría en modo alguno a las garantías de suministro ni al cumplimiento de los requerimientos ambientales durante la totalidad del periodo de simulación. En términos jurídicos clásicos, se trataría de aguas *sobrantes*, no concedidas ni reservadas para ningún uso actual o futuro.

La evaluación de estos caudales no presupone, pues, la introducción de ninguna demanda de trasvase adicional en la cuenca, sino que se trata, exclusivamente, de los sobrantes que quedarían una vez que se han atendido todas las demandas y requerimientos internos en la medida de lo posible, y sin perjudicar a ninguno de estos requerimientos.

Los caudales así obtenidos no están plenamente garantizados y presentan una importante irregularidad. Los puntos de toma analizados y los valores medios anuales obtenidos son los reflejados en la tabla adjunta, en la que se ha supuesto que cada toma actúa de forma exclusiva, es decir, derivando sus sobrantes sin que las otras tomas deriven nada, o, dicho de otra forma, sin permitir que dos tomas puedan estar derivando sobrantes de forma simultánea. La otra posibilidad, de funcionamiento simultáneo de las captaciones, será tratada posteriormente.

Punto de toma	Aport. natural de cálculo (hm ³ /año)	Aport. media a largo plazo (hm ³ /año)	Excedentes		
			Media	Máximo	Mínimo
Jarama en desembocadura	1.343	1.044	706	2.459	0
Tajo en Toledo	2.963	1.623	1.070	3.614	0
Tajo en Azután	4.460	2.500	1.817	7.056	0
Tiétar en Rosarito	922	908	797	1.852	56

Tabla 20. Estimación de sobrantes exclusivos (hm³/año) en distintos puntos de toma

Como puede verse en la figura siguiente, el rango de variación de volúmenes es alto, y, aunque las medias son importantes, existen años en que no hay, estrictamente, ningún caudal excedentario. Todo ello advierte, en definitiva, sobre la necesidad de evaluar prudente y cuidadosamente los sobrantes realmente disponibles para las posibles transferencias, tal y como se hará en un próximo epígrafe.

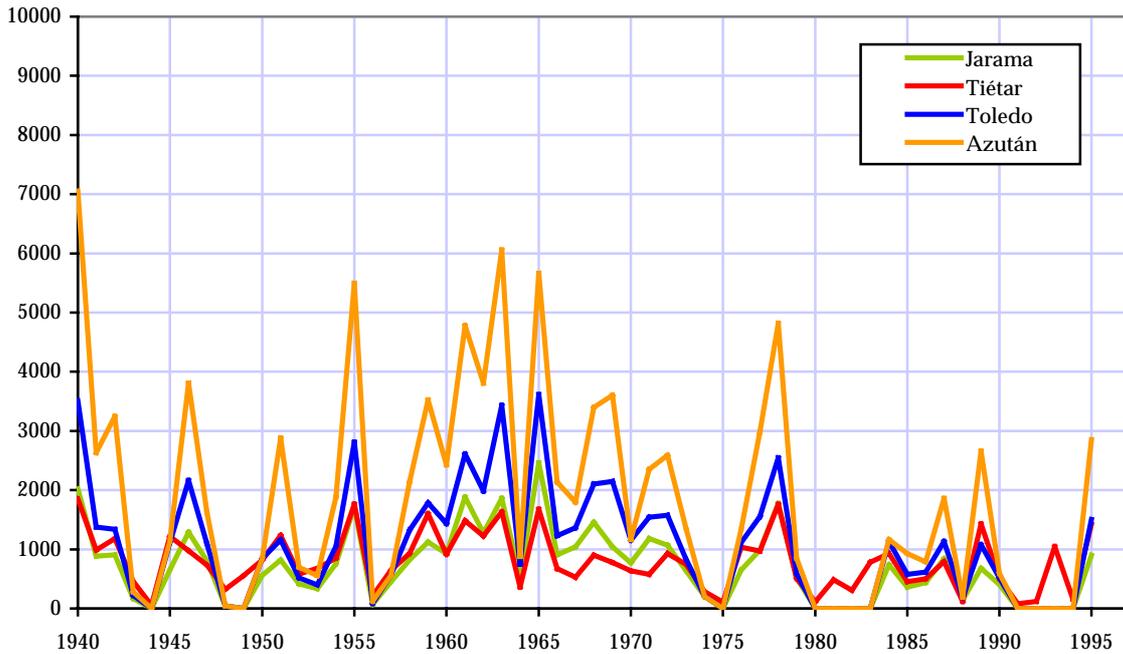


Figura 39. Sobrantes anuales exclusivos (hm³) en la cuenca del Tajo

Un aspecto de fundamental interés es la comprobación del cumplimiento de los acuerdos determinados en el Convenio con Portugal. Este cumplimiento debe considerarse como una limitación firme y obligada para las posibles transferencias en España, no pudiendo abordarse tales transferencias si afectasen negativamente a los compromisos establecidos.

Para investigar este aspecto, en la figura siguiente se presentan las series de aportaciones anuales que entran en Portugal para cada alternativa de toma exclusiva y tomas simultáneas, y ello en el supuesto teórico extremo, muy conservador, de que se derivase la totalidad de los sobrantes producidos. En la figura también se muestran los valores medios resultantes en cada caso. También están marcados los requerimientos de caudal mínimo establecidos en el Convenio.

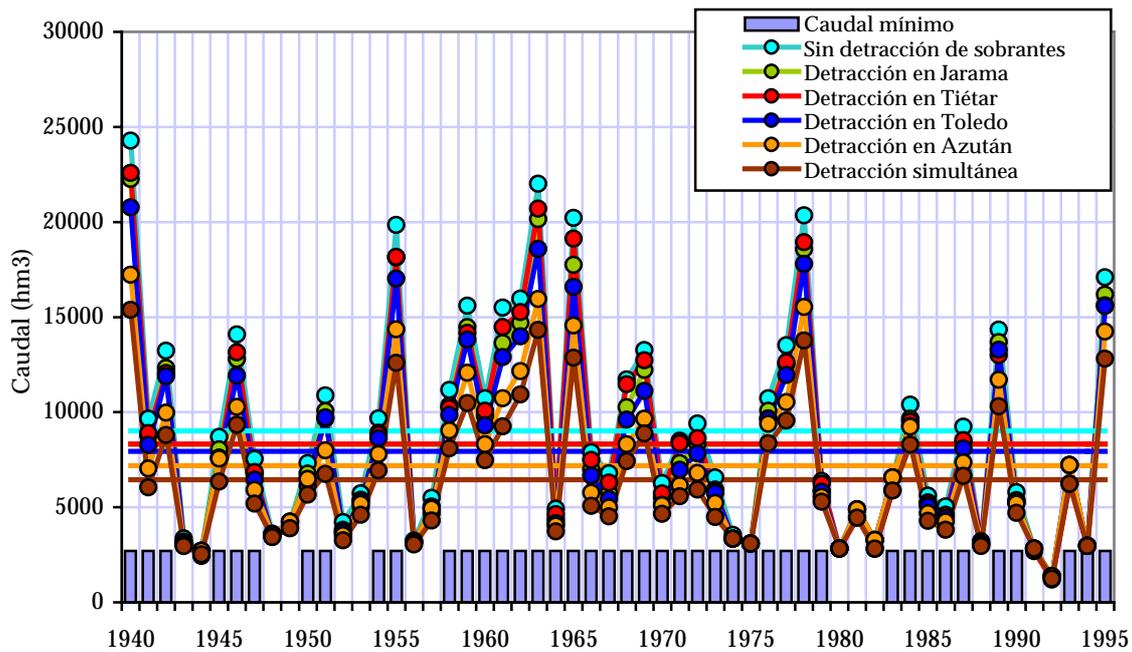


Figura 40. Caudales mínimos entrantes a Portugal supuesta la detección de todos los sobrantes

Como puede apreciarse, la detección de todos los sobrantes tanto en el Jarama como en el Tiétar presenta una mínima incidencia en el régimen de caudales entrantes a Portugal, cuyo aporte medio sería de unos $8.300 \text{ hm}^3/\text{año}$, frente a $9.000 \text{ hm}^3/\text{año}$ sin detección de sobrantes. La detección de todos los sobrantes en Toledo y Azután presentaría una mayor incidencia, siendo en este caso los aportes medios de unos 7.900 y $7.200 \text{ hm}^3/\text{año}$, respectivamente. En el caso de detección simultánea, los caudales entrantes se mantendrían en unos $6.400 \text{ hm}^3/\text{año}$. Debe resaltarse que en todos los casos, incluida la detección total simultánea, se podrían cumplir perfectamente los requisitos derivados del Convenio de cooperación con Portugal.

4.5. LA DISPONIBILIDAD DE SOBRANTES

4.5.1. INTRODUCCIÓN

El análisis del sistema de explotación global de la cuenca del Tajo muestra que, en la situación futura, con todos los desarrollos previstos en la planificación hidrológica de la cuenca, y fijando la condición previa de cumplimiento de los compromisos internacionales establecidos en el convenio de Albufeira, se producirán unos flujos en la frontera con cuantía media de unos $9.000 \text{ hm}^3/\text{año}$. Si de estos se deducen los 2.700 correspondientes al convenio internacional, resulta disponerse de unos $6.300 \text{ hm}^3/\text{año}$ calificables, en términos jurídicos, como sobrantes. Si no se alcanzase el desarrollo completo de todos aprovechamientos previstos a largo plazo en el Plan Hidrológico, tal cuantía de sobrantes se vería correspondientemente incrementada.

La figura adjunta muestra las evaluaciones de sobrantes en los puntos considerados como posibles orígenes de las transferencias, y con el criterio de puntos exclusivos, es decir, considerados como fuentes únicas, como si los otros no existiesen y únicamente pudiese derivarse agua exclusivamente desde el punto considerado.

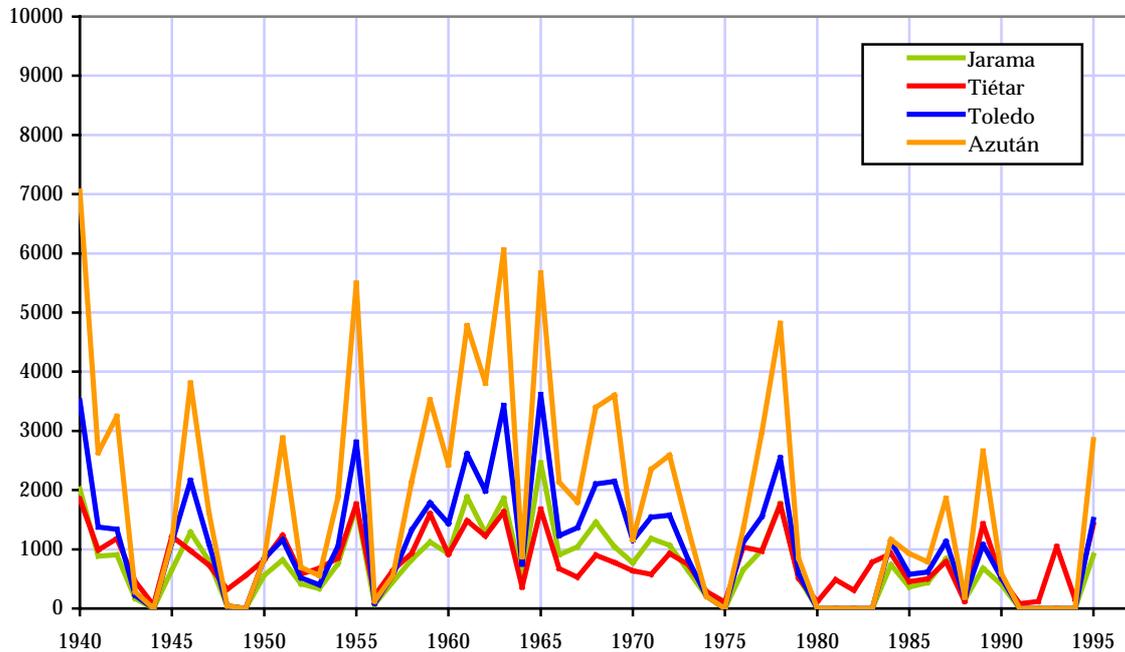


Figura 41. Sobrantes anuales exclusivos (hm^3) en la cuenca del Tajo

Como puede verse, las series presentan grandes concordancias entre sí, como es de prever tratándose de puntos de la misma cuenca. Sus valores medios anuales son, como se vió, de unos 700 hm^3 en el Jarama, 1.100 en Toledo, 1.800 en Azután y 800 en el Tiétar. Estas cifras son, pues, cotas máximas absolutas del sobrante aprovechable en cada caso, considerado como el único punto de detracción de la cuenca.

Es también perceptible en la figura la elevada irregularidad interanual, con importantes rangos de oscilación en todos los casos, y rachas donde no se producen sobrantes.

La tabla adjunta ilustra sobre esta irregularidad de los sobrantes. En ella se presenta para cada punto de toma el número de años en los que su volumen no llega a superar un umbral determinado. Por ejemplo, los sobrantes son inferiores a 100 hm^3 en 13 años de la serie en el Jarama y en Toledo, en 12 años en Azután y en 2 en el Tiétar. Por término medio, los excedentes son inferiores a la media en 31 de los 56 años que componen la serie en estudio.

Umbral (hm ³ /año)	Punto de derivación			
	Jarama	Toledo	Azután	Tiétar
0	11	11	11	0
100	13	13	12	2
200	15	14	14	7
300	16	16	16	9
400	18	17	16	12
500	22	17	16	15
600	25	22	19	22
Derivación media	29	27	32	31

Tabla 21. Número de años en que los sobrantes son inferiores a un umbral

Por otra parte, además de su comportamiento hiperanual es necesario conocer la estructura estacional de los sobrantes. A estos efectos, la figura adjunta muestra los valores medios y distintos percentiles de las series de sobrantes mensuales en los distintos puntos considerados.

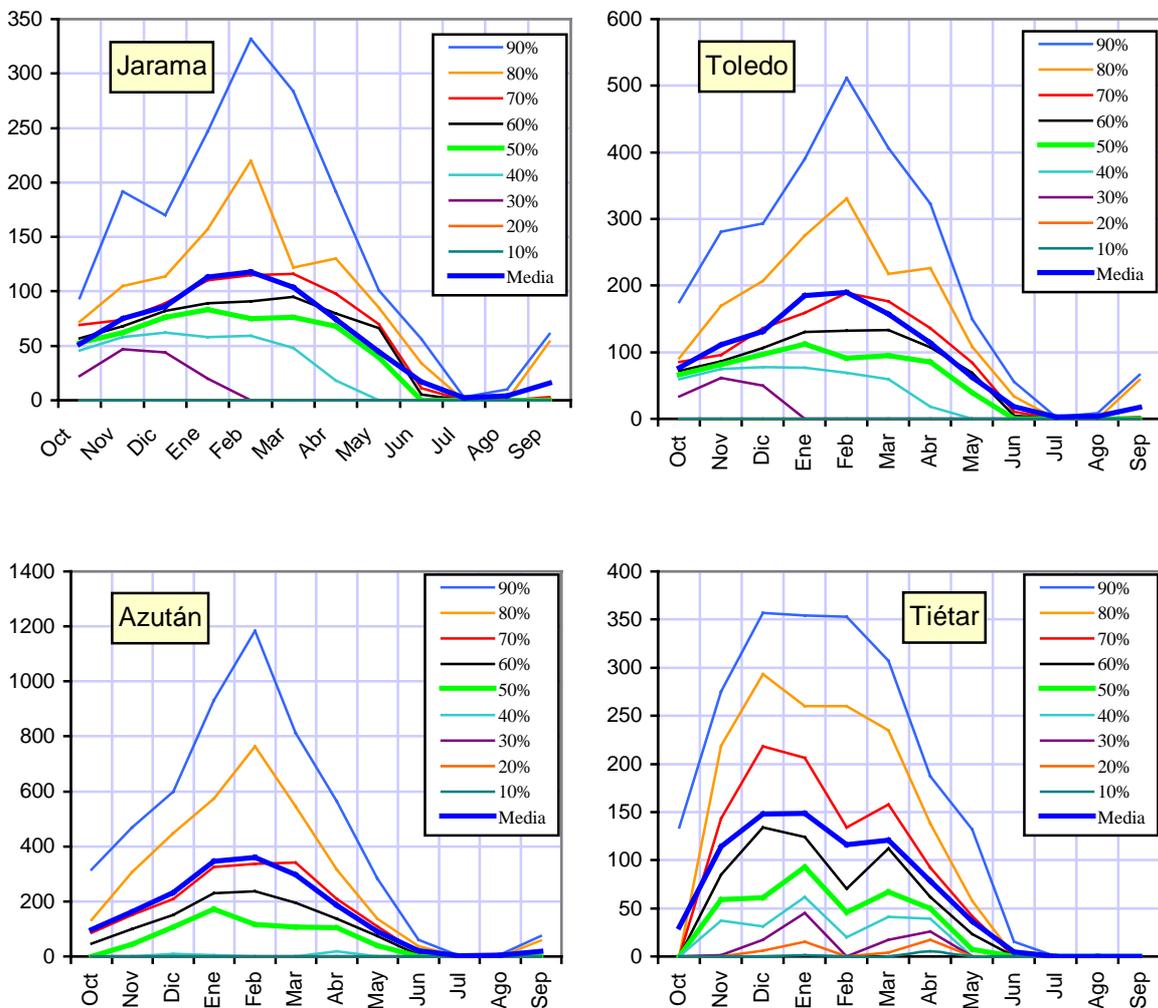


Figura 42. Percentiles y medias de los caudales sobrantes mensuales exclusivos (hm³) en la cuenca del Tajo

La inspección visual de estos gráficos permite obtener algunas interesantes conclusiones. En primer lugar, puede verse que, pese a las notables diferencias de escala de los distintos puntos, los patrones de sobrantes estacionales muestran un comportamiento común, y es la práctica inexistencia de sobrantes en el cuatrimestre de junio a septiembre. En todos los casos, los sobrantes se generan fundamentalmente en el semestre de noviembre a abril.

Este patrón de comportamiento sugiere emplear, como supuesto razonable, una demanda continua en los 8 meses de octubre a mayo y nula en el cuatrimestre de junio a septiembre. Con ello se minimiza el impacto sobre la circulación de flujos en la cuenca, y se reduce la necesidad de regulación en origen para un nivel dado de demanda externa.

Si en lugar del criterio de puntos exclusivos se emplea el de puntos simultáneos, es decir, se analiza el sistema de forma que puedan derivarse recursos en los cuatro puntos a la vez, de forma simultánea, los sobrantes anuales estimados –en cada punto y en total- son los mostrados en el gráfico adjunto.

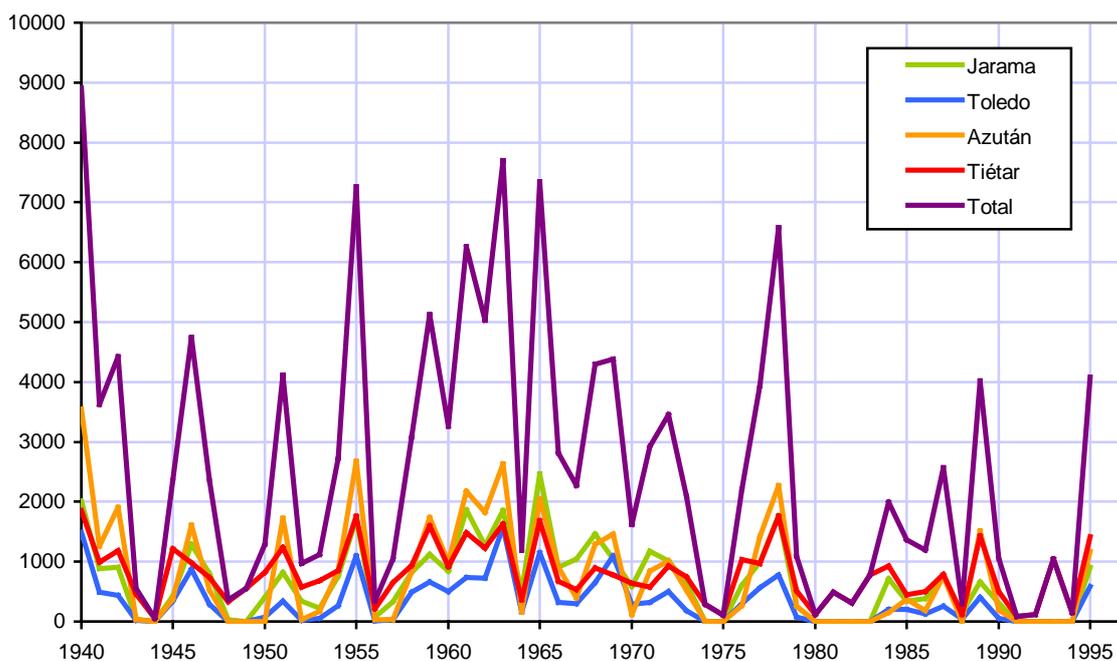


Figura 43. Sobrantes anuales simultáneos (hm^3) en la cuenca del Tajo

Como antes, las series presentan grandes concordancias entre sí. El sobrante total medio simultáneo resulta elevado (unos $2.500 \text{ hm}^3/\text{año}$), aunque extremadamente irregular, con rachas de algunos años seguidos sin sobrantes. Para comprobar cómo se ven afectados los posibles sobrantes por el efecto de simultaneidad, la próxima figura representa las diferencias, para cada punto, entre los sobrantes en el supuesto exclusivo y el supuesto simultáneo.

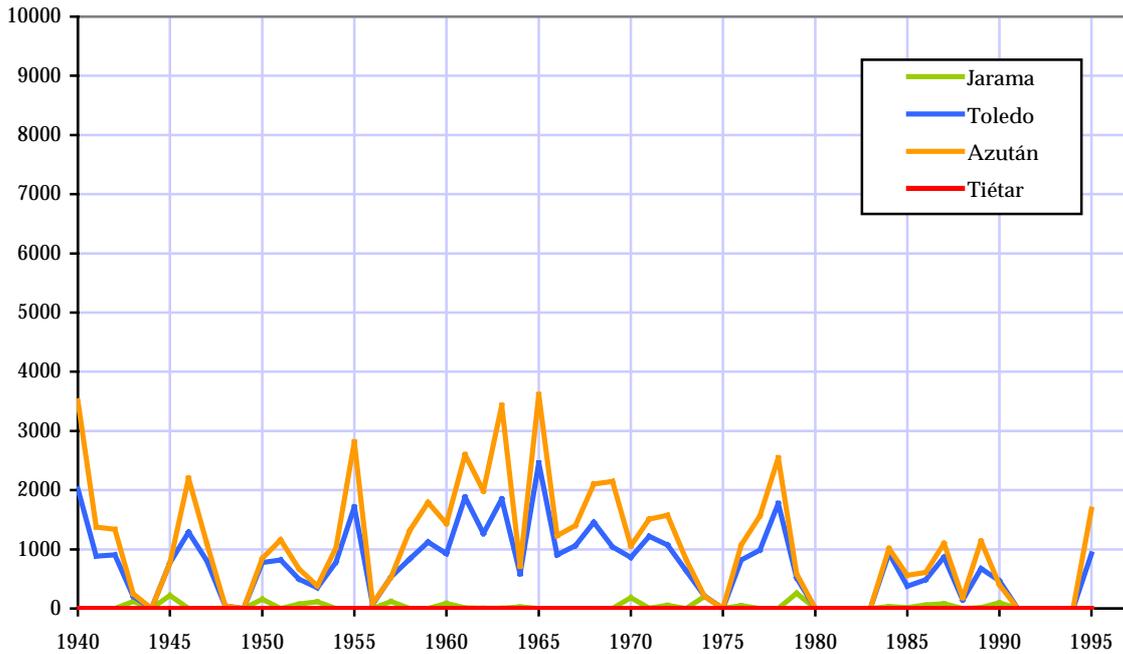


Figura 44. Diferencias de sobrantes anuales (exclusivos-simultáneos) (hm^3) en la cuenca del Tajo

Como puede verse, las detracciones en Azután y Toledo son sensibles al supuesto de simultaneidad, mientras que el Jarama y el Tiétar no presentan esta sensibilidad. Ello revela que en estos ríos se van a generar sobrantes de cuantía similar, sea cual sea la operación de los otros puntos. La explicación a esto debe buscarse en su carácter de afluentes (a diferencia de Toledo y Azután, que son derivaciones del río principal), con sobrantes relativamente reducidos con relación a los otros, lo que hace que su sobrante exclusivo (máximo) se facilite en condiciones, aunque ceñidas para estos puntos, de holgura para el sistema global, y, por tanto, pueda darse de forma parecida bajo condiciones de simultaneidad con otras fuentes.

Por otra parte, se observa que las diferencias son análogas para Toledo y Azután, lo que resulta explicable considerando que son puntos en serie para el sistema fluvial, al que, en principio, resulta indiferente afectar incrementalmente aguas arriba o aguas abajo. Dicho de otra forma, la diferencia de sobrante resulta ser *intercambiable* entre ambos puntos.

En la hipótesis de simultaneidad, los valores medios anuales de los sobrantes resultan ser de unos 700 hm^3 en el Jarama, 300 en Toledo, 750 en Azután, y 800 en el Tiétar (exactamente 670 , 341 , 755 y 797). El sobrante total máximo absoluto de la cuenca es pues, como se indicó, de unos $2.500 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Para investigar su estructura estacional, la figura adjunta muestra las medias y distintos percentiles de las series de sobrantes mensuales simultáneos en los distintos puntos considerados.

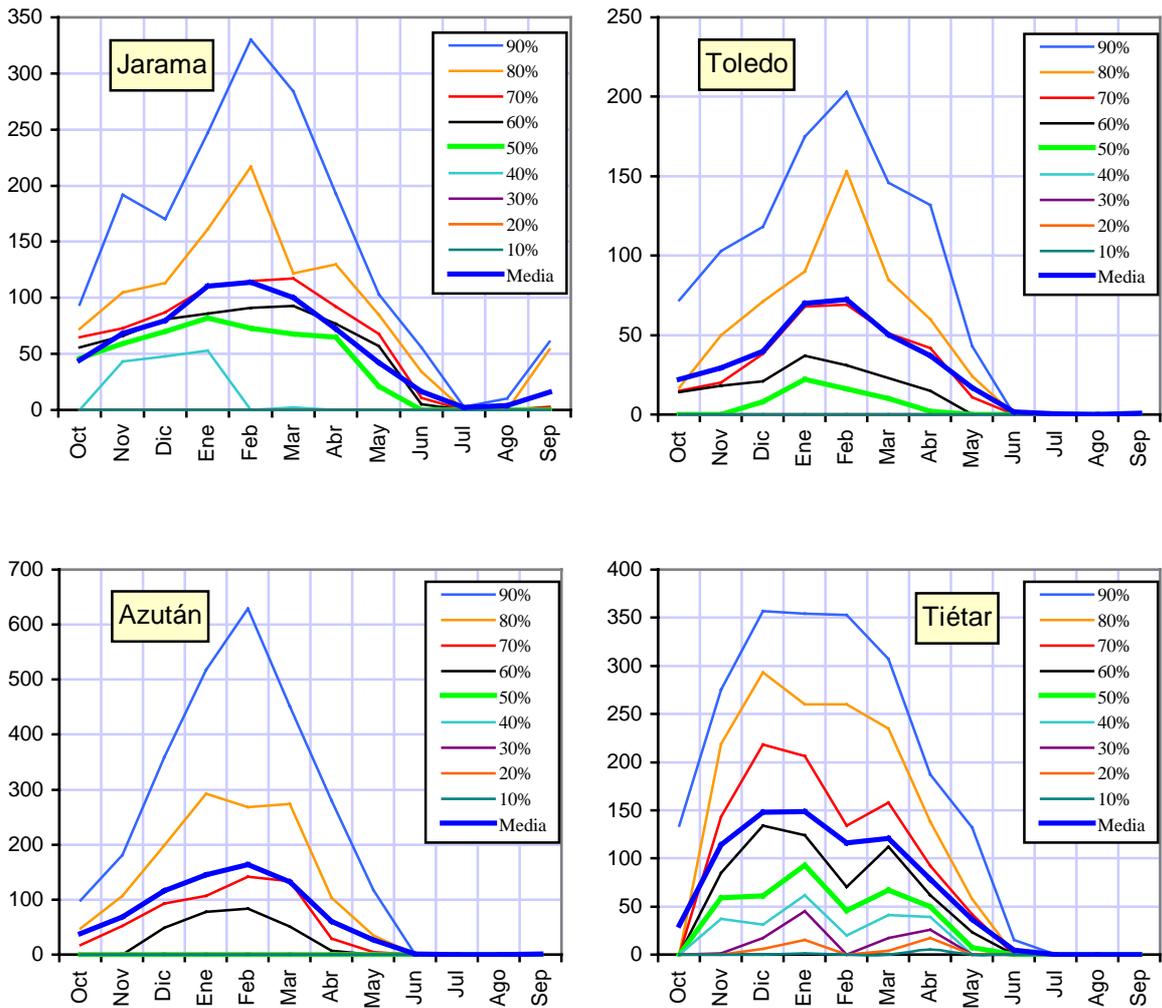


Figura 45. Percentiles y medias de los caudales sobrantes mensuales simultáneos (hm^3) en la cuenca del Tajo

Puede verse que, aún habiéndose reducido las cuantías con respecto a la hipótesis exclusiva, el patrón de los caudales mensuales muestra un comportamiento similar, reiterándose la práctica inexistencia de sobrantes en los 4 meses de junio a septiembre.

Dadas las nulas o muy escasas posibilidades de disponer de regulación en origen - salvo acaso en Azután, y muy reducida por su pequeña capacidad- es razonable asumir una modulación de las derivaciones que se adapte sensiblemente a la de generación de los sobrantes, lo que conduce en todos los casos al régimen de 8 meses del periodo octubre-mayo.

Es interesante constatar que el supuesto de ausencia de caudales en verano es similar al obtenido en el análisis de la cuenca del Ebro y Duero, y parece revelar, en consecuencia, un modelo generalizado de comportamiento de los excedentes en las posibles zonas de origen.

4.5.2. JARAMA

Fijando la atención en el la posible derivación del Jarama, y como se hace en el análisis de los otros sistemas estudiados, evaluaremos, para diferentes valores de la demanda externa y del hipotético almacenamiento disponible, el comportamiento de distintos indicadores de garantía de atención de esta demanda, y ello para cada uno de los puntos considerados, en un régimen de funcionamiento simultáneo. Se evaluará también la posibilidad de derivación de sobrantes sin patrón de demanda preestablecido. Nótese que la hipótesis de simultaneidad es conservadora respecto a los máximos derivables, pues no necesariamente todas las fuentes se activarán en el diseño final óptimo de las transferencias elegidas.

Las figuras adjunta muestran, para el supuesto de una demanda continua en los 8 meses octubre-mayo y nula en junio-septiembre, los valores de la garantía mensual, garantía volumétrica y déficit anuales acumulados para 1, 2 y 10 años, según el almacenamiento disponible, y para cada total anual demandado.

Asimismo, se incluye finalmente un gráfico que, prescindiendo de la especificación formal de demanda en 8 meses, muestra el volumen anual de sobrantes que podría derivarse ($\text{hm}^3/\text{año}$) en función de la capacidad de la toma ($\text{hm}^3/\text{año}$), y para diferentes supuestos de almacenamiento en origen disponible (hm^3). En este gráfico se incluye también la línea de los 45° , representativa de la situación de aprovechamiento integral (la toma funciona siempre a su máxima capacidad).

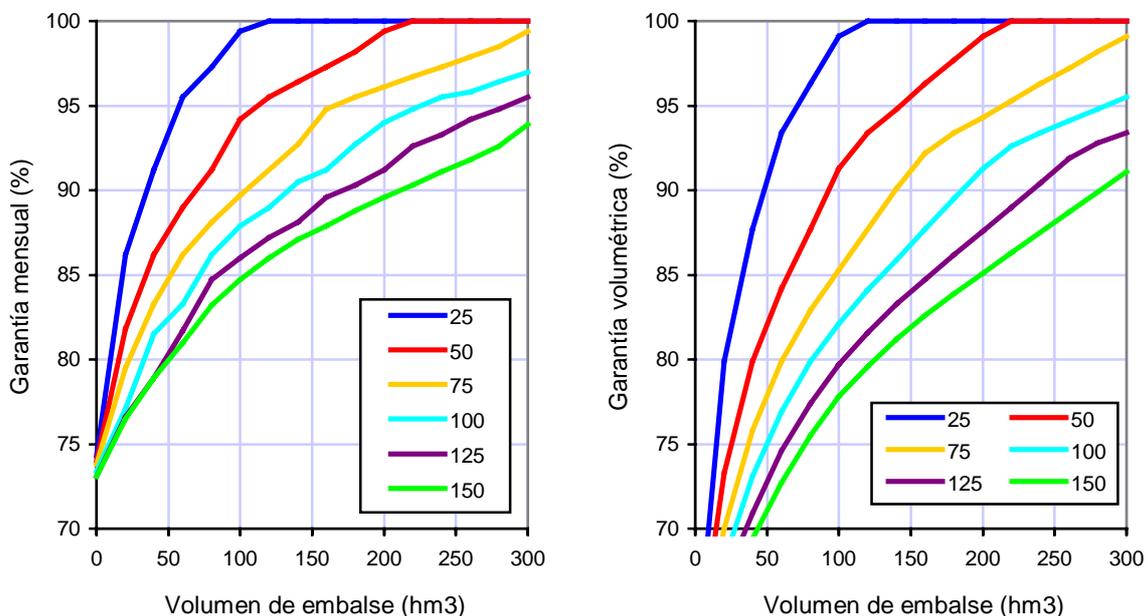


Figura 46. Jarama. Garantías mensual y volumétrica para demanda continua en 8 meses

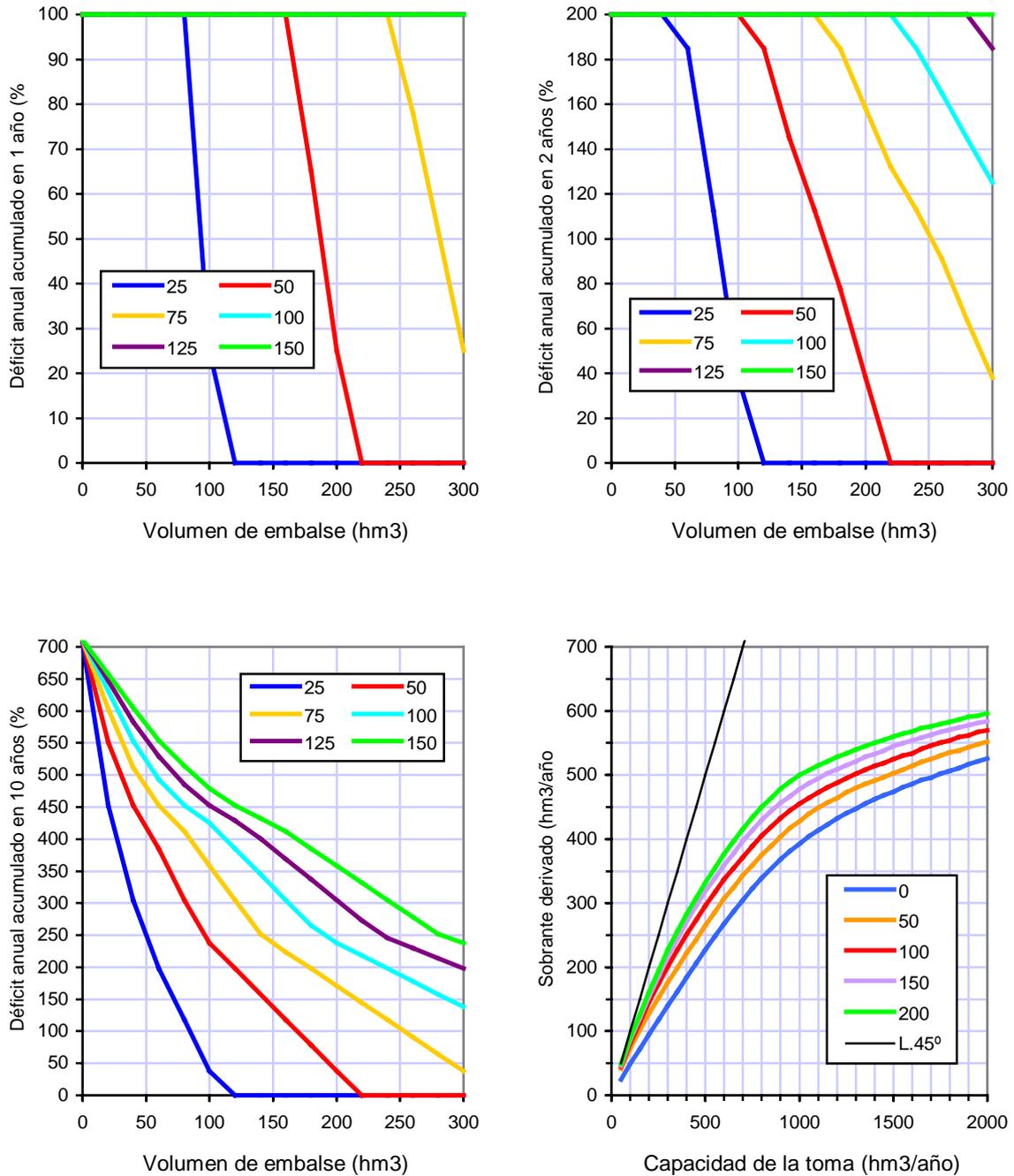


Figura 47. Jarama. Déficit anuales acumulados para demanda continua en 8 meses, y sobrantes derivables según capacidad de toma

Como se observa en las figuras, si no existe ninguna capacidad de almacenamiento disponible, y se especifica una demanda continua de 8 meses, las garantías mensuales son inferiores al 80%, las volumétricas inferiores al 70%, y se producen fallos absolutos de suministro (100, 200, 700% de déficit en 1, 2 y 10 años), lo que supone un resultado muy deficiente incluso para niveles de demanda reducidos, inferiores a 50 hm³/año.

En los gráficos de demandas mensual y volumétrica se observa que, si puede disponerse de alguna capacidad de almacenamiento, los rendimientos mejoran

extraordinariamente hasta volúmenes de embalse del orden de 50-100 hm³, y después continúan mejorando pero a un ritmo más reducido. Ello da una primera idea de la disponibilidad mínima que parece recomendable. Si se examina el conjunto de indicadores de garantía puede deducirse un comportamiento caracterizado por fuertes irregularidades y rachas breves extremadamente adversas con años nulos (déficit anuales del 100, 200 y 650%). Si se aplican los mismos criterios que en el análisis de sobrantes de la cuenca del Ebro, cabe concluir que si no hay almacenamiento disponible en origen las garantías serían muy reducidas incluso para transferencias casi nulas; que un almacenamiento de unos 200 hm³ permitiría derivar 50 hm³/año; y que si el almacenamiento se elevase a 300, podrían derivarse a su vez cerca de 100 hm³/año.

Todo ello muestra que el suministro será siempre irregular y no bien garantizado, con años nulos sea cual sea el nivel de demanda que se establezca.

Un enfoque alternativo al expuesto hasta ahora es el de considerar una cierta capacidad de almacenamiento y de toma, y derivar los sobrantes que sea posible en cada momento encomendando la regulación de estas derivaciones a los lugares de tránsito o destino, fuera del sistema cedente. Como se explicó en el análisis del Ebro, no se plantea una demanda de transferencia como tal, sino un máximo trasvasable anual y una facilidad de derivación no regulada del sobrante existente hasta alcanzar este máximo, sin ningún compromiso de disponibilidad ni regulación en la zona de origen, lo que parece, en principio, deseable siempre y cuando tal régimen de explotación sea técnicamente viable en el sistema global, con tránsitos y destinos.

Para valorar los resultados de esta posibilidad puede verse el último gráfico, indicativo de los volúmenes medios anuales que podrían derivarse en función de la capacidad de la toma, y para diferentes supuestos de almacenamiento disponible.

Como puede comprobarse, si el almacenamiento disponible es cero, los volúmenes de sobrantes derivables crecen de forma casi lineal con la capacidad de toma hasta unos 800 hm³/año, y son del orden de casi el 50% de esta capacidad. A partir de unos 800 hm³/año, los sobrantes van aumentando cada vez más lentamente con la capacidad de toma.

Puede verse, asimismo, que si pudiese disponerse de 200 hm³ de almacenamiento, podría derivarse prácticamente toda la capacidad de la toma hasta cuantías del orden de los 100-200 hm³/año. Como es obvio, todas las curvas obtenidas tienden asintóticamente al sobrante medio (unos 650 hm³/año), aunque para alcanzarlo se requerirían enormes almacenamientos en origen.

En definitiva, bajo este supuesto de funcionamiento, y dado que resulta razonable admitir una capacidad de almacenamiento en origen nula, debe esperarse un régimen de trasvases de forma que, sea cual sea la capacidad de la toma, no podrán captarse volúmenes de forma estable todos los años, tal y como reveló el análisis de los criterios de garantía.

En efecto, la siguiente figura ilustra este comportamiento mostrando las series de volúmenes derivados anualmente en los supuestos de toma de 300, 700 y 1500 hm³/año.

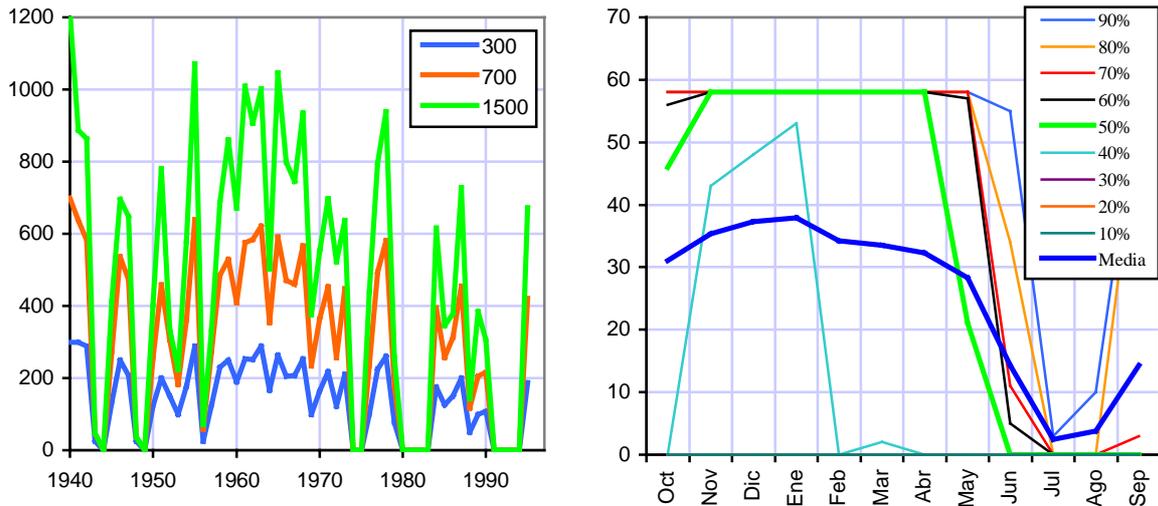


Figura 48. Jarama. Series anuales y cuantiles mensuales de los sobrantes derivables

Como puede verse, en los tres casos se aprecia el mismo patrón altamente irregular, con periodos de derivación nula coincidentes de hasta 4 años seguidos. Los valores medios derivados resultan ser de 140, 305 y 474 $\text{hm}^3/\text{año}$ respectivamente, lo que supone coeficientes de 2'1, 2'3 y 3'2. La existencia de un importante almacenamiento en el destino de esta conducción (cabecera del Tajo) permitiría en principio admitir un régimen tan errático como el mostrado.

Adoptando el valor medio de toma 700, con coeficiente moderado de 2'3, los cuantiles mensuales de los sobrantes derivables son los mostrados en la misma figura, pudiendo apreciarse el efecto de irregularidad y ausencia de excedentes en el periodo junio-septiembre. Evidentemente, si el análisis del sistema general de transferencias mostrase que la limitación de 305 $\text{hm}^3/\text{año}$ (que redondearemos a 300) es alcanzada en esta fuente, cabría aumentar la capacidad de toma y, como hemos visto, alcanzar con facilidad 500 $\text{hm}^3/\text{año}$, aunque con mayor ineficiencia (coeficiente mayor).

Debe recordarse que estas derivaciones se refieren a la serie de sobrantes en el río, y no a la de caudales naturales, que es, como vimos, mucho mayor (más de 1.300 $\text{hm}^3/\text{año}$ frente a algo más de 700 de sobrantes, de los que se derivará una media de 300). Como se indicó, la parte del total circulante que no es requerida aguas abajo para ningún uso actual o futuro, restricción ambiental, o acuerdo internacional es la de sobrante. En este punto se da, además, la especial circunstancia de que los caudales circulantes reales están, en una fracción importante, completamente garantizados todos los años, aún de extrema sequía, dada su importante componente de aguas residuales tratadas procedentes del área de Madrid. Ello hace que no pueda existir ningún problema de falta de disponibilidad material del recurso, aunque ello no significa, como se ha visto, que existan caudales excedentarios.

Observando los cuantiles mensuales puede verse que son frecuentemente nulos (la mediana de los datos es cero) en el periodo de junio a septiembre. El modelo

conceptual de 8 meses octubre-mayo es, pues, razonablemente descriptivo de la verdadera producción de sobrantes, y suficiente como primera aproximación a los efectos de estudiar la viabilidad técnica de este régimen de envíos en los sistemas de tránsito y de destino.

La viabilidad global de un régimen como el descrito depende tanto de esta viabilidad hidráulica, como de la posibilidad económica de disponer de una conducción cuya capacidad es más del doble de la estrictamente requerida por la cuantía del recurso que va a transportar. En el correspondiente documento de evaluación económica se considerará específicamente esta cuestión.

4.5.3. TOLEDO

Repitiendo los análisis anteriores para la posible derivación de Toledo, las figuras adjuntas muestran, como antes, los distintos indicadores de comportamiento resultantes, también para requerimientos en el periodo de octubre a mayo, periodo razonable a la luz de los cuantiles mensuales de sobrantes obtenidos, así como el sobrante derivable en función de la capacidad de toma para distintos embalses disponibles.

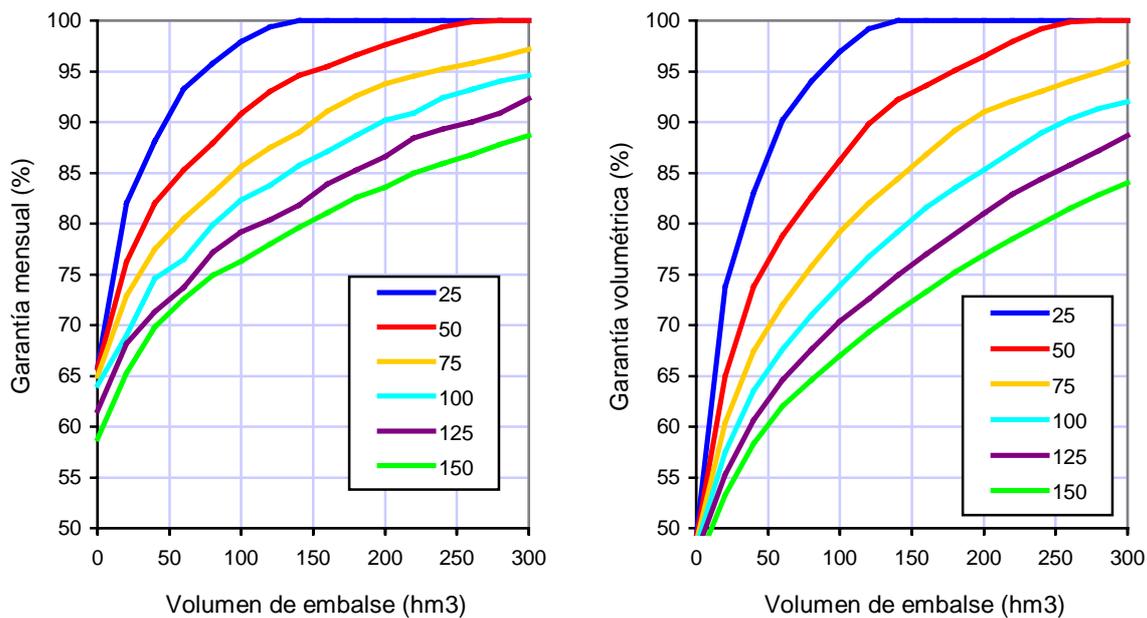


Figura 49. Toledo. Garantías mensual y volumétrica para demanda continua en 8 meses

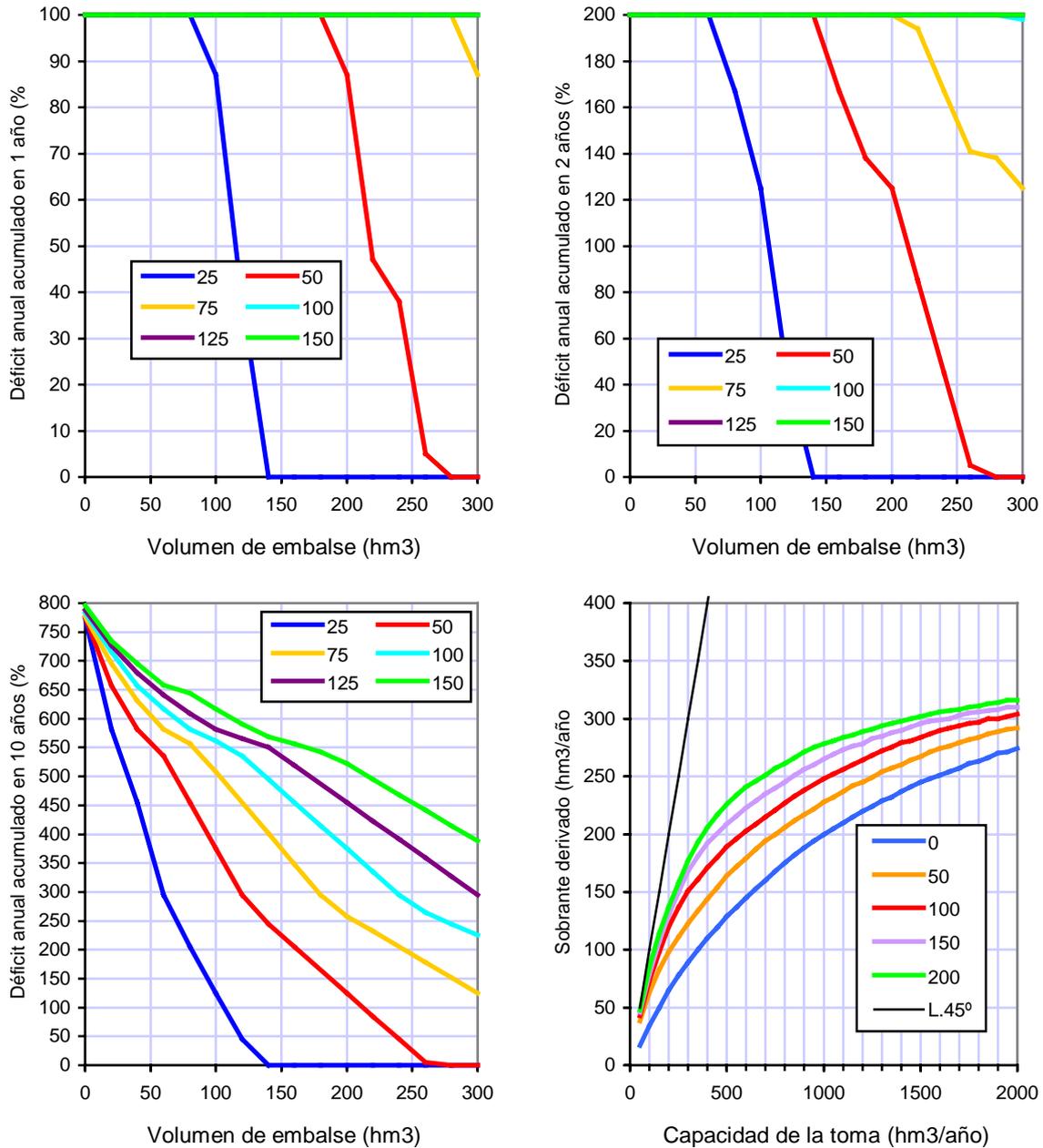


Figura 50. Toledo. Déficit anuales acumulados para demanda continua en 8 meses, y sobrantes derivables según capacidad de toma

Como se observa en las figuras, si no existe ninguna capacidad de almacenamiento disponible, y se especifica una demanda continua de 8 meses, las garantías mensuales son inferiores al 70%, las volumétricas inferiores al 60%, y se producen fallos absolutos de suministro (100, 200, 800% de déficit en 1, 2 y 10 años), lo que supone un resultado muy deficiente, incluso para demandas mínimas. Los volúmenes de embalse que serían necesarios para garantizar demandas muy moderadas, de unos 100 hm³/año, son muy elevados y no están, en principio, disponibles. Ello está revelando, en definitiva, una seria dificultad para proveer el servicio de cualquier nivel de demanda regulada en origen, y la necesidad estricta de derivar sobrantes irregulares que deben regularse, en su caso, en tránsito o destino.

Para valorar los resultados de esta posibilidad puede examinarse el último gráfico, indicativo de los volúmenes medios anuales que podrían captarse en función de la capacidad de la toma, y para diferentes supuestos de almacenamiento disponible.

Como puede comprobarse, si el almacenamiento disponible es cero, los volúmenes de sobrantes derivables crecen moderadamente con la capacidad de toma, y son del orden del 30% de esta capacidad para tomas pequeñas, y del 15% para tomas muy grandes, lo que muestra ineficiencia en todo caso.

Puede verse, asimismo, que si pudiese disponerse de capacidad de almacenamiento en origen, podrían derivarse cuantías mayores, pero siempre moderadas (380 hm³/año con 200 de embalse y 1500 de toma), y con un comportamiento similar al descrito.

En definitiva, puede concluirse que la posible captación en Toledo es costosa y moderada en sus cuantías. Fijando un coeficiente de dimensionamiento máximo de 5 - ciertamente muy elevado- puede concebirse una toma de 1000 hm³/año de capacidad, que derivaría una media de unos 200 hm³/año sin almacenamiento en origen. Como en el caso del Jarama, cabe un cierto juego con estas cuantías si el análisis mostrase que se alcanzan los máximos prescritos, y los indicadores de garantía revelan claramente que habría siempre una fuerte irregularidad de este suministro medio.

Bajo el supuesto enunciado, la serie anual y los cuantiles mensuales del sobrante realmente derivado son los mostrados en el gráfico adjunto.

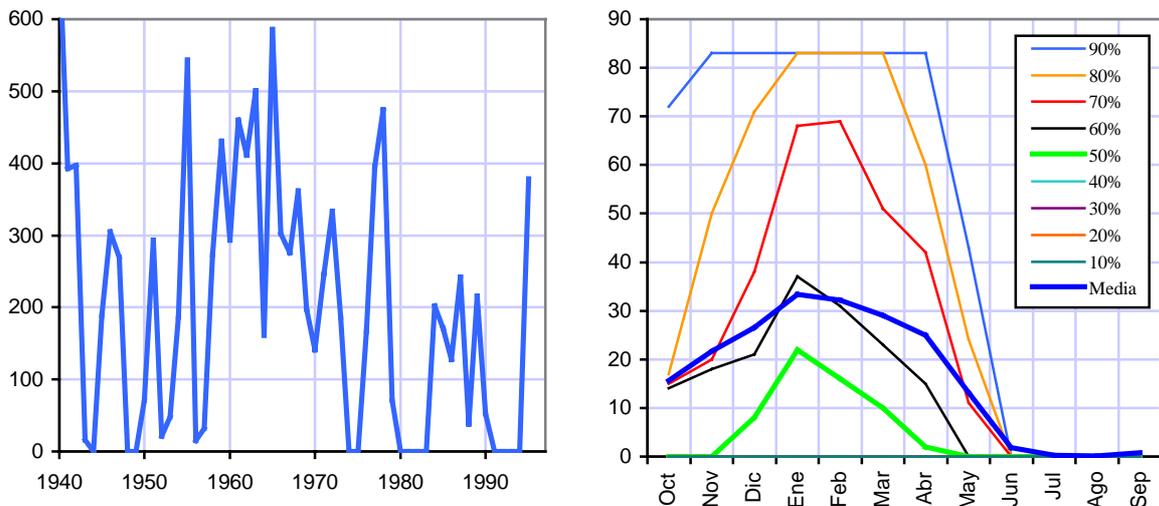


Figura 51. Toledo. Serie anual y cuantiles mensuales de los sobrantes derivables

Como puede verse, el comportamiento es muy errático, y hay rachas de años en que no hay sobrantes. Ello implica que los destinos de estos recursos han de ser capaces de soportar tal régimen, lo que podría suceder en el caso de una posible recarga de acuíferos en la Mancha, pero no sucedería si no hay importantes almacenamientos en tránsito o destino.

Como en el caso anterior, debe recordarse que estas derivaciones se refieren a la serie de sobrantes en el río, y no a la de caudales naturales, que es, como vimos, mucho mayor (cerca de 3000 hm³/año frente a unos 340 de sobrantes, de los que se derivará una media de 200). El fuerte contraste de estas cifras ilustra sobre el grado de compromisos adquiridos aguas abajo de este punto, y la poca holgura de que puede disponerse.

Observando los cuantiles mensuales puede verse que son frecuentemente nulos (la mediana de los datos es cero) en el periodo de mayo a septiembre. El modelo conceptual de 8 meses octubre-mayo sigue siendo, pues, razonablemente descriptivo de la verdadera producción de sobrantes, y suficiente como primera aproximación a los efectos de estudiar la viabilidad técnica de este régimen de envíos en los sistemas de tránsito y de destino.

Las reservas expuestas en el caso anterior respecto a la viabilidad global de un régimen como el descrito deben ser subrayadas ahora, pues tanto la irregularidad de sobrantes como el sobrecoste de dimensionamiento resultan más significativos que con la toma en el Jarama. En el Anejo de evaluación económica deberá considerarse específicamente esta cuestión.

4.5.4. AZUTÁN

Repitiendo los análisis anteriores para la posible derivación de Azután, las figuras adjuntas muestran, como antes, los distintos indicadores de comportamiento resultantes, también para requerimientos en el periodo de octubre a mayo (razonable a la luz de los cuantiles mensuales de sobrantes obtenidos), así como el sobrante derivable en función de la capacidad de toma para distintos posibles almacenamientos disponibles en origen.

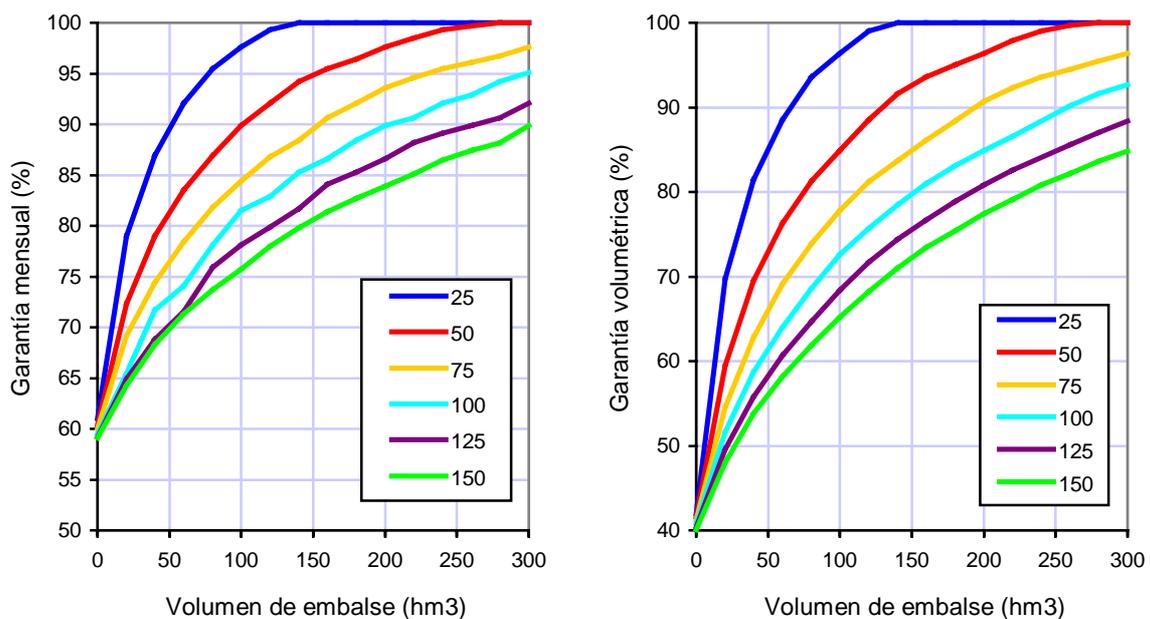


Figura 52. Azután. Garantías mensual y volumétrica para demanda continua en 8 meses

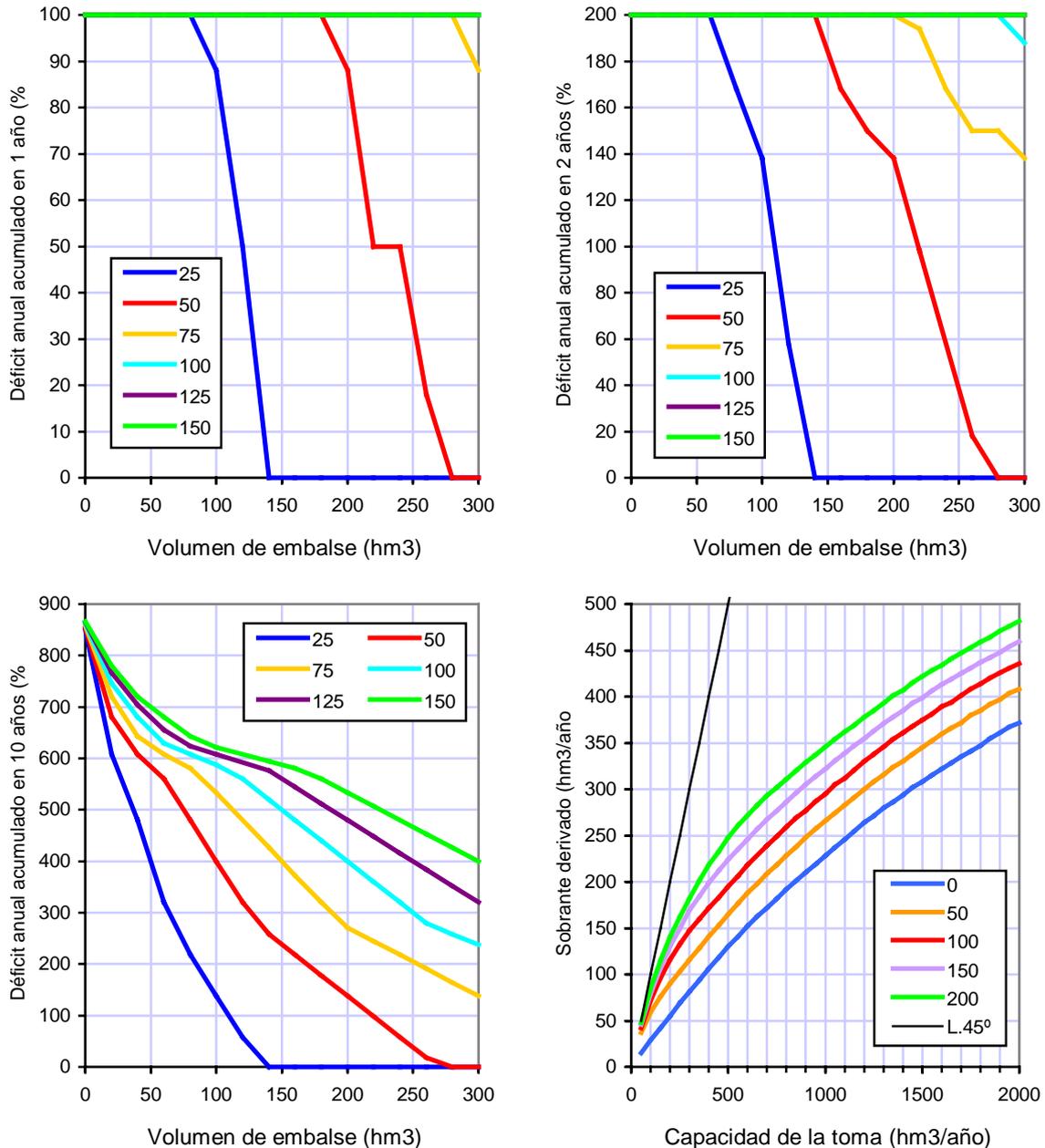


Figura 53. Azután. Déficit anuales acumulados para demanda continua en 8 meses, y sobrantes derivables según capacidad de toma

Como se observa en las figuras, si no existe ninguna capacidad de almacenamiento disponible, y se especifica una demanda continua de 8 meses, las garantías mensuales son inferiores al 65%, las volumétricas inferiores al 50%, y se producen fallos absolutos de suministro (100, 200, 850% de déficit en 1, 2 y 10 años), lo que supone un resultado pésimo para cualquier nivel de demanda.

Una cierta capacidad de almacenamiento en origen consigue mejorar esta situación, pero se requieren volúmenes superiores a 300 hm³ para ni siquiera alcanzar 100 hm³/año según los déficit acumulados. Esto revela, como en los casos anteriores, unas condiciones hidrológicas en principio malas para servir de punto de derivación.

Si se examina el gráfico indicativo de los volúmenes medios anuales que podrían captarse en función de la capacidad de la toma, y para diferentes supuestos de almacenamiento disponible, puede apreciarse que, si el almacenamiento disponible es cero, los volúmenes de sobrantes derivables crecen de forma casi lineal con la capacidad de toma durante todo el recorrido, y son del orden del 25 al 17% de esta capacidad, sin que se aprecie con nitidez el punto de cambio. Si se dispone una toma de 500 hm³/año podrían derivarse unos 130, si se dispone de 900 podrían derivarse 200, y si se dispone de 2000 podrían derivarse 360.

Puede verse, asimismo, que si se pudiese disponer de pequeñas capacidades de almacenamiento en origen, podrían derivarse cuantías algo mayores. Con embalse de 100, podrían pasarse a 190 con la toma de 500, 270 con la toma de 900, y 430 con la toma de 2000.

Puesto que en Azután puede existir cierta capacidad de almacenamiento susceptible de ser parcialmente empleada con destino a las transferencias, es posible suponer, en principio, que pueden derivarse una media de 300 hm³/año con una toma de 1000, lo que supone un coeficiente de dimensionamiento de 3'4. En definitiva, puede concluirse que la posible captación en Azután es muy costosa, pero puede alcanzar cuantías de cierto interés.

Bajo este supuesto, la serie anual y los cuantiles mensuales del sobrante realmente derivado son los mostrados en el gráfico adjunto.

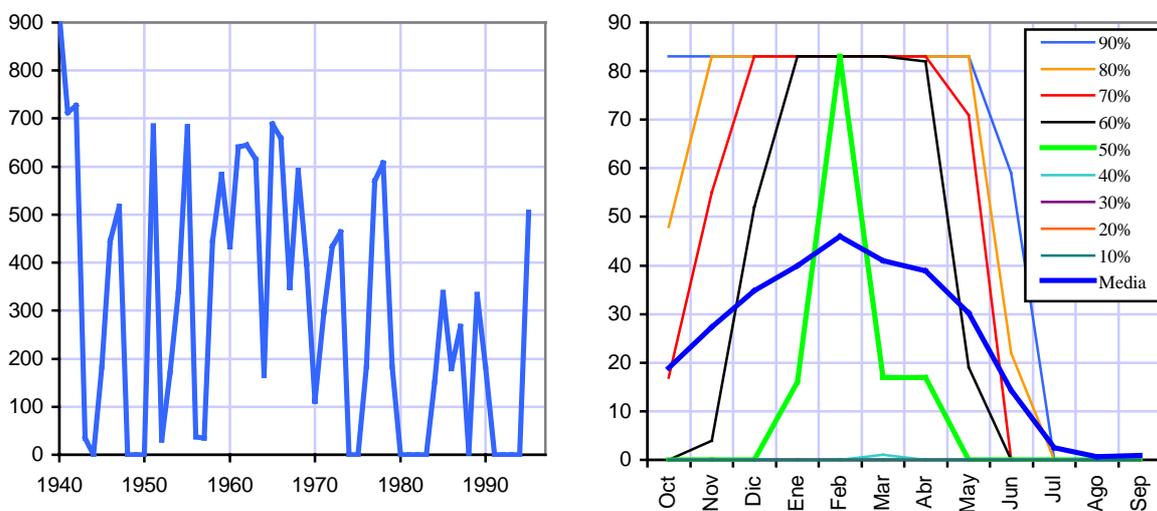


Figura 54. Azután. Serie anual y cuantiles mensuales de los sobrantes derivables

Como puede verse, el régimen es extremadamente irregular, y solo puede admitirse si, como en los puntos anteriores, se cuenta con amplias posibilidades de regulación en tránsito o destino.

Como en el caso anterior, debe recordarse que estas derivaciones se refieren a la serie de sobrantes en el río, y no a la de caudales naturales, que es, como se vió, mucho mayor (cerca de 4.500 hm³/año frente a 755 de sobrantes, de los que se derivará una

media de 300). El fuerte contraste de estas cifras ilustra, como antes, sobre el grado de compromisos adquiridos aguas abajo de este punto, y la reducida holgura de que puede disponerse. Sin duda, una parte esencial de este compromiso es el cumplimiento del tratado de Albufeira.

Observando los cuantiles mensuales puede verse que son frecuentemente nulos (cuantil 50% o mediana de los datos es cero) en el periodo de mayo a diciembre, y abundantes en invierno. El modelo conceptual de 8 meses octubre-mayo resulta ahora menos descriptivo de la verdadera producción de sobrantes, aunque lo consideraremos suficiente como primera aproximación teniendo en cuenta la posibilidad de almacenamiento en cola de esta fuente, y a los efectos de estudiar la viabilidad técnica de este régimen de envíos en los sistemas de tránsito y de destino.

4.5.5. TIÉTAR

Estudiaremos, por último, el posible punto de derivación del Tiétar. Repitiendo los análisis anteriores, las figuras adjuntas muestran los distintos indicadores de comportamiento resultantes, también para demanda formal en el periodo de octubre a mayo, así como el sobrante derivable en función de la capacidad de toma para distintos embalses disponibles.

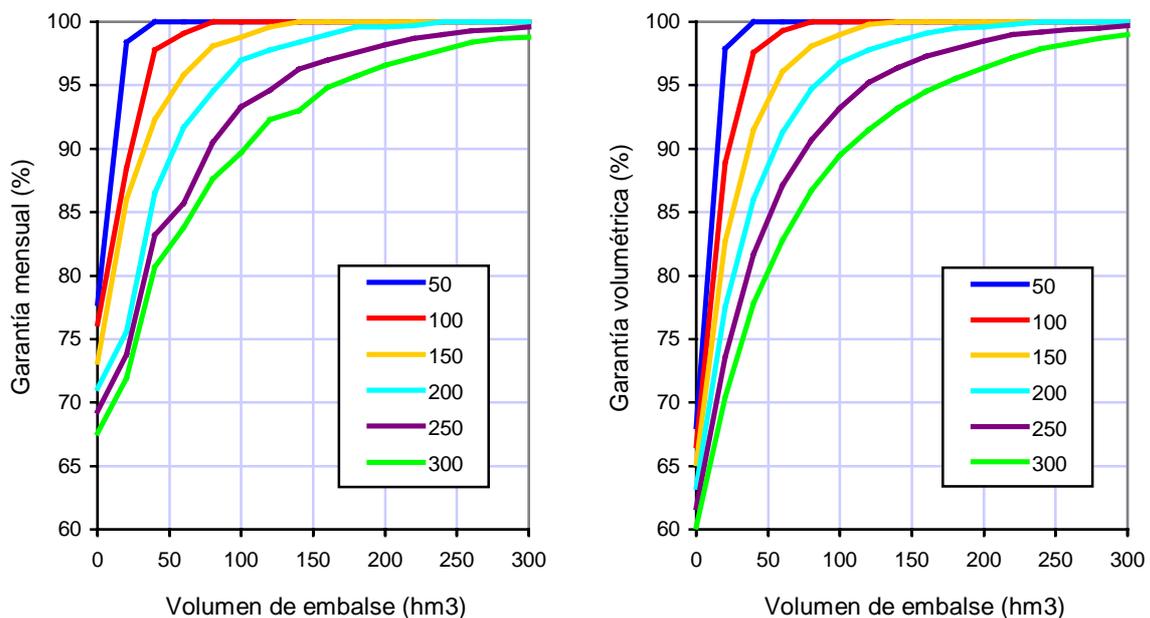


Figura 55. Tiétar. Garantías mensual y volumétrica para demanda continua en 8 meses

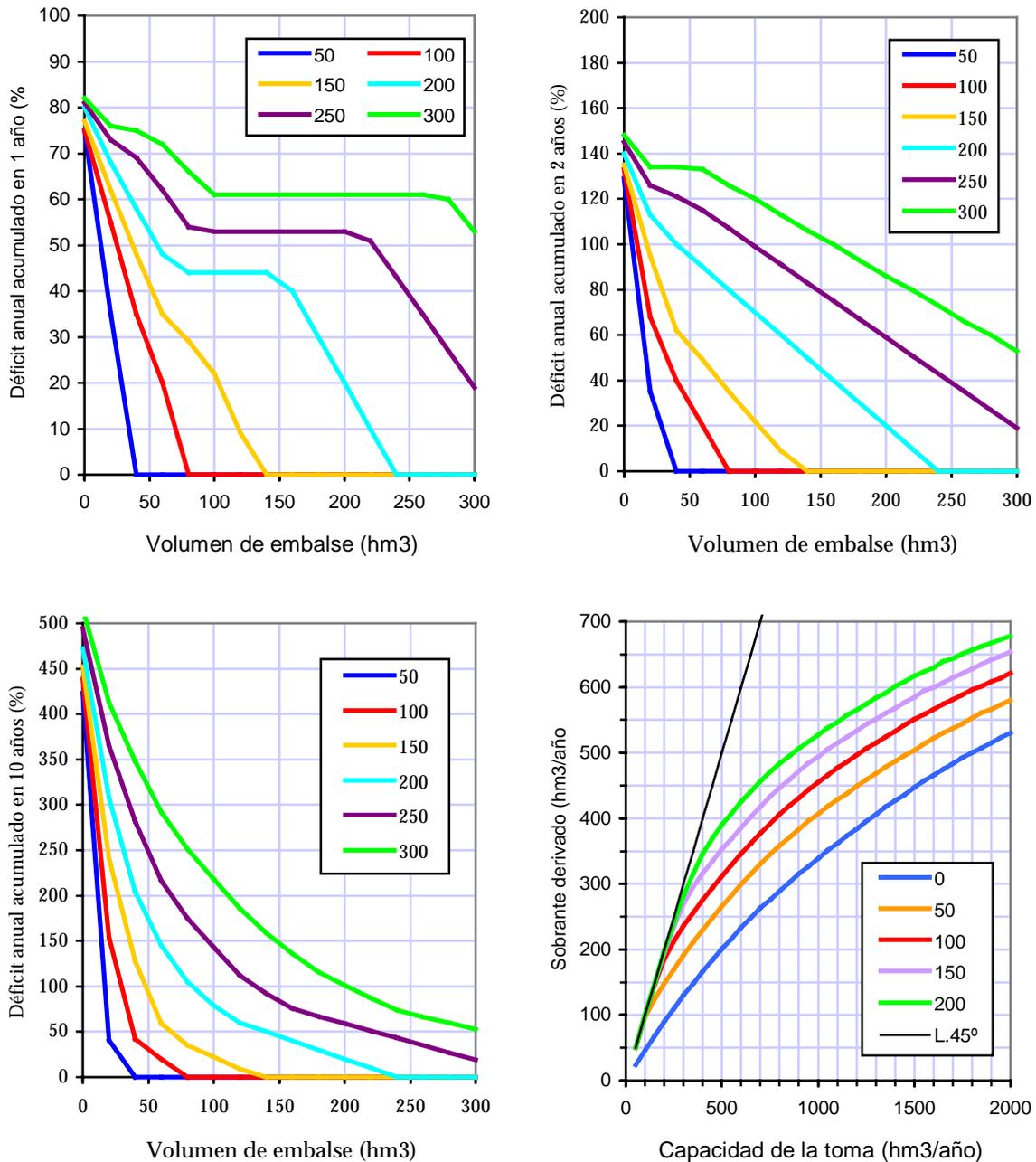


Figura 56. Tiétar. Déficit anuales acumulados para demanda continua en 8 meses, y sobrantes derivables según capacidad de toma

Como se observa en las figuras, si no existe ninguna capacidad de almacenamiento disponible, y se especifica una demanda continua de 8 meses, las garantías mensuales son inferiores al 80%, las volumétricas inferiores al 70%, y se producen fallos de suministro (80, 140, 500% de déficit en 1, 2 y 10 años), lo que supone un resultado deficiente, incluso para demandas reducidas. No obstante, una muy pequeña capacidad de embalse en origen introduce mejoras muy sensibles como puede verse en la pendiente de las curvas de garantía. Dado que, en principio, es razonable suponer la inexistencia de tales volúmenes disponibles, debe plantearse la necesidad de derivar sobrantes que deben regularse, en su caso, en tránsito o destino.

Para valorar los resultados de esta posibilidad puede examinarse el último gráfico, indicativo de los volúmenes medios anuales que podrían captarse en función de la capacidad de la toma, y para diferentes supuestos de almacenamiento disponible.

Como puede comprobarse, si el almacenamiento disponible es cero, los volúmenes de sobrantes derivables crecen con la capacidad de toma a lo largo de todo el recorrido de forma que para 200 hm³ de capacidad de toma podrían derivarse 90 hm³/año, con 1000, 350, y con 2000, 530. En todos los casos se observa alta irregularidad (coeficientes entre 2'2 y 3'8).

Puede verse, asimismo, que si pudiese disponerse de alguna capacidad de almacenamiento en origen la situación mejoraría mucho, pudiendo derivarse cuantías mayores con coeficientes moderados.

En definitiva, puede concluirse que la posible captación en el Tiétar es relativamente costosa (alta irregularidad), y con cuantías moderadas. Un criterio prudencial, a la luz de estos resultados, podría ser el de toma de 500 hm³/año de capacidad, que derivaría una media de unos 200 hm³/año (coeficiente 2'5).

Bajo este supuesto, la serie anual y los cuantiles mensuales del sobrante realmente derivado son los mostrados en el gráfico adjunto.

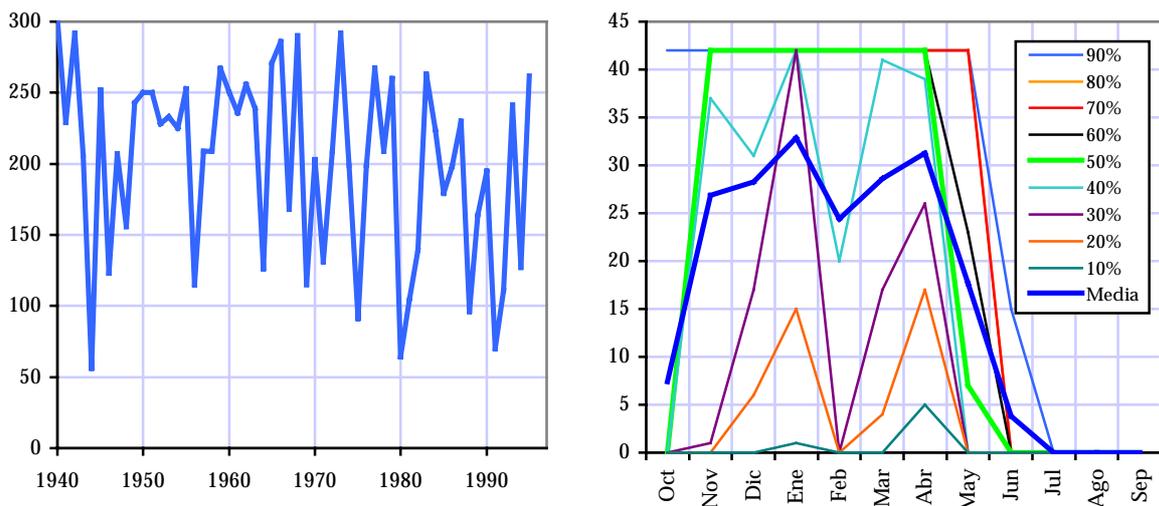


Figura 57. Tiétar. Serie anual y cuantiles mensuales de los sobrantes derivables

Como puede verse, la mayoría de los años se derivan entre 150 y 250 hm³/año, y no hay ninguno en que no haya excedentes.

Como en el caso anterior, debe recordarse que estas derivaciones se refieren a la serie de sobrantes en el río, y no a la de caudales naturales, que es obviamente mayor (unos 900 hm³/año frente a 800 de sobrantes, de los que se derivaría una media de 200). El fuerte contraste de estas cifras ilustra, como antes, sobre el grado de compromisos adquiridos aguas abajo de este punto, y la poca holgura de que puede disponerse.

Observando los cuantiles mensuales puede verse que son con frecuencia nulos (mediana de los datos es cero) en el periodo de junio a septiembre. El modelo

conceptual de 8 meses octubre-mayo parece también, en consecuencia, suficientemente representativo de la producción de sobrantes en este punto.

4.5.6. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Para perfeccionar el análisis realizado, cabe considerar el efecto que tendría sobre las series de sobrantes una disminución generalizada de las aportaciones naturales de la cuenca del Tajo como consecuencia de un hipotético cambio climático.

Tales efectos han sido analizados en el Libro Blanco del Agua, cuya conclusión al respecto puede resumirse en que no procede modificar las demandas hídricas previstas, pero sí cabe reducir las aportaciones en cuantías que son inciertas, pero que pueden tentativamente cifrarse, a efectos de diseño, en un 5% medio global al segundo horizonte del Plan (la horquilla correspondiente al Tajo está en el 4-10% de disminución de aportaciones). Asimismo, se prevé también un aumento de irregularidad de las aportaciones, cuya cuantificación se ignora.

La figura adjunta muestra la serie suma de sobrantes simultáneos derivables en los 4 puntos estudiados, junto con los sobrantes totales resultantes tras una disminución generalizada de aportaciones naturales del 5 y el 10%, y con un efecto de irregularidad mediante reducciones de menores del 10%.

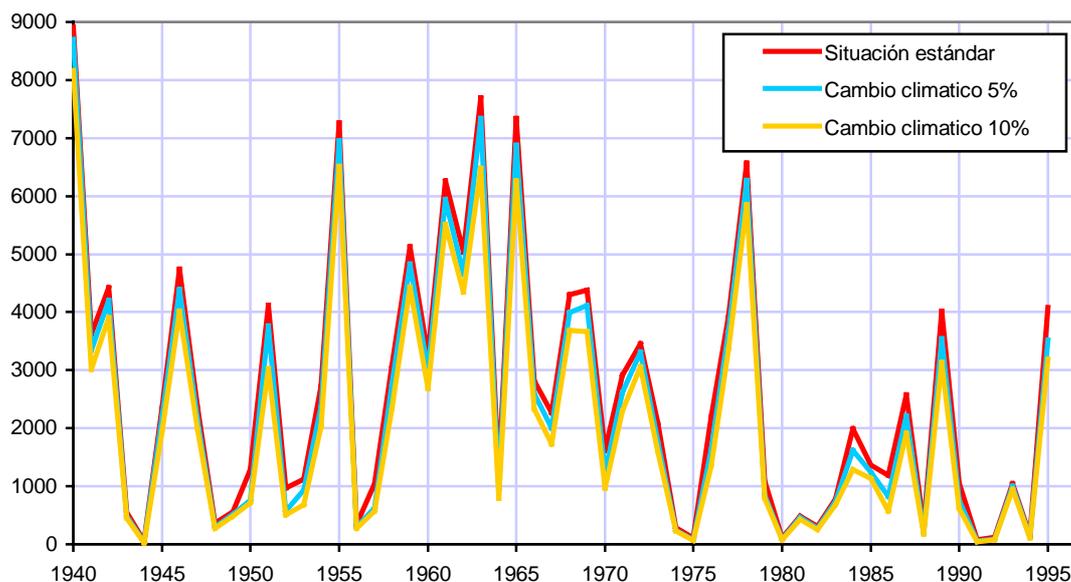


Figura 58. Series suma de sobrantes simultáneos en el Tajo bajo supuestos de cambio climático

Como puede verse, la serie de suma de sobrantes anuales apenas se ve afectada por la reducción de caudales naturales, aunque, como es obvio, fallarían mas demandas propias de la cuenca. Los sobrantes medios totales resultantes son de 2563, 2324 y 2091 hm³/año respectivamente.

Los órdenes de magnitud de las cifras mostradas, en contraste con los máximos sobrantes derivables propuestos, permiten concluir que una merma de aportaciones naturales como consecuencia del cambio climático no incidiría apreciablemente sobre los resultados básicos anteriormente obtenidos.

4.6. CONCLUSIONES

En síntesis, el análisis del sistema permite extraer las siguientes conclusiones con vistas a la planificación nacional:

3. En la cuenca del Tajo existe una disponibilidad de caudales excedentarios, una vez satisfechas todas las demandas propias previstas a largo plazo, los caudales ambientales y los acuerdos internacionales, cuya media anual puede cifrarse, en función del punto de toma, entre 700 y 1800 hm³/año considerados de forma exclusiva, y con un total de 2560 hm³/año si se consideran de forma simultánea.
4. Estos excedentes disponibles en la cuenca del Tajo presentan una muy acusada irregularidad intraanual e interanual, necesitando en todo caso de un volumen de regulación adicional en tránsito o destino para poder garantizar las demandas de trasvase. A efectos de diseño, el régimen de derivaciones es asimilable, en todos los casos, al de 8 meses octubre-mayo.
5. Si se plantea utilizar el volumen de embalse actualmente disponible en origen de cada punto de toma para modular la demanda de trasvase, la suma total de excedentes útiles es del orden de 1000 hm³/año, con fuertes irregularidades, y elevadas capacidades de toma en origen. Esta cuantía puede incrementarse con facilidad a costa de incrementar la capacidad de toma y disponer de mayores regulaciones en destino. Un funcionamiento no simultáneo de las tomas permitiría asimismo incrementar los máximos propuestos en cada punto.
6. En cualquier circunstancia se requiere disponer, en cola de las derivaciones, de capacidad de modulación interanual capaz de soportar rachas de hasta varios años seguidos sin excedentes.

Como síntesis del análisis realizado, la tabla adjunta resume los resultados básicos obtenidos para los cuatro puntos identificados como posibles orígenes para las transferencias.

Punto de toma	Aportac. natural (hm ³ /año)	Sobr. meds. exclusivos (hm ³ /año)	Sobr. meds. simult. (hm ³ /año)	Capac. de toma (hm ³ /año)	Capt. med. propuesta (hm ³ /año)	Coef. de dimens.	C.max/Reg.nat (%)
Jarama desemb.	1213	706	670	700	300	2'3	25
Tajo en Toledo	3014	1070	341	1000	200	5'0	7
Tajo en Azután	4510	1817	755	1000	300	3'4	7
Tiétar en Rosarito	922	797	797	500	200	2'5	22
			2563		1000		8

Tabla 22. Resultados básicos del análisis de sobrantes en distintos puntos de toma

Puede verse que las cuantías máximas propuestas como posibles derivaciones suman un total de 1000 hm³/año para toda la cuenca. Ello supone un 8% de sus 11870 hm³/año de recursos totales en régimen natural hasta la frontera con Portugal, y un 25% del Jarama, un 7% del Tajo en Toledo, un 7% del Tajo en Azután, y 22% del Tiétar en Rosarito, porcentajes en todo caso moderados.

La alta irregularidad de las tomas se pone de manifiesto observando los coeficientes de dimensionamiento, elevados en todos los casos.

5. CUENCA DEL EBRO

5.1. INTRODUCCIÓN

Por razones históricas de tradición e intensidad en el aprovechamiento de los recursos hídricos, la cuenca del Ebro constituye un área singular en el contexto de las grandes cuencas hidrográficas españolas. Su condición de territorio susceptible de transferencias externas, unida a este carácter histórico hidráulico singular, hacen que el estudio de esta cuenca adquiera la mayor relevancia en el contexto del presente Plan Hidrológico Nacional.

Como datos básicos del espacio, cabe indicar que su superficie total es de casi 85.000 km² (el 18% del total español), siendo la longitud total del río Ebro de 910 km, existiendo muchos importantes afluentes y cauces secundarios, y existiendo también numerosos lagos de montaña y lagunas en cuencas endorreicas. Todo ello da lugar a una notable complejidad y variedad hidrológica, coexistiendo situaciones de abundancia de agua en varias épocas del año -sobre todo en la margen izquierda-, con otras de escasez estructural en algunas subcuencas de la margen derecha, tan críticas y precarias como las zonas más secas y deficitarias del sureste español. Esta complejidad hidrológica se ha traducido en una gran riqueza de modos organizativos y de ordenación de los aprovechamientos hidráulicos.

Desde el punto de vista del medio hídrico, existen en la cuenca del Ebro numerosos espacios ribereños de gran riqueza ambiental, algunos de muy alto valor ecológico y paisajístico. Además, un gran número de actividades recreativas ligadas al agua -como la pesca, el baño, la navegación o la simple visita a entornos fluviales o de lagos o embalses-, están socialmente implicadas en numerosos ámbitos de la cuenca. Entre los usos productivos del agua destaca la agricultura de regadío, existiendo una superficie total próxima a las 800.000 ha. En estos regadíos se alcanzan con frecuencia rendimientos plenamente competitivos con los de la Unión Europea, y en ellos se ha desarrollado al mismo tiempo un importante sector agroalimentario, principalmente en el valle del Ebro, con buenas perspectivas también para la ganadería.

Desde el punto de vista administrativo, la cuenca del Ebro comprende territorios adscritos a nueve Comunidades Autónomas, siendo por tanto una cuenca intercomunitaria muy compleja, con multitud de intereses regionales contrapuestos, cuya contemplación conjunta y armonización resulta imprescindible, y para la que el Plan Hidrológico de cuenca ha resultado ser un instrumento de fundamental importancia. No resulta ajena a ello la vieja tradición organizativa de los usos del agua, una muestra de la cual es el hecho de que la cuenca del Ebro fuese pionera en una visión territorial integral para llevar a cabo el aprovechamiento hídrico de forma participativa y mancomunada, mediante la creación de la Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro en 1926, verdadera referencia mundial como antecedente histórico de los organismos de gestión del agua por cuencas hidrográficas.

De forma simplificada, pero no desatinada, puede decirse que la historia hidráulica de la cuenca del Ebro es la historia de una aspiración permanentemente postergada y nunca plenamente satisfecha. Así, desde tiempos remotos se han sucedido las iniciativas de toda índole para incrementar el aprovechamiento del agua, en el convencimiento social de que este aprovechamiento equivalía a la prosperidad de las comarcas que podían disfrutarlo. La no completa materialización de estas aspiraciones ha creado en distintos territorios de la cuenca una sensación de frustración y agravio histórico que, sin perjuicio de su actual validez, resulta basada en hechos objetivos, y es por tanto legítima y explicable. Esta percepción social es el origen de la defensa a ultranza de los recursos hídricos de la cuenca del Ebro, realizada en épocas pasadas por amplios sectores sociales, y que encontró también –junto a algunas posiciones irreflexivas e irresponsables– soportes intelectuales de la mayor ponderación y buen juicio.

En el marco de este Plan Hidrológico Nacional es obligado contemplar tales complejas y conflictivas realidades con el mayor rigor y ecuanimidad, huyendo de prejuicios y sesgos iniciales, procurando desarrollar los análisis con toda transparencia expositiva, y buscando el final último de la planificación hidrológica que no es, en definitiva, sino el de la mejor ordenación de todas las aguas del país.

Para desarrollar tales análisis, en lo que a disponibilidades hídricas se refiere, este capítulo se divide en tres grandes secciones.

En primer lugar, se comenzará por una revisión específica del clásico problema de los sobrantes del Ebro, sobre el que se ha reflexionado y escrito mucho desde hace décadas, y cuya completa clarificación y cuantificación es un paso previo inexcusable en el estudio de posibles transferencias externas.

Tras ello, se estudiará el sistema de explotación global de la cuenca, analizando sus distintos componentes, y evaluando su comportamiento previsible conforme a las determinaciones del Plan Hidrológico del Ebro.

Por último, se evaluará con detalle la verdadera disponibilidad de hipotéticos excedentes, concluyendo con unas determinaciones básicas y robustas a los efectos de este Plan Nacional.

5.2. LA CUESTIÓN DE LOS *SOBRANTES DEL EBRO*

La cuestión de los *sobrantes del Ebro* es, sin duda, uno de los grandes temas recurrentes, clásicos, del debate hidráulico español en las últimas décadas.

La literatura existente al respecto es extensa, y aborda el problema desde perspectivas jurídicas, políticas, socioeconómicas, ambientales e hidrológicas. Interesantes ejemplos de estas contribuciones son, por ejemplo, las de Martín-Retortillo (1974), Moreu Ballonga (1993), Confederación Hidrográfica del Ebro (1996), Embid Irujo (1995), o de los Ríos Romero (1990).

Entre las referencias que se ocupan del asunto es muy frecuente que, a la luz de los datos de aforos observados en las proximidades de la desembocadura, se ponga de manifiesto el hecho aparente de que estos sobrantes tienden a disminuir con el paso del tiempo, mostrando una inequívoca tendencia que, de continuar en el futuro, acabará por anularlos. Las razones que se apuntan para ello son muy diversas (disminución de las lluvias en las últimas décadas, deforestación, aumento de consumos, manifestación del cambio climático, etc.), y han sido enunciadas por lo común como meras hipótesis, sin un contraste crítico. El resultado es que la idea de una anómala disminución de los caudales del Ebro se ha extendido ampliamente por la opinión pública, creando inquietud social, sin que se haya clarificado rigurosamente la exactitud de esta hipótesis y, en su caso, las razones a las que se debe.

En la discusión sobre posibles transferencias desde el Ebro esta cuestión adquiere una importancia capital, pues cualquier posible iniciativa ha de partir, evidentemente, de la existencia de tales sobrantes, como requisito previo a cualquier otro. Distintas voces desde la cuenca del Ebro han argumentado, con fundamento, que no cabe plantear una transferencia desde ese río sin que este asunto quede debidamente aclarado, y desde otras áreas del país, posibles receptoras de las transferencias, se ha reclamado también tal clarificación de forma que, como condición previa e inexcusable para abordar el proyecto, se asegure razonablemente una cierta continuidad y seguridad de los posibles aportes en el futuro.

Por todas estas razones, se ha considerado necesario, en el marco del Plan Hidrológico Nacional, realizar un estudio específico sobre la cuestión, tal y como seguidamente se expone.

5.2.1. INTRODUCCIÓN. CONCEPTOS PREVIOS

Los aportaciones observadas del río Ebro en su desembocadura son función de las aportaciones naturales del río (función a su vez de las lluvias y las condiciones hidrológicas), de las sueltas y almacenamientos en los embalses, de las afecciones a las aguas subterráneas, y de los consumos de agua en la cuenca. Este epígrafe tiene por objeto analizar y explicar las relaciones entre todas estas variables de forma agregada, investigando su comportamiento conjunto.

Si bien es conocido que los consumos de agua en la cuenca han crecido a lo largo del presente siglo, cabe hacerse la pregunta de si el crecimiento de los consumos justifica la

tendencia descendente que se observa en la serie, o ha de acudir a otras explicaciones tales como el descenso de las lluvias, el cambio climático, u otros factores ocultos y desconocidos.

Responder a esta pregunta es de vital importancia, pues permitirá extraer algunas conclusiones sobre el problema de los sobrantes del Ebro, motivo central en el análisis riguroso de las posibles transferencias de recursos que debe considerar este Plan Hidrológico Nacional.

Huelga decir que el significado que tradicionalmente se ha venido dando al término *sobrantes* es el coloquialmente admitido como equivalente a los desagües al mar, aunque, como es obvio, y sin entrar en otras interpretaciones y complejidades desde el punto de vista jurídico, tal calificación resulta impropia y errónea por ignorar los requerimientos ambientales del río y de su desembocadura. En un sentido estricto, solo cabe hablar -jurídica y técnicamente- de sobrante tras la correcta satisfacción previa de tales requerimientos, conforme a los conceptos sobre el sistema de utilización expuestos en el Libro Blanco del Agua en España. Los conceptos de déficit y excedente resultan igualmente equívocos, y han de interpretarse con las mismas cautelas. Más adelante se verá la consideración de estos conceptos en el caso concreto que nos ocupa.

5.2.2. LAS ESTACIONES DE MEDIDA DE CAUDALES Y SU FIABILIDAD

La estación de aforos más próxima a la desembocadura del río al mar se localiza en Tortosa y se denomina *E-27 río Ebro en Tortosa*. Dispone de datos de caudales desde principios de siglo, aunque éstos presentan muchas lagunas desde el inicio de la serie hasta comienzos de los años 50, tal y como puede verse en la figura adjunta.

La mera inspección visual de la serie revela, en efecto, un descenso continuado de las aportaciones del río Ebro, y fundamenta la percepción a que nos hemos referido anteriormente. Si, como han hecho muchos autores, se ensaya una regresión lineal de estos caudales con el tiempo, se obtiene la recta de tendencia mostrada, que resulta ser significativamente decreciente (estadístico t de la pendiente=-5.5; estadístico $F=30.2$). Si se continúa el proceso prolongando esta línea hacia el futuro, las aportaciones serían nulas el año 2075. Según la ventana temporal empleada por los distintos autores que se han ocupado del problema, esta fecha de agotamiento es distinta, pero en todos los casos se sitúa entrado el siglo XXI.

Este es, en síntesis, el planteamiento de la cuestión.

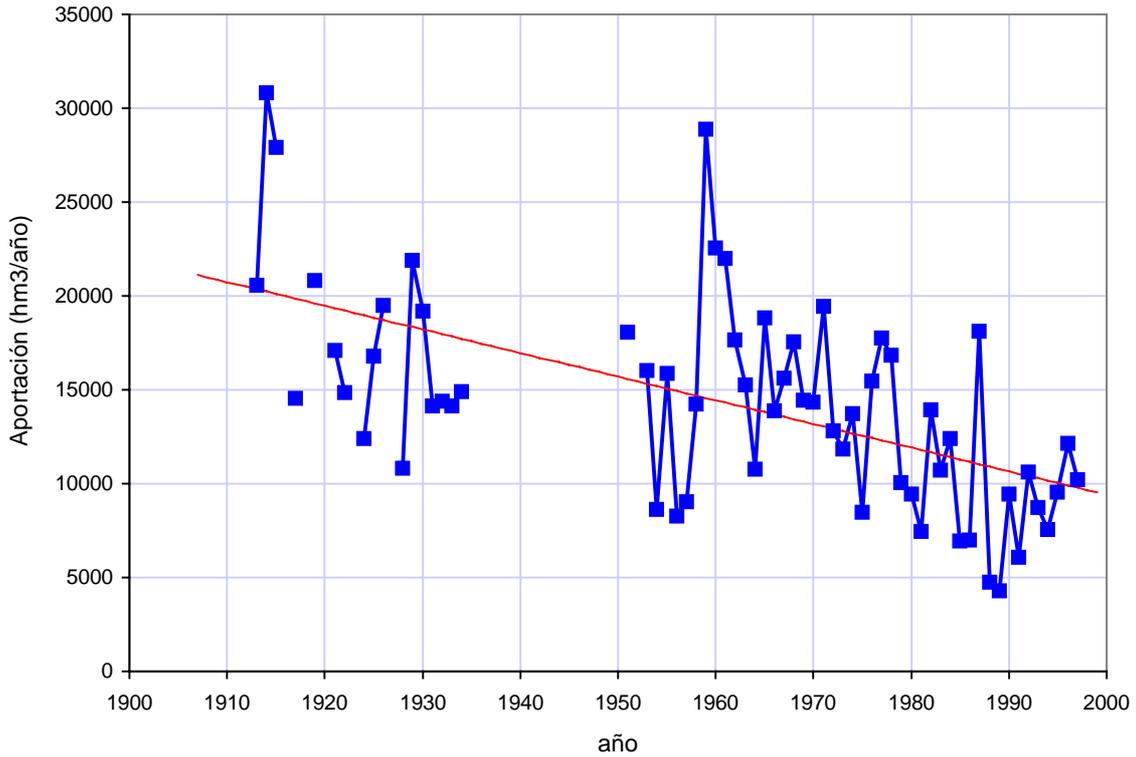


Figura 59. Aportaciones anuales del río Ebro en Tortosa (estación E-27)

El primer paso de nuestro análisis consiste en verificar la fiabilidad de los datos registrados en la estación E-27, para lo cual se han contrastado con los datos de otras estaciones. La figura muestra un esquema de la cuenca del Ebro con los principales ríos y estaciones de aforo de la zona.

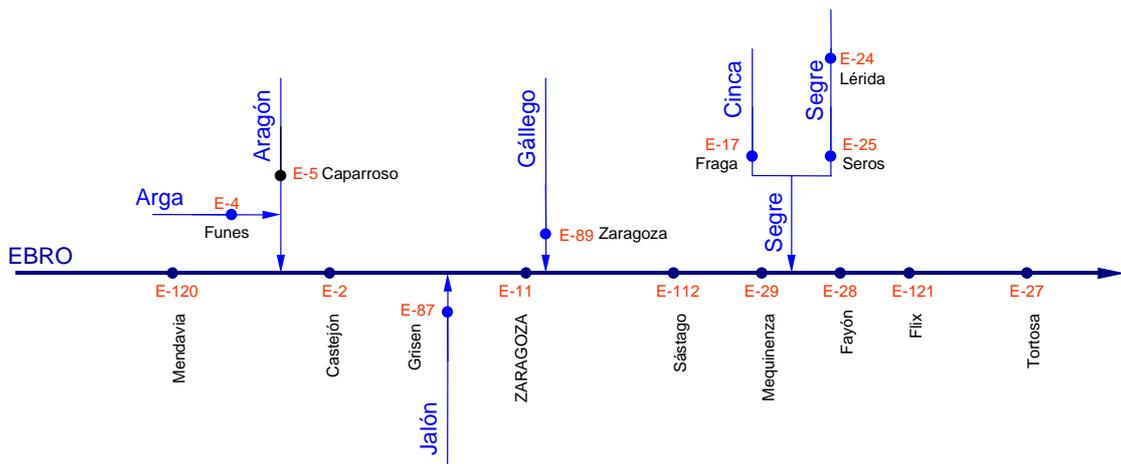


Figura 60. Esquema de la cuenca del Ebro con los principales ríos y estaciones de aforo

En primera instancia, la siguiente figura muestra las series de aportaciones en Tortosa (estación de aforos E-27) y en Zaragoza (estación de aforos E-11). Al comparar ambas

series se observa un primer hecho revelador, y es que la significativa tendencia descendente ($t\text{-pend}=-2.8$; $F=8.0$) que muestran los caudales en Tortosa entre los años 1913 y 1935 no aparece reflejada en el registro de Zaragoza. Más aún, la tendencia se invierte y pasa a ser significativamente creciente ($t\text{-pend}=3.1$; $F=9.4$). Ambas líneas de tendencia se han representado también en el gráfico.

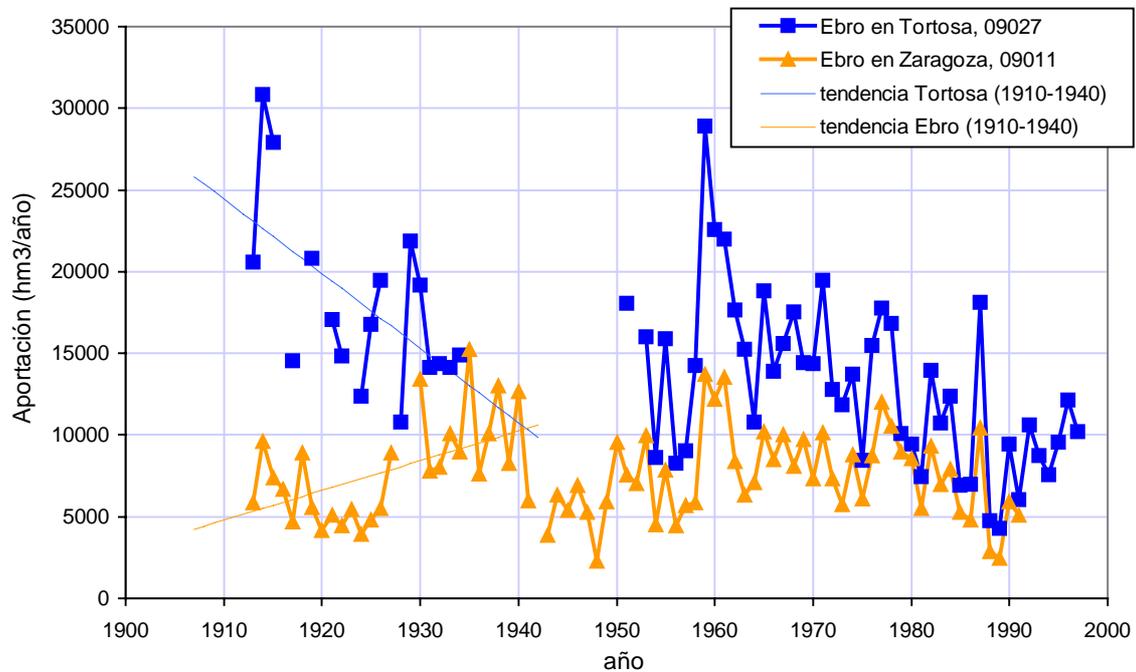


Figura 61. Aportaciones del río Ebro en Zaragoza (estación E-11) y Tortosa (estación E-27)

En este punto, la atención se centra en la serie de Zaragoza, resultando de interés para el análisis el comprobar la fiabilidad de los datos registrados en esta estación en el periodo comprendido entre los años 1910 y 1940.

Aunque las favorables características para la medición de la estación de aforos de Zaragoza y su estratégica ubicación permiten presumir que sus datos serán de calidad, se ha procedido a su comparación con los datos de la estación E-02, río Ebro en Castejón. Como puede verse, las dos series muestran caudales muy similares en todo el periodo de datos comunes (incluyendo los datos del periodo objeto de comprobación), como cabía esperar dadas las bajas aportaciones del Jalón. La excelente concordancia de registros avala, con gran probabilidad, su calidad.

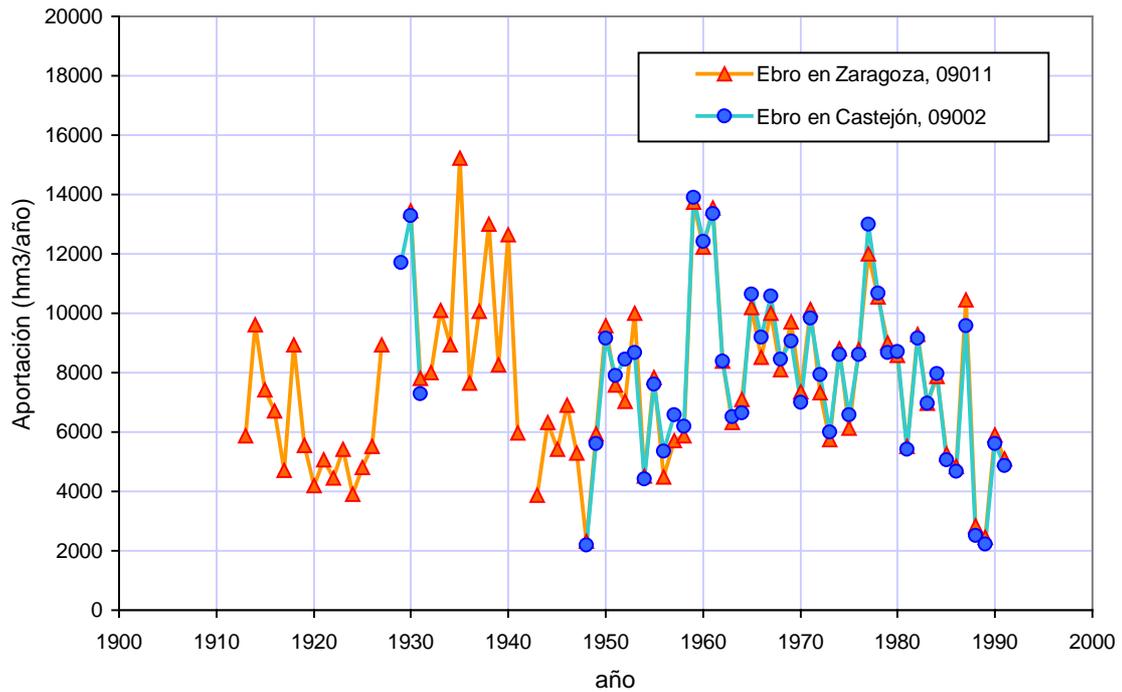


Figura 62. Series de aportaciones anuales del Ebro en Zaragoza (estación E-11) y en Castejón (estación E-02)

Asumida la bondad de los datos en Zaragoza, solo cabe una posibilidad para que los datos de la estación de Tortosa correspondientes al primer tercio de siglo sean fiables, y es que la serie de diferencias entre sus aportaciones y las registradas en Zaragoza fuera similar a las aportaciones del Segre, lo que significaría que este río debería haber tenido un periodo excepcionalmente húmedo entre los años 1910 y 1930, contrariamente a lo sucedido en el resto de la cuenca.

La siguiente figura muestra esa serie de diferencias, junto con una serie representativa de las aportaciones del río Segre. El análisis visual de los datos revela que en el periodo anterior a los años 30 la serie de diferencias proporciona unos valores muy elevados (del orden del triple) en comparación con los de la serie del Segre, mientras que el acuerdo es bueno en las décadas recientes. De ello se infiere nuevamente que los datos de la estación de Tortosa podrían tener errores importantes hasta los años 30, y que el registro desde mediados de los 50 puede considerarse, en principio, satisfactorio.

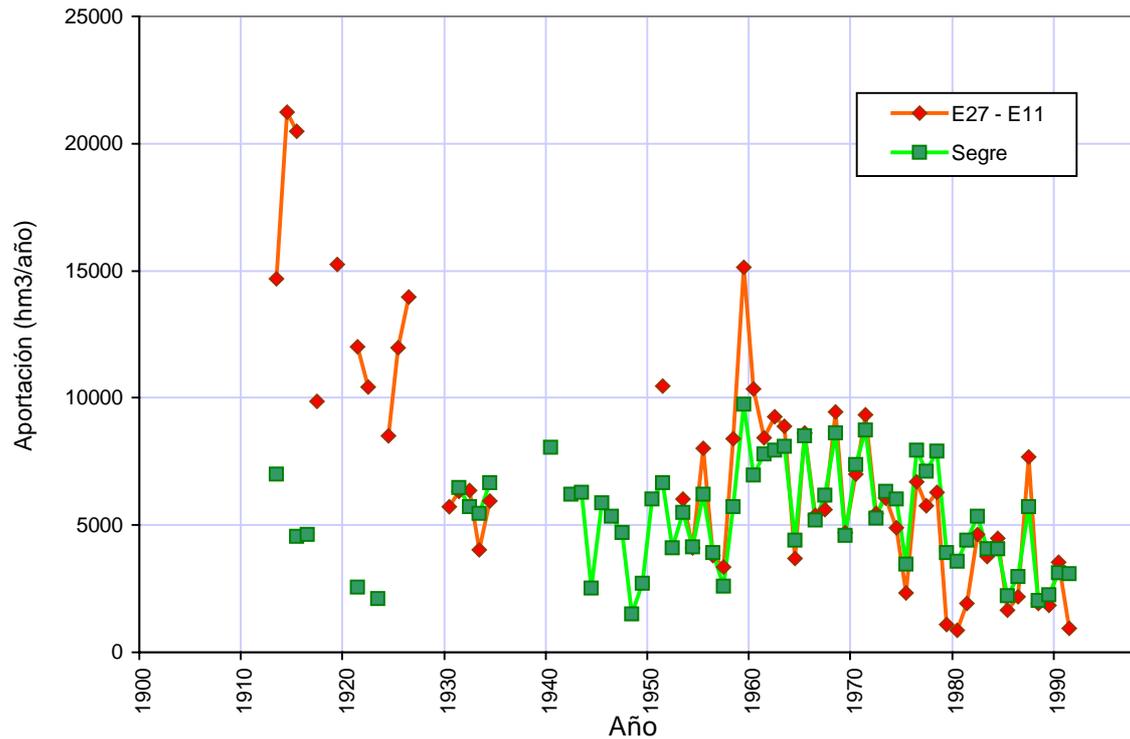


Figura 63. Estimación de las aportaciones del río Segre

5.2.3. ESTIMACIÓN DE LA SERIE DE APORTACIONES DEL EBRO EN DESEMBOCADURA

Caracterizada la fiabilidad de la serie de Tortosa, y descartada su validez en el periodo más antiguo, puede usarse como base para la obtención de una serie completa, larga, y representativa de los caudales circulantes en el tramo final, impropriadamente llamados *sobrantes* del río.

En efecto, al ser la estación E-27 la más próxima a la desembocadura y disponer de un número de datos elevado, parece conveniente completar algunos de los huecos que presenta, y generar una serie completada representativa de estos sobrantes, y que pueda emplearse para el análisis temporal del comportamiento global de la cuenca.

Para proceder, pues, a este completado se han utilizado los datos registrados en otras estaciones de aforo próximas, tal y como muestra la figura adjunta.

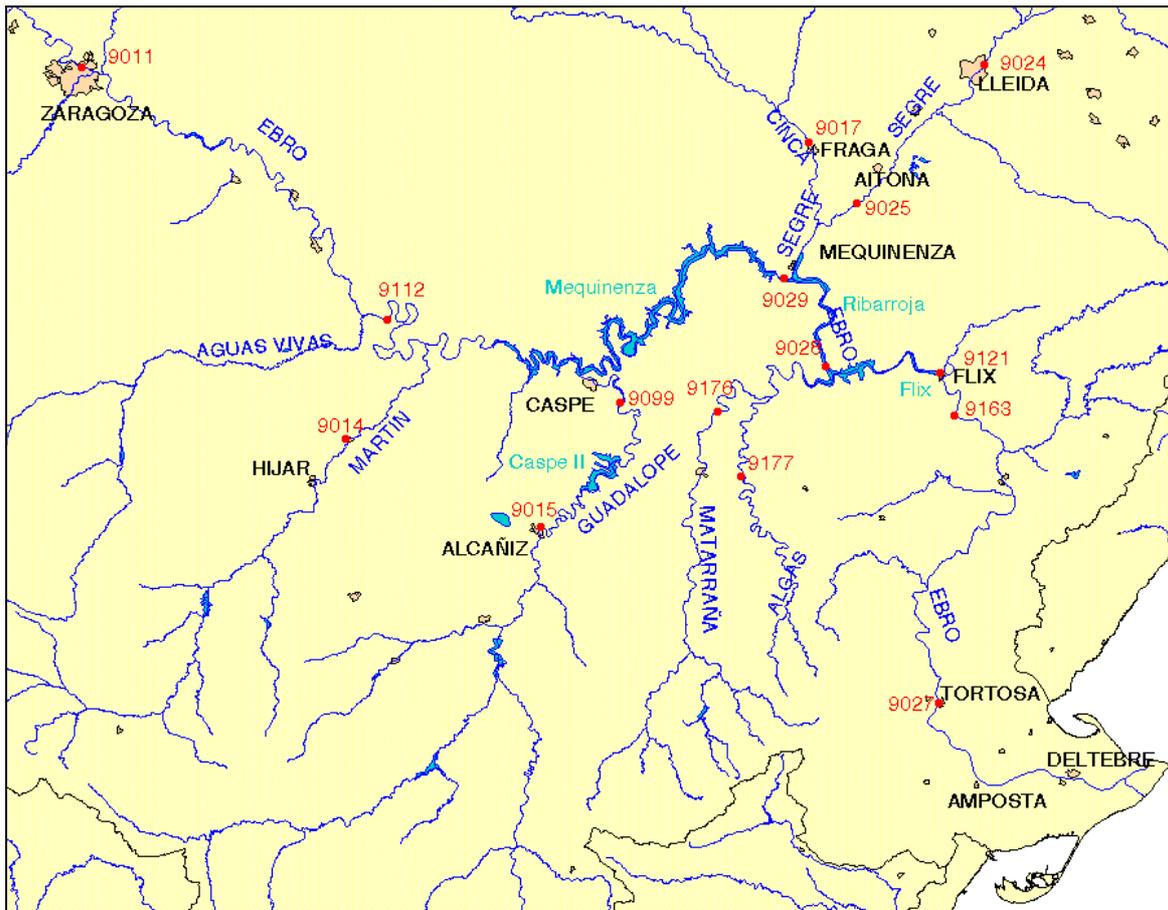


Figura 64. Mapa de estaciones de aforo en las proximidades de la desembocadura del Ebro

Descartado el periodo anterior al año 1940, con datos muy deficientes, el análisis que se realiza a continuación se centra en los años siguientes, que corresponden al periodo utilizado en los Planes Hidrológicos de cuenca y en el Libro Blanco.

Tras analizar los periodos de datos disponibles de cada estación (v. figura) y visualizar los datos con objeto de detectar posibles errores y observar sus relaciones, se ha procedido a completar la serie de aportaciones del Ebro en Tortosa de la siguiente manera:

- En los periodos comprendido entre los años hidrológicos 1940/41 a 1941/42 y 1944/45 a 1947/48 las aportaciones en Tortosa se han completado a partir de los datos registrados en las estaciones de aforo *E-11-río Ebro en Zaragoza* y *E-24 Río Segre en Lérida*, mediante la expresión siguiente:

$$E_{27} = 1.1 E_{11} + 2.1 E_{24}$$

- En el periodo comprendido entre los años hidrológicos 1942/43 a 1943/44 las aportaciones en Tortosa se han completado a partir de los datos registrados en las estaciones de aforo *E-29-río Ebro en Mequinenza* y *E-24 Río Segre en Lérida*, mediante la expresión siguiente:

$$E_{27} = E_{29} + 2.1 E_{24}$$

- En el periodo comprendido entre los años 1948/49 a 1950/51 y en el año 1952/53 las aportaciones en Tortosa se han supuesto equivalentes a las de la estación de aforos *E-121 río Ebro en Flix*.

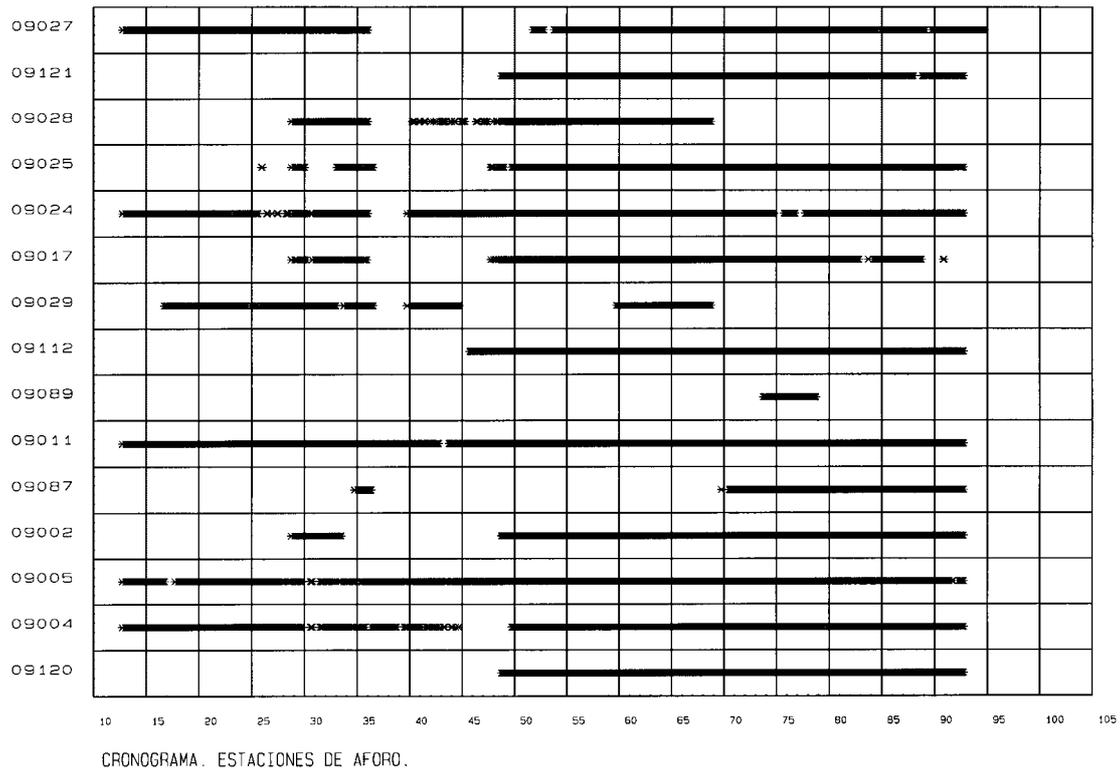


Figura 65. Cronograma de las principales estaciones de aforo con periodos con datos

Conforme a estos criterios, en la siguiente figura se muestra la serie de aportaciones del río Ebro en Tortosa en el periodo comprendido entre los años hidrológicos 1940/41 y 1997/98, diferenciándose los datos registrados y los completados a partir de otras estaciones.

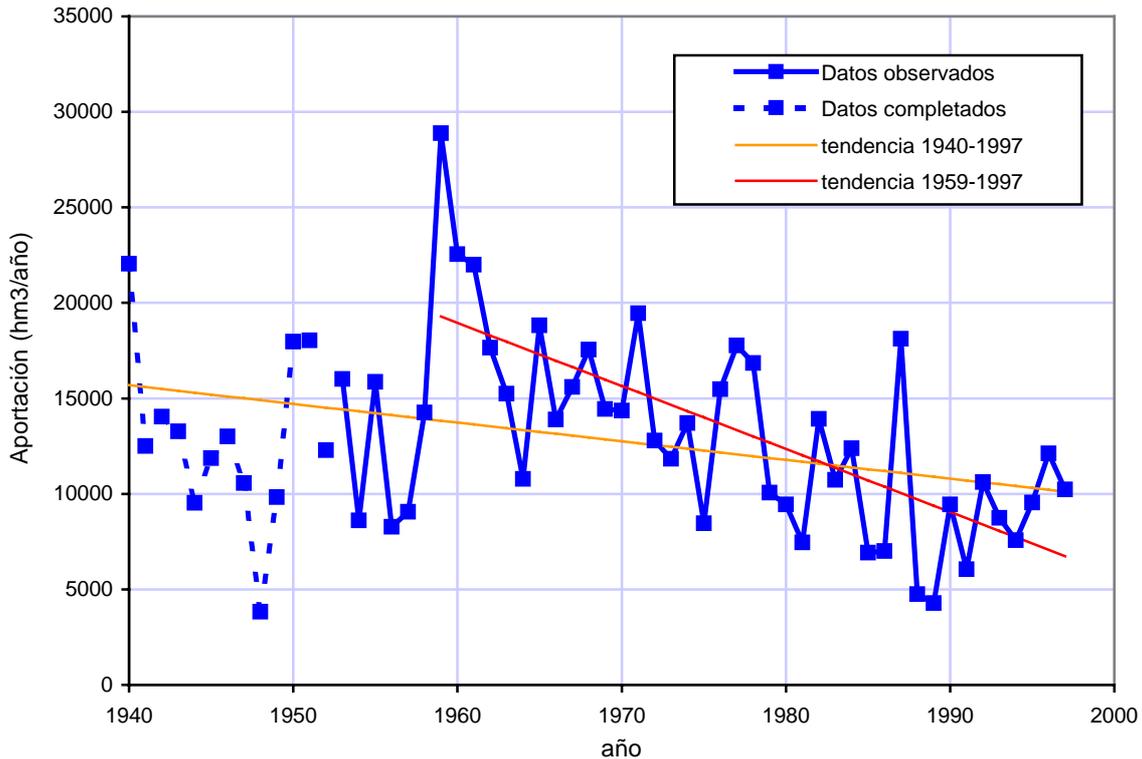


Figura 66. Aportaciones del río Ebro en Tortosa completadas para el periodo 1940/41 - 1997/98

5.2.4. LA DISMINUCIÓN DE SOBRANTES Y EL INCREMENTO EN LOS CONSUMOS

En la serie de aforos mostrada en la figura anterior puede observarse una significativa tendencia global descendente ($t\text{-pend}=-2.7$; $F=7.0$), inducida probablemente por el exacerbado efecto descendente desde los años 60 hasta la actualidad, que resulta ser claramente significativo ($t\text{-pend}=-6.1$; $F=37.7$). Ambas tendencias se han representado también en la figura. Puesto que el análisis previo revela que estos datos son suficientemente fiables, debe pensarse que la tendencia detectada es real, lo que nos conduce a la investigación de sus causas.

Como ya se ha dicho, se han propuesto distintas razones para explicar esta tendencia (merma de lluvias, aumento de consumos, cambios climáticos, etc.). En nuestro análisis se procederá a investigar si la razón más verosímil -el aumento de los consumos de agua en la cuenca del Ebro- puede ser razón suficiente que explique este comportamiento, o si esta causa es insuficiente, y es necesario acudir a otras variables explicativas tales como las lluvias.

5.2.4.1. EVOLUCIÓN DE CONSUMOS NETOS. BALANCE HÍDRICO

Si no existiesen almacenamientos en la cuenca, los consumos netos anuales de agua (detracción neta del sistema agregado) podrían estimarse directamente como diferencia entre las aportaciones anuales en régimen natural en la desembocadura del río al mar,

y las aportaciones anuales que realmente se han producido y que son asimilables a los sobrantes medidos en la estación de aforos de Tortosa. Puesto que en la realidad existen almacenamientos en la cuenca, la estimación anterior debería añadir a las aportaciones en régimen natural la variación antrópica anual en los almacenamientos. Dada la relativamente muy reducida explotación de aguas subterráneas frente a estas magnitudes, puede suponerse que las variaciones antrópicas globales de almacenamientos, sobre el ciclo hidrológico natural, quedan bien representadas por las variaciones de existencias embalsadas. Como es obvio, existe una variación natural de reservas hidrogeológicas y otros almacenamientos existentes que resulta sin duda significativa, pero que obedece a ciclos naturales, no afectados. En definitiva, puede obtenerse una razonable estimación de las salidas del sistema, a efectos del cálculo de consumos netos, añadiendo al balance el efecto de diferencia entre las salidas y las entradas a los embalses de la cuenca.

A estos efectos, la figura adjunta muestra el importante incremento que se produce en la década de los años 60 y principios de los 70 en la capacidad de almacenamiento en la cuenca del Ebro, y también la congelación que posteriormente tiene lugar y que, prolongándose casi 30 años, llega hasta la actualidad, con casi 7000 hm³ disponibles. Es curioso constatar que la capacidad de embalse necesaria se había estimado en 1971 por el Consejo Económico Sindical Interprovincial del Ebro en unos 37.400 hm³, cifra mantenida como objetivo por diferentes autores (de los Ríos, 1990), y que la planificación hidrológica de la cuenca redujo notablemente.

Como puede verse, las reservas globales de agua almacenada también evolucionaron con un ritmo similar al de la capacidad de embalse, y tienen un rango de movimiento intraanual que, en valores medios y para los últimos años, puede cifrarse en unos 2.000 hm³.

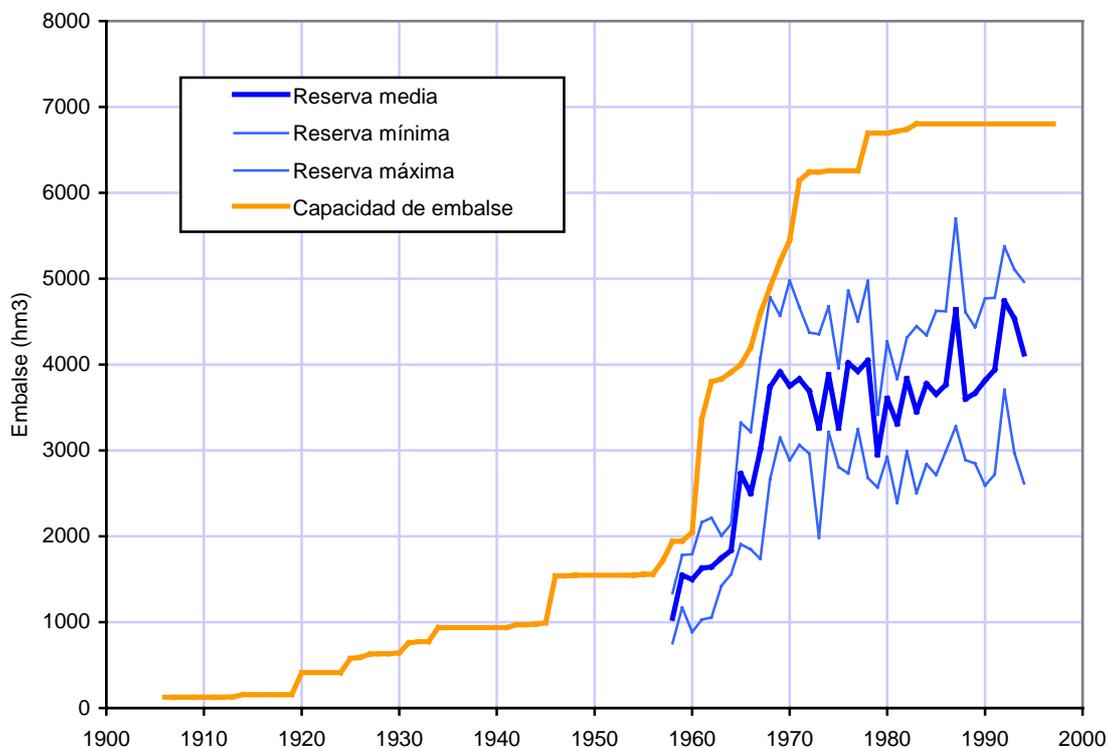


Figura 67. Evolución de la capacidad de embalses y de las reservas en la cuenca del Ebro

En cuanto a las aportaciones del Ebro en régimen natural, de entre las distintas evaluaciones existentes cabe seleccionar las dos estimaciones más recientes: la realizada en el Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro para el periodo 1940/41-1985/86, y la realizada con motivo de la elaboración del Libro Blanco del Agua en España, LBAE (MIMAM, 1998), que se extiende a un periodo temporal mayor (1940/41-1995/96). La serie aquí utilizada se basa en la del Libro Blanco, por disponer de una longitud mayor e incorporar la sequía, aunque no corresponde exactamente a la ofrecida en el LBAE, dado que se ha tratado con un mayor detalle la modelización de las lluvias, lo que proporciona una mejor estimación de las aportaciones.

En la figura adjunta se muestran ambas series, observándose que, pese a haber sido obtenidas por procedimientos muy diferentes, la concordancia es muy buena y las diferencias son reducidas con la única excepción de los años hidrológicos 1940/41 y 1976/77, que alcanzan un valor de casi 5.000 hm³. Esta buena concordancia general nos confirma la calidad y fiabilidad de ambas evaluaciones.

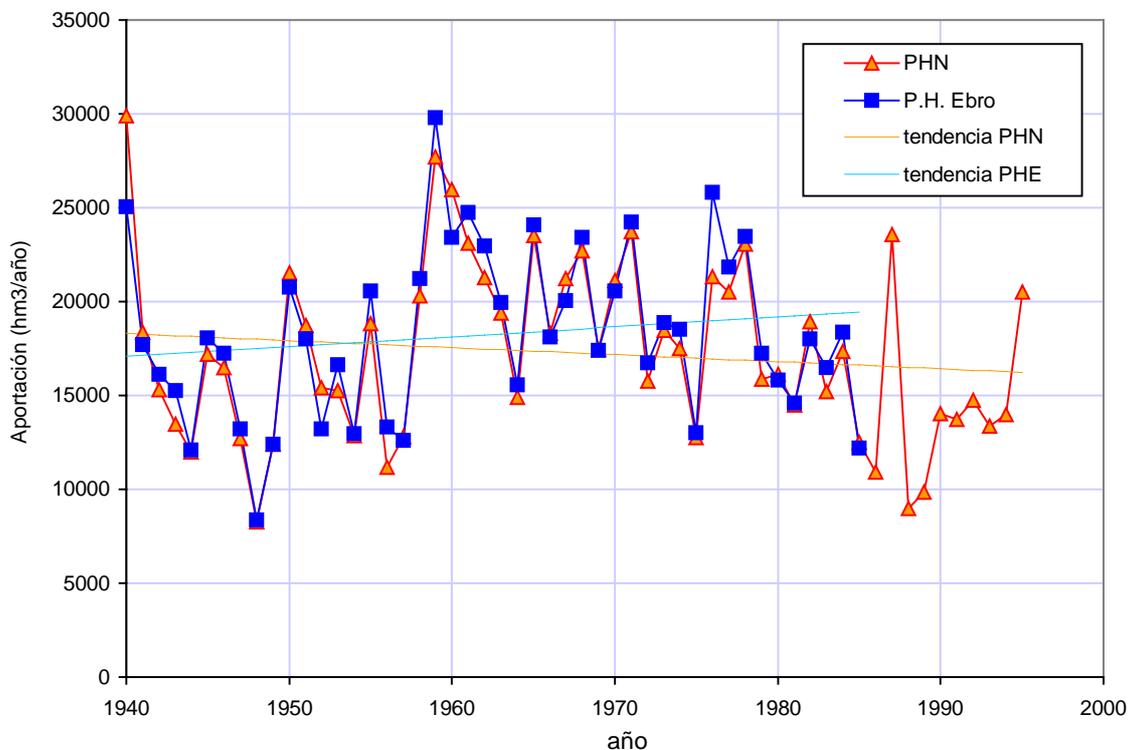


Figura 68. Series de aportaciones en régimen natural (periodo 1940-95) según el PHE y PHN

La aportación media en régimen natural obtenida para el periodo de referencia 1940/41-1995/96 es de 17.265 hm³/año, y varía desde los 8.000 hm³/año en los años más secos hasta los 30.000 hm³/año en los más húmedos. Es curioso comprobar que el valor medio ofrecido está razonablemente bien encajado con estimaciones clásicas como la ofrecida por Lorenzo Pardo en su conferencia de Tortosa de 1920, 18.000 hm³/año, o los 19.500 hm³/año del Plan Nacional de Obras Hidráulicas de 1933.

En relación a posibles tendencias de las series anteriores, puede afirmarse que de su inspección visual no se infieren éstas, a diferencia de lo que sucede con la serie de aportaciones registrada en Tortosa. En términos estadísticos, los ajustes lineales

confirman esta impresión visual, no mostrando tendencias significativas para ninguna de las series ($t\text{-pend}=-0.95$; $F=0.9$ para PHN / $t\text{-pend}=1.0$; $F=1.1$ para PHE), e incluso mostrando la PHE una apariencia –como se ve, solo apariencia- de crecimiento. Este resultado era en cualquier caso lo esperable ya que se trata de series de aportaciones en régimen natural, y desautoriza, en principio, la hipótesis de que los recursos naturales del Ebro están disminuyendo con el paso del tiempo. Ello no parece ser así, al menos en el periodo 1940-1995. Dada su importancia, volveremos sobre este asunto más adelante, revisándolo con mayor profundidad.

Obtenida, en definitiva, la serie de aportaciones en régimen natural, el balance de estas aportaciones con las variaciones en los embalses y las aportaciones medidas en la estación de Tortosa, permite estimar la evolución de los consumos netos agregados que se han producido en la cuenca, tal y como se muestra en la figura adjunta, en la que se representan las estimaciones resultantes para las dos series de régimen natural utilizadas.

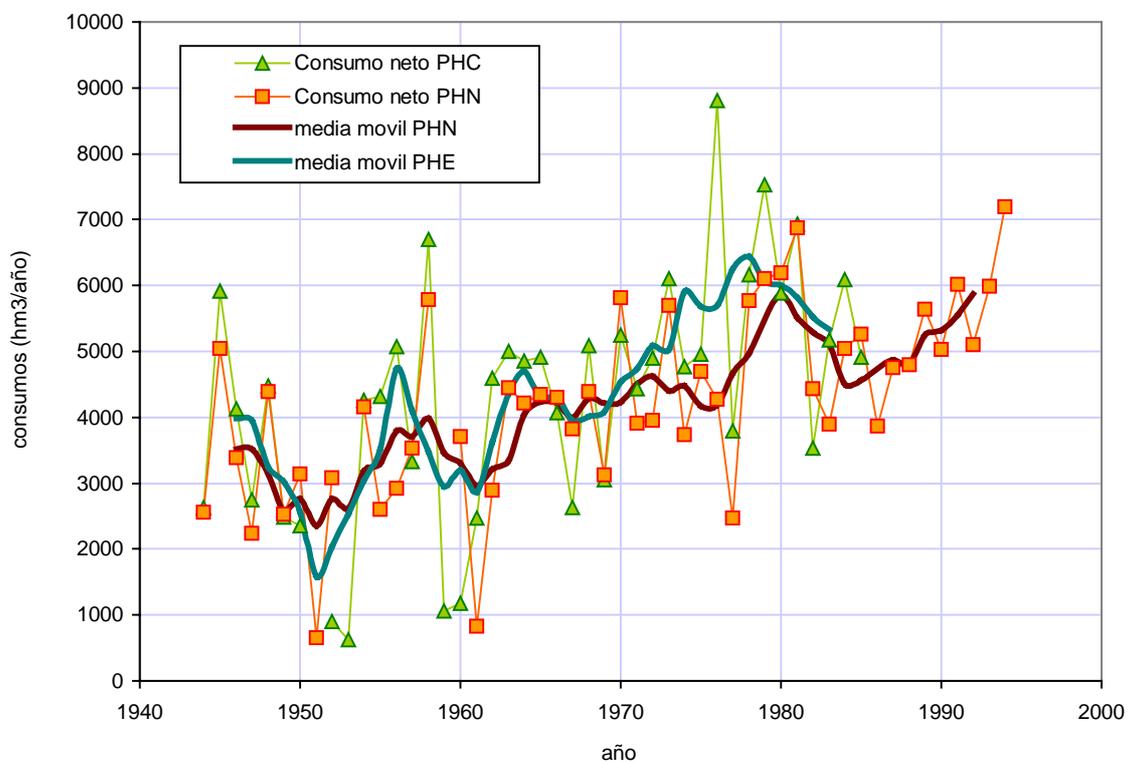


Figura 69. Series de consumos netos según estimaciones PHE y PHN

En la figura anterior se observa que, pese al ruido que envuelve ambas evaluaciones, los consumos netos estimados a partir de las dos series de aportaciones naturales son similares, y que las mayores diferencias se producen en el año hidrológico 1976/77, donde el consumo obtenido utilizando la serie PHE alcanza un valor muy alto, del orden de $9.000 \text{ hm}^3/\text{año}$. Las series de medias móviles centrales de orden 5 (con objeto de no filtrar por completo oscilaciones de ciclo corto), también representadas en la figura, permiten alisar visualmente el ruido y apreciar mejor el comportamiento de los datos, con buen acuerdo y similar dinámica a ciclo corto, salvo la ya comentada anomalía del año 76.

Aunque a la vista de estos resultados cualquiera de ambas estimaciones puede considerarse suficientemente satisfactoria, para continuar el análisis se va emplear la serie de aportaciones naturales obtenida con la metodología utilizada en el Libro Blanco, por la razón básica de que se extiende a un intervalo temporal mayor que la del Plan Hidrológico del Ebro, e incorpora el periodo de la última sequía, muy relevante desde el punto de vista hidrológico.

Estimada, pues, la serie de consumos netos, es conveniente estudiar su evolución temporal. Los triviales ajustes lineales realizados hasta el momento suponen, de partida, una tendencia igual –y lineal- para todo el periodo de estudio. Ello puede admitirse como primera aproximación, pero en presencia de efectos antrópicos que evolucionan en el tiempo a ritmos distintos, mudables con las coyunturas socioeconómicas, ni el supuesto de constancia ni el de linealidad deben admitirse de forma acrítica, y más bien han de suponerse, con gran probabilidad, vulnerados.

Para percibir mejor la tendencia de fondo subyacente en esta serie, e identificar los posibles distintos periodos temporales que caracterizan su comportamiento, se han representado en la figura adjunta su media móvil centrada de orden 9, que filtra efectos de ciclo corto, y –con mayor sofisticación- la línea ajustada mediante la técnica de alisado LOWESS, con ancho de banda del 50%, aplicada al todo el conjunto de datos de consumos netos de ambas series disponibles. Los resultados obtenidos son los mostrados en el gráfico.

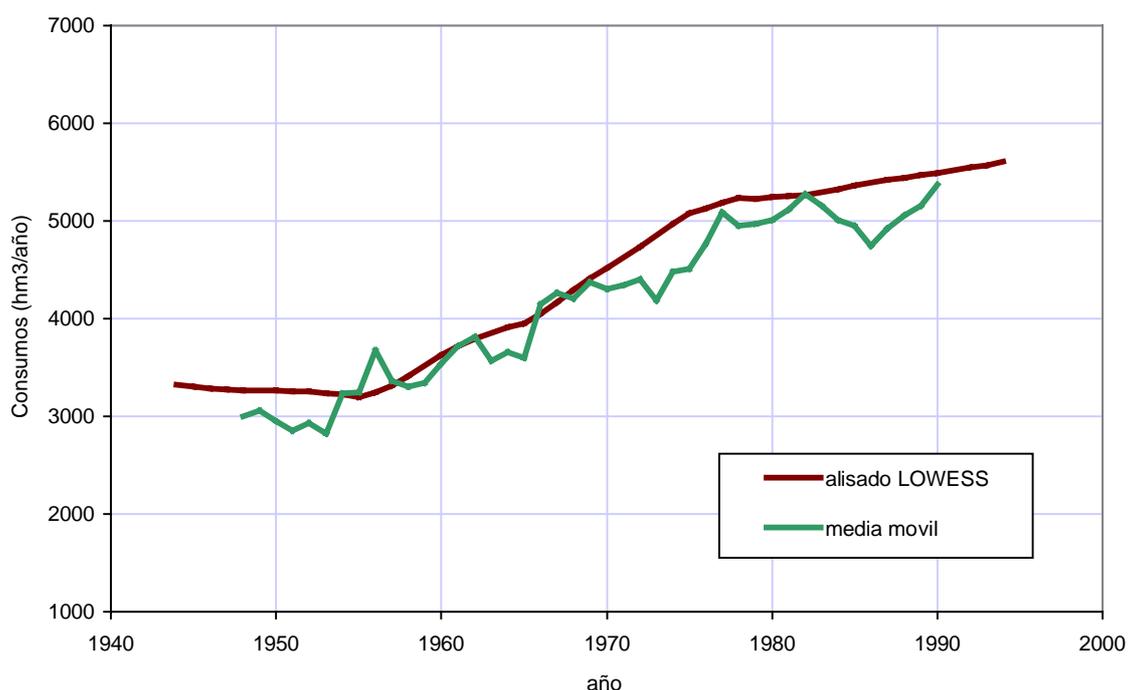


Figura 70. Series de tendencias de los consumos netos

La inspección de estas series permite conjeturar que la evolución temporal de los consumos netos de la cuenca del Ebro, obtenida con el procedimiento antes mencionado es, sustancialmente, la siguiente: entre 1940 y finales de los 50 el consumo permanece estable y por encima de los 3.000 hm³/año; en el periodo de 20 años comprendido entre finales de los 50 y finales de los 70 se produce un incremento de

consumos muy importante y sostenido, alcanzando los 5.000 hm³/año; y desde esas fechas continúa creciendo, a un ritmo mucho menor, hasta la actualidad, en que alcanza valores del orden de 5.500 hm³/año.

Es interesante constatar que esta última cifra obtenida de consumo neto medio anual es coincidente con la de la demanda consuntiva de la cuenca del Ebro reflejada en el Libro Blanco del Agua en España (MIMAM, 1998), 5.400 hm³/año, que fue obtenida a partir de las demandas totales sectoriales asumiendo las cifras convencionalmente admitidas sobre porcentajes de consumos respecto a la demanda (80% para la demanda agrícola, 20% para las demandas urbanas e industrial, y 5% para la demanda energética). El excelente acuerdo de ambas evaluaciones, realizadas por procedimientos absolutamente distintos, nos confirma de nuevo lo encajado y robusto de los análisis realizados.

5.2.4.2. EVOLUCIÓN DE LAS SUPERFICIES REGADAS

Por último, y una vez estimada la evolución temporal de los consumos netos, para concluir esta fase del análisis ha de investigarse si estos consumos netos quedan explicados por la evolución de las variables más significativas que afectan a estos consumos, y que se pueden reducir, en primera instancia, a la evolución de los regadíos, mayores consumidores -con mucha diferencia sobre el resto- del agua de la cuenca.

La figura adjunta muestra distintas estimaciones temporales de las superficies regadas en la cuenca del Ebro, según diversas fuentes.

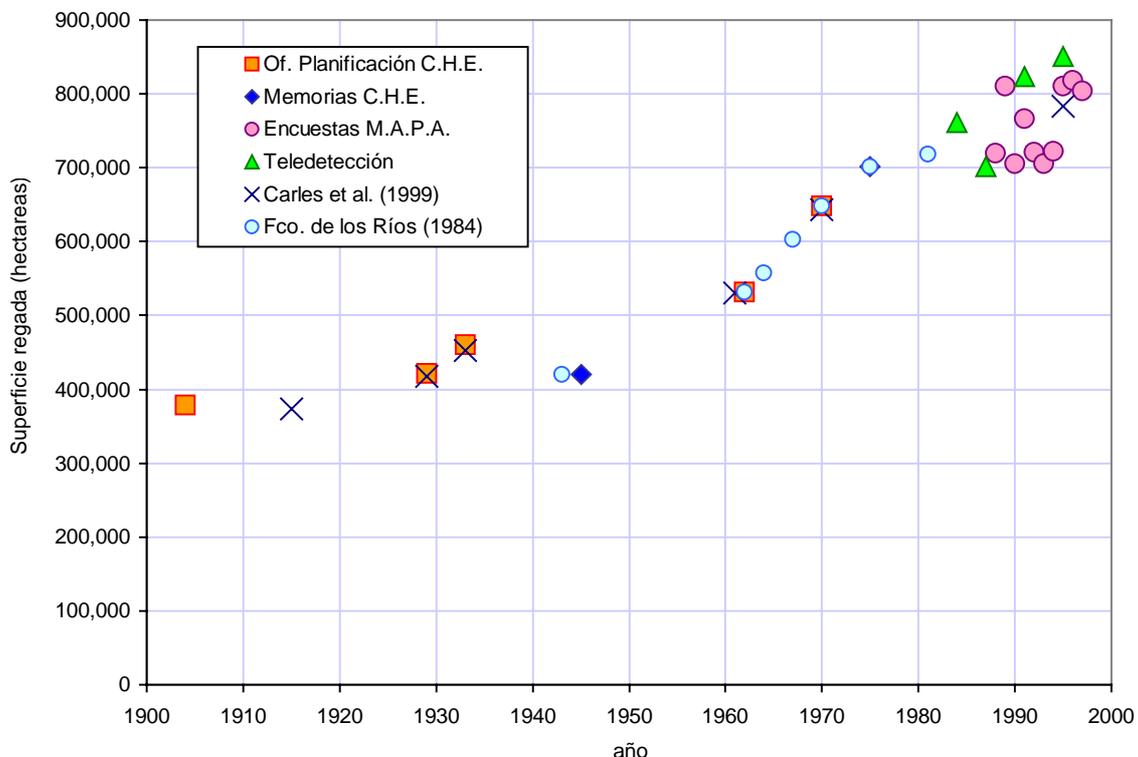


Figura 71. Evolución de la superficie regada en la cuenca del Ebro según distintas fuentes

Como puede verse, y aunque estos datos presentan, sin duda, algunas incertidumbres, parece darse un patrón global similar al de la evolución de capacidad de embalse, que vimos anteriormente. Tras un estancamiento en la primera mitad del siglo, el importante aumento en la capacidad de embalse en la cuenca en los años 60 produjo un incremento también muy importante de la superficie en regadío, pasando de apenas 500.000 ha a principios de los años 60, donde la capacidad de embalse era muy pequeña y se aprovechaba prácticamente la regulación natural del Ebro, a unas 800.000 ha en la década de los 80. Desde esa fecha el ritmo de crecimiento de los regadíos parece haber descendido notablemente.

En efecto, el gran interés por los regadíos en la cuenca se desarrolla tras las grandes sequías de los cuarenta. El hecho de que en 1949 se perdieran las cosechas del valle central del Ebro creó un grave problema de desabastecimiento alimenticio y hambrunas que movilizaron al país. Fruto del esfuerzo emprendido por la Confederación en aquellos años es la puesta en servicio de nueve embalses (Yesa, Oliana, La Tranquera, Mansilla, La Sotonera, Santa Ana, González Lacasa, El Grado, y recrecimiento de Barasona) y la consolidación o transformación de 450.000 has en el periodo 1959-1975 (de los Ríos, 1984).

5.2.4.3. CONTRASTES Y CONCLUSIONES

Obtenida la evolución de superficies de regadío, para ver su relación con la de consumos netos se han superpuesto en una misma figura los datos ofrecidos de evolución de la superficie regada y la estimación de estos consumos, representada, como antes, por su media móvil centrada de 9 años (con objeto de filtrar más las oscilaciones de ciclo corto, no relevantes dado el tipo y frecuencia de la información con que se contrasta). Como puede verse, las tendencias de ambas series presentan una perfecta coincidencia, lo que permite, en definitiva, confirmar la fiabilidad de la estimación de los consumos realizada, y, consecuentemente, de las series de aportaciones naturales y registradas en el periodo comprendido entre los años hidrológicos 1940/41 y 1995/96.

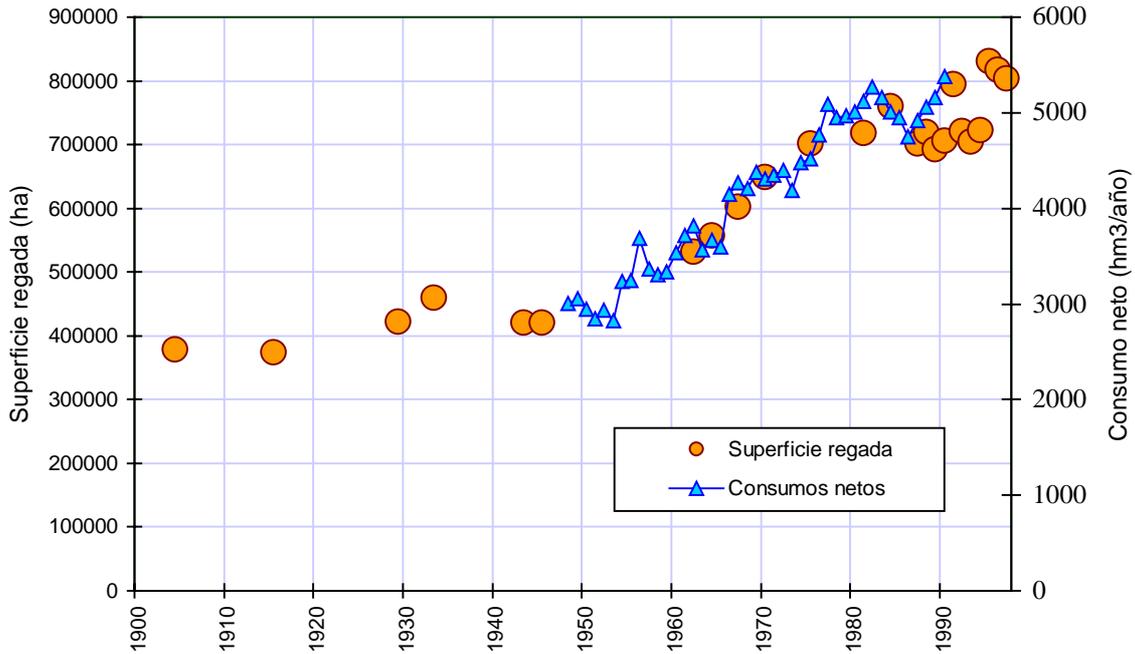


Figura 72. Evolución de los consumos de agua y de la superficie regada en la cuenca del Ebro

Las consecuencias de este resultado son muy importantes: toda la información manejada de la cuenca del Ebro sobre aportaciones naturales, aportaciones registradas, superficies en regadío, demandas consuntivas, y consumos netos, es plenamente coherente entre sí, exceptuándose los datos de la primera mitad de siglo de la serie de aportaciones registrada en Tortosa, que han sido descartados tras el análisis realizado. Los sobrantes observados en la desembocadura pueden explicarse *completamente* como una consecuencia directa del incremento de los aprovechamientos de regadío en la cuenca, y cualquier otra posible interpretación (cambios climáticos, fenómenos no conocidos, etc.), carece, en principio, de fundamento.

A diferencia de las precipitaciones o las aportaciones naturales, que permanecen constantes a largo plazo, las superficies de regadío, consumos netos, y sobrantes de la cuenca evolucionan con el tiempo, sometidos a tendencias mudables con las coyunturas socioeconómicas. Sin embargo, aunque la dinámica a corto plazo pueda presentar una alta variabilidad, parecen existir ciertas relaciones estructurales de equilibrio a largo plazo entre estas variables, que permiten explicarlas satisfactoriamente sin necesidad de recurrir a otros efectos exógenos. Estaríamos ante lo que se denomina, en términos estadísticos, una situación de *cointegración* de series temporales, en la que la ecuación de cointegración expresaría básicamente las relaciones estacionarias del balance hidrológico a largo plazo. No es este el lugar para desarrollar tan interesantes cuestiones, que nos limitamos simplemente a sugerir.

En definitiva, y reiterando la conclusión básica, la merma de los sobrantes del Ebro observada en las últimas décadas es un hecho cierto, no hipotético, y puede ser completamente explicado simplemente por el desarrollo de los regadíos en la cuenca. No se requiere, en principio, recurrir a ninguna otra causa para explicar el fenómeno, pues las aportaciones naturales en la cuenca no parecen mostrar tendencias decrecientes en el periodo desde 1940 hasta hoy.

Este resultado implica que a partir de las series de aportaciones naturales pueden estimarse los sobrantes para distintas situaciones de demandas e infraestructuras hidráulicas en la cuenca, siendo estos sobrantes futuros, y no los actuales, son los que habría que analizar desde el punto de vista de la existencia de caudales y la viabilidad de posibles transferencias.

Este es el análisis que se abordará, en detalle, posteriormente, siendo la situación futura que se debe considerar aquella definida como el largo plazo en la planificación hidrológica de la cuenca del Ebro.

Como última cuestión, en esta fase del análisis, cabe retomar la hipótesis de la falta de tendencias en las aportaciones de la cuenca, y examinarla con mayor detalle. De verificarse esta hipótesis, se vería de nuevo reafirmada, por otra vía distinta, la conclusión básica anteriormente expuesta. A ello se dedica el siguiente epígrafe.

5.2.5. LA HIPÓTESIS DE DISMINUCIÓN DE LAS LLUVIAS

Como ya se ha dicho, los resultados obtenidos hasta ahora permiten en principio sostener que, en contra de lo que a veces se ha mantenido por distintos autores, no existe evidencia científica de que las lluvias y los caudales naturales de la cuenca del Ebro estén experimentando un descenso a lo largo del tiempo, que esté, a su vez, forzando una merma de los sobrantes en la desembocadura. Esta falta de evidencia se ha basado en las regresiones lineales de estas variables con el tiempo, que sirven como primera aproximación, pero están muy condicionadas por la muestra que se adopte, y no son plenamente satisfactorias en términos estadísticos (p.e. asumen errores incorrelados, normales e independientes, lo que no será usualmente el caso).

En este epígrafe se avanzará en la verificación del supuesto, procediendo para ello a relajar el tamaño de la muestra empleada realizando análisis diacrónicos, a aplicar técnicas estadísticas más robustas y sofisticadas, y a emplear las dos series básicas (lluvias y aportaciones anuales en régimen natural de la cuenca del Ebro), correspondientes al periodo de 56 años 1940/41-1995/96. Tras este estudio con el periodo estándar se extenderá el análisis a las series largas disponibles.

Un análisis de esta naturaleza puede parecer extemporáneo en el marco del Plan Hidrológico Nacional, pero la importancia de la cuestión y la necesidad de investigar el problema para desvanecer las dudas existentes aconseja abordarlo en este contexto.

La literatura hidrológica existente al respecto es muy vasta, y abundantes las técnicas matemáticas disponibles, limitándonos aquí a un primer análisis con procedimientos estándares clásicos.

5.2.5.1. SERIES ESTANDAR

La serie de aportaciones en régimen natural es la empleada anteriormente, y la serie de lluvias se ha obtenido por interpolación areal, por lo que puede considerarse una estimación de alta calidad y representatividad. Ambas se representan en el gráfico adjunto.

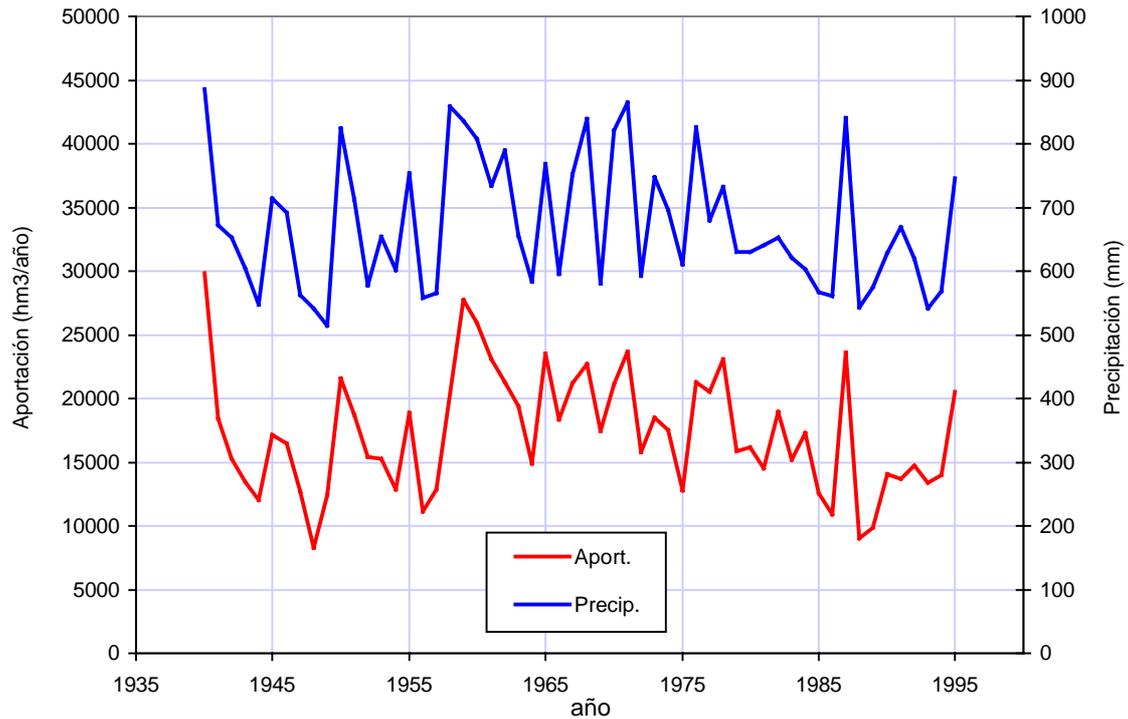


Figura 73. Series de aportaciones en régimen natural y precipitaciones medias areales en la cuenca del Ebro (periodo 1940/41-1995/96)

Comenzando por relajar el tamaño de la muestra, la figura adjunta muestra, para ambas series, tanto la evolución del cociente $a/s[a]$, siendo a la pendiente del ajuste de regresión lineal de las series con el tiempo, (es decir, el clásico test t de significación de un parámetro de la regresión), como la evolución del estadístico F. En ambos casos se representan también sus intervalos de confianza del 95%.

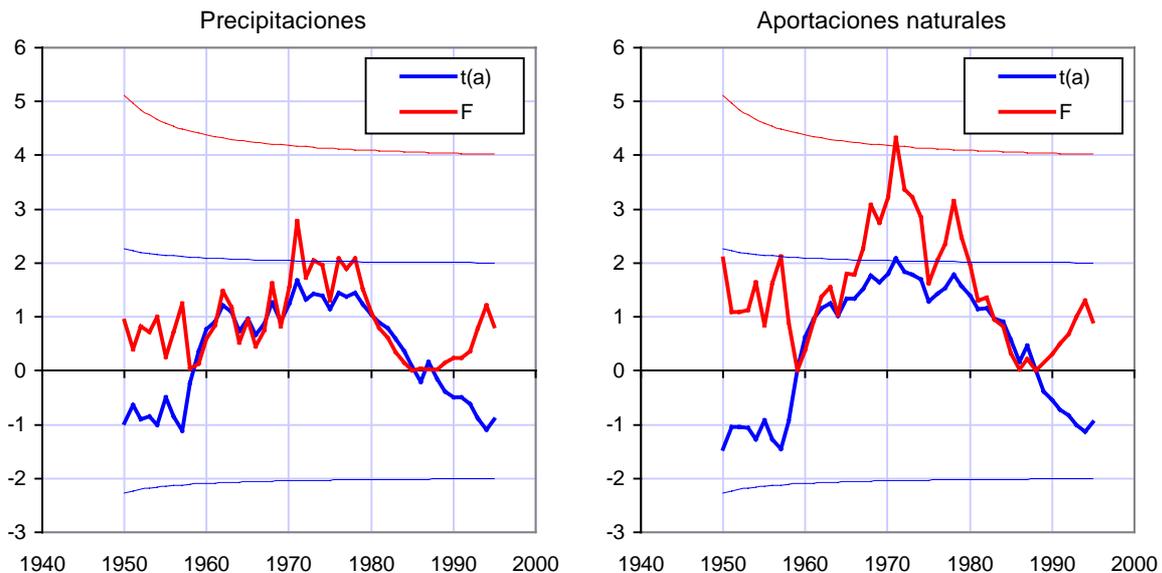


Figura 74. Evolución temporal de los estadísticos de significación de la regresión temporal

Como se observa, la hipótesis de que ni las precipitaciones ni las aportaciones presentan tendencia significativa alguna no puede ser rechazada, encontrándose sus valores actuales nítidamente dentro de los intervalos de confianza para el nivel de significación del 5%. Además, ello es así para cualquier momento anterior en que se hubiese ensayado la hipótesis, pues solo en 1971 llegan a tocarse los intervalos de significación de las aportaciones, lo que hubiese revelado, además, una tendencia *creciente*.

Las precipitaciones muestran el efecto de no tendencia con mayor nitidez aún que las aportaciones, lo que contradice la opinión expuesta por algunos, y ya comentada, de que tienden a disminuir con el paso del tiempo.

Tras este primer test, ensayaremos ahora otros dos: el de diferencia en las medias de dos segmentos de la serie (lo que revelaría que, en algún momento, se ha producido un salto), y el clásico test de tendencias no paramétrico de Mann-Kendall. Los resultados obtenidos, de nuevo en forma evolutiva, son los mostrados en la figura adjunta.

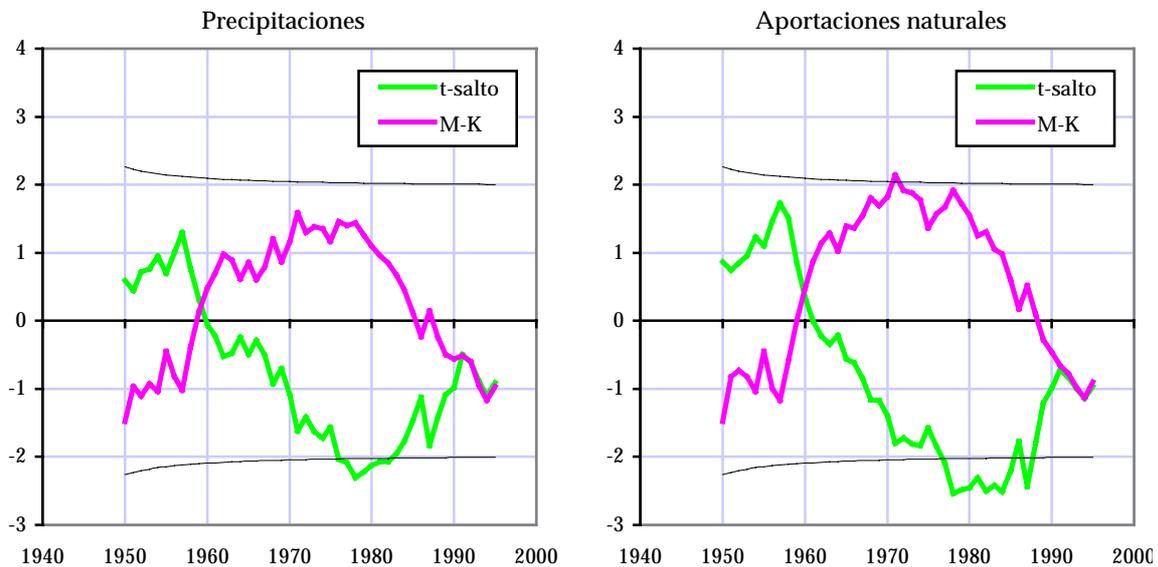


Figura 75. Test de salto t y de tendencias de Mann-Kendall

Como se observa, y confirmando los resultados anteriores, la hipótesis de que ni las precipitaciones ni las aportaciones presentan tendencias no puede rechazarse según el test de Mann-Kendall. En cuanto a saltos, únicamente se aprecia un cierto efecto en torno a 1980, muy poco significativo, y que desaparece en años posteriores. Indagar este efecto requeriría de otros contrastes que no procede abordar ahora, y podría apuntar, en todo caso, hacia posibles transiciones caóticas entre estados globales de la dinámica atmosférica, y no hacia tendencias decrecientes de la lluvia.

Si se consideran ambas series como componentes estacionales descriptoras del estado hidrológico, la aplicación secuencial del test estacional de Kendall o test de Hirsch-Mann-Kendall, que puede considerarse en la práctica el estado del arte de estos procedimientos de análisis de tendencias en registros hidrológicos, muestra los resultados de la figura adjunta, en la que, análogamente, se ha representado la

evolución del estadístico de Hirsch-Mann-Kendall para la serie mensual de lluvias medias areales sobre la cuenca del Ebro.

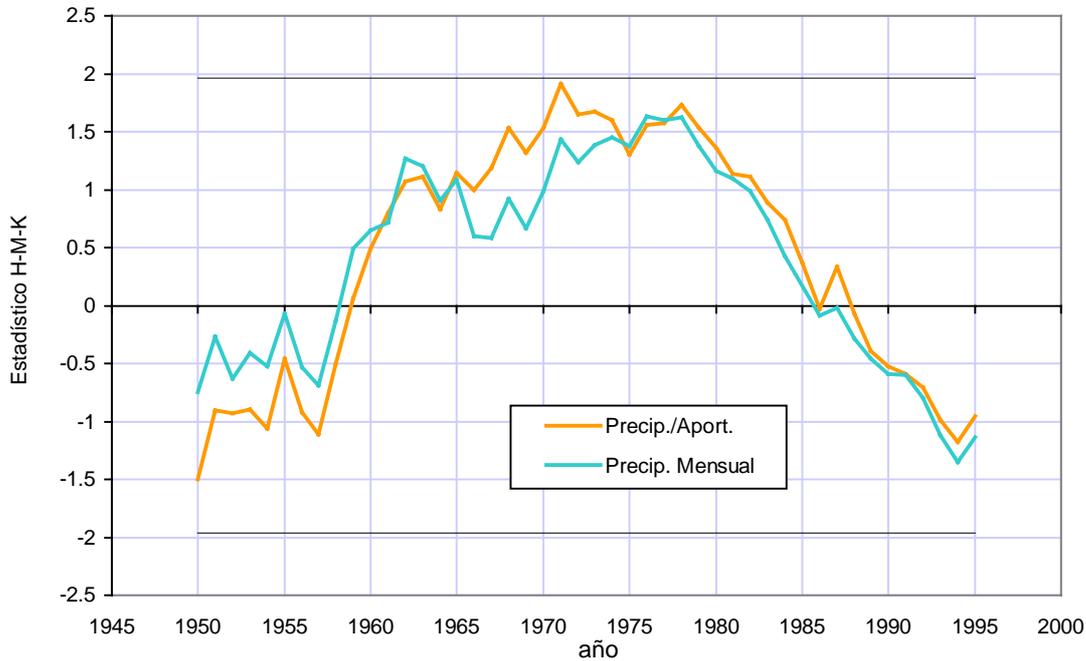


Figura 76. Test de tendencias de Hirsch-Mann-Kendall alluvias y aportaciones anuales y lluvias mensuales

Como puede observarse, en ninguno de los dos casos cabe admitir una tendencia significativa, ni siquiera a la escala estacional de algún mes específico de la serie de lluvias. Los mayores valores del estadístico se dan en la década de los 70, pero no alcanzan el nivel de significación del 5%.

Por último, se concluirá este análisis con test econométricos específicos para comprobación de la estacionariedad de series temporales. El método formal para investigar la estacionariedad de una serie es el test de raíz unitaria, del que emplearemos las conocidas formulaciones de Dickey-Fuller y de Phillips-Perron. La tabla adjunta resume los resultados obtenidos.

	ADF(0)	ADF(1)	PP
Precipitaciones anuales	-7.02	-5.18	-7.03
Aportaciones anuales	-5.53	-4.07	-5.60
Valor crítico (5%)	-2.91	-2.91	-2.91
Valor crítico (1%)	-3.55	-3.55	-3.55

Tabla 23. Resultados de los test de estacionariedad de aportaciones y precipitaciones

Puede verse que para las dos series, y en todas las modalidades empleadas (Dickey-Fuller aumentado con 0 y 1 rezagos, y Phillips-Perron con rezago de truncamiento 3), los valores críticos para significaciones tanto del 1 como del 5% son mayores que los estadísticos obtenidos, lo que significa que la hipótesis nula de raíz unidad debe ser rechazada, y ambas series pueden considerarse estacionarias.

5.2.5.2. SERIES LARGAS

Ahondando en este supuesto, y como investigación complementaria, estudiaremos el comportamiento de las lluvias en un periodo largo, más extenso que el del análisis anterior. Para ello, se dispone de cuatro estaciones en la cuenca del Ebro con registro pluviométrico mayor de un siglo (datos completos y comunes desde 1881), que son las de Pamplona, Huesca, Tortosa y Zaragoza (INM, 1996). La figura adjunta muestra, en años naturales, las cuatro series anuales en el periodo común 1881-1994, y la combinación lineal de ellas –obtenida por regresión lineal– que mejor explica la lluvia media areal en la cuenca del Ebro en el periodo disponible 1940-1994, antes mostrada en años hidrológicos, y ahora en naturales.

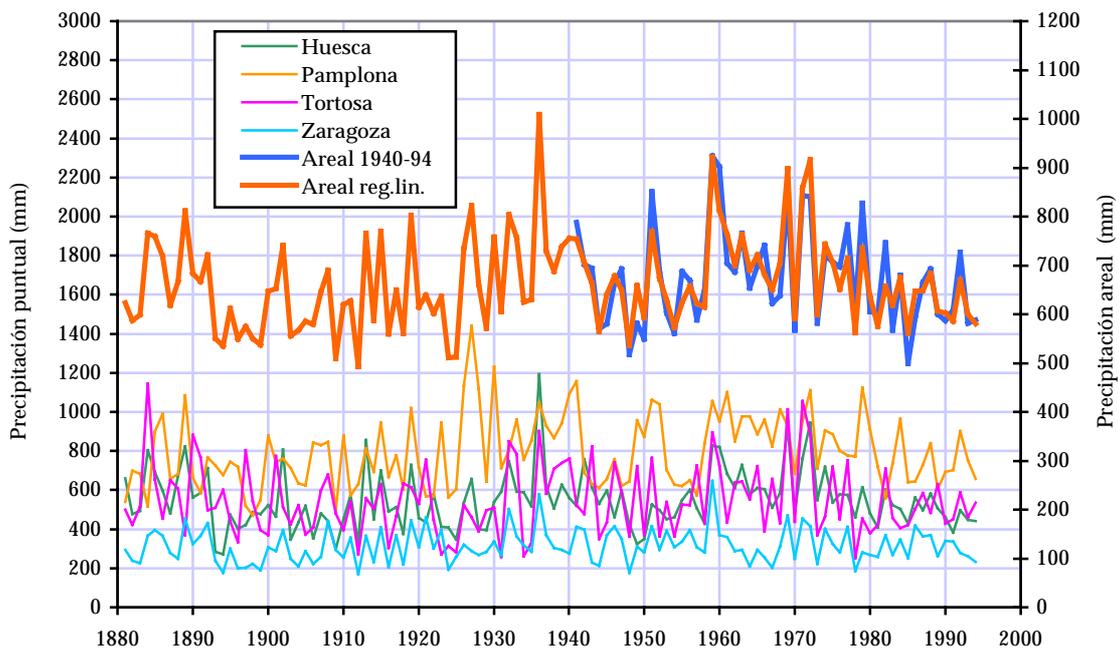


Figura 77. Series largas de precipitaciones en la cuenca del Ebro

Como puede verse, existe buena concordancia entre la lluvia areal media estimada en detalle para la cuenca del Ebro –a partir de numerosas estaciones–, y la obtenida a partir de las 4 series mostradas, y ello pese a las diferencias de estas series entre sí. La variabilidad temporal y areal queda razonablemente bien explicada (78% de la varianza) a partir únicamente de estas 4 estaciones, lo que permite extender, en principio, los resultados de tendencias de estas series al conjunto de la cuenca del Ebro (algunos autores han sugerido que basta con la estación de Zaragoza para tener un registro suficientemente representativo de toda la cuenca). Si se realiza a las 5 series el análisis diacrónico de tendencias mediante los test básicos antes empleados, se obtienen los resultados mostrados en la figura.

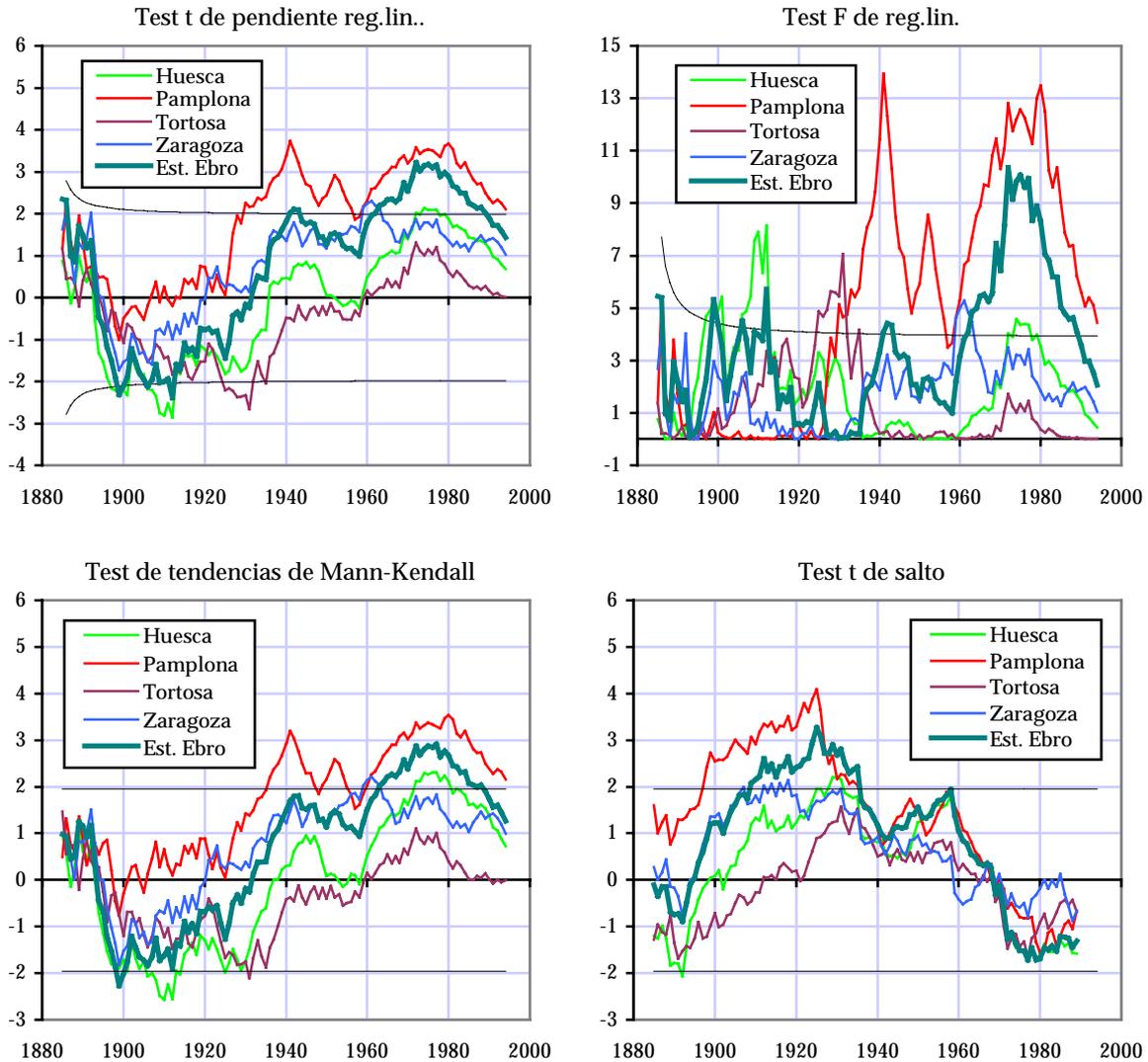


Figura 78. Evolución temporal de estadísticos de tendencias para las series largas de lluvias anuales

Como puede verse, la serie de Pamplona es la única que parece haber presentado tendencias según los test de significación de la regresión lineal y Mann-Kendall. El periodo álgido es el de la década de los 70 –como sucedía con las series 1940-95 de precipitaciones y aportaciones del Ebro–, en que se hubiese afirmado la existencia de tal tendencia significativa, aunque, en los últimos años, los estadísticos se aproximan al nivel de significación del 5%, y no puede sostenerse tan nítidamente. Ninguna de las otras tres series muestra tendencias, y la media estimada para la cuenca tampoco la muestra al no superarse actualmente el nivel de significación en ninguno de los test empleados. En cuanto a saltos, el ya comentado *efecto 80* parece haber tenido un precedente –de signo contrario– en los años 20. En definitiva, estos test simples no muestran tendencias significativas en las lluvias del Ebro, al menos en los últimos 114 años.

Si se aplica a las 5 series el más sofisticado test de Hirsch-Mann-Kendall, los resultados son los mostrados en el gráfico siguiente, en el que, como en el caso anterior, se ha

representado la evolución temporal del estadístico de Hirsch-Mann-Kendall para el conjunto de las cinco series.

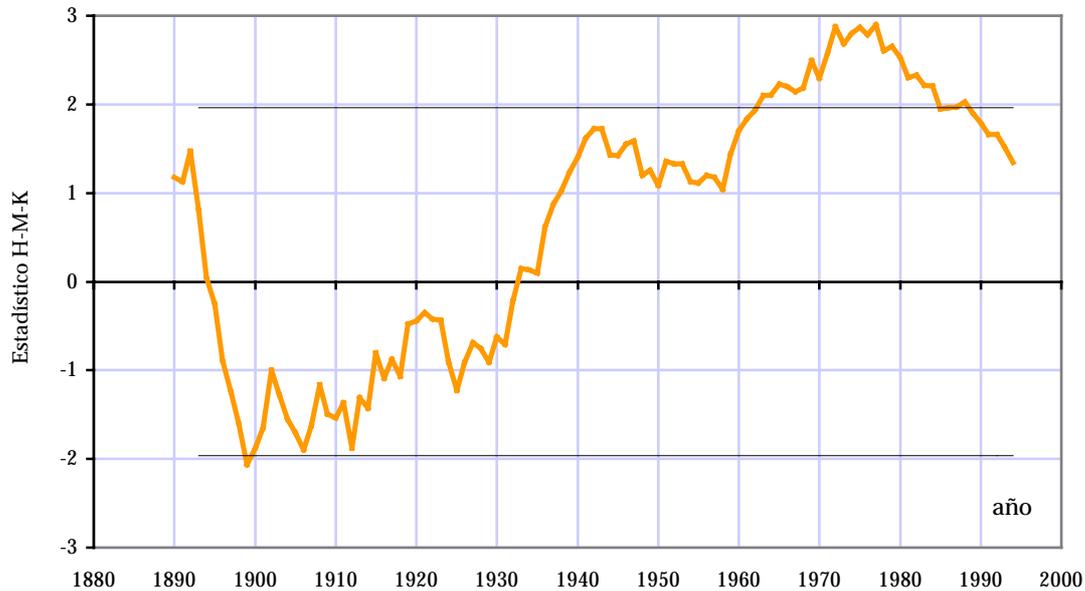


Figura 79. Test de tendencias de Hirsch-Mann-Kendall a las series largas de lluvias anuales

Como puede observarse, tras el periodo de los 70, en que se manifiesta el ya comentado efecto de Pamplona, no puede sostenerse actualmente la hipótesis de tendencia significativa de las lluvias en ninguna de las 4 estaciones consideradas, ni en la representativa media de la cuenca.

Por último, los test de raíz unitaria, de estacionariedad de series temporales, arrojan los resultados mostrados en la tabla.

	ADF(0)	ADF(1)	PP
Huesca	-8.98	-5.87	-9.28
Pamplona	-7.90	-6.43	-7.97
Tortosa	-11.27	-7.97	-11.25
Zaragoza	-10.91	-6.91	-10.92
Est. Ebro	-8.95	-5.94	-9.19
Valor crítico (5%)	-2.89	-2.89	-2.89
Valor crítico (1%)	-3.49	-3.49	-3.49

Tabla 24. Resultados de los test de estacionariedad de las series largas de lluvia

Puede verse que para las cinco series, y en todas las modalidades empleadas (Dickey-Fuller aumentado con 0 y 1 rezagos, y Phillips-Perron con rezago de truncamiento 4), los valores críticos para significaciones tanto del 1 como del 5% son mayores que los estadísticos obtenidos en todos los casos, lo que significa que la hipótesis nula de raíz unidad debe ser rechazada, y todas las series pueden considerarse estacionarias.

5.2.5.3. CONCLUSIÓN

En definitiva, la conclusión de cuanto se ha expuesto es nítida: todas las pruebas realizadas conducen a rechazar la hipótesis de existencia de tendencias en las lluvias y las aportaciones naturales de la cuenca del Ebro. Si en la realidad tales tendencias se estuviesen produciendo, no serían distinguibles de la variabilidad natural de los fenómenos hidrológicos estudiados. Sostener que tales tendencias existen es una *creencia* subjetiva, no contrastable, y carente de fundamento estadístico.

Ello conduce, en síntesis, a reafirmar de forma concluyente que la disminución observada en los caudales del río se explica completamente por el incremento de sus aprovechamientos, y los sobrantes futuros pueden evaluarse a partir de las aportaciones naturales considerando las distintas situaciones de demandas e infraestructuras hidráulicas en la cuenca.

Esta siguiente fase de análisis del sistema hidráulico futuro es la que se aborda en las próximas secciones.

5.3. EL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN DE LA CUENCA DEL EBRO

5.3.1. INTRODUCCIÓN

Tomando como referencia los modelos y los datos utilizados en el Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro para la realización de sus análisis y balances hídricos, se ha construido un único sistema de explotación simplificado y agregado que permite el tratamiento de esta cuenca con la resolución adecuada para su análisis en la planificación hidrológica nacional, y su armonización técnica con el resto de los sistemas estudiados. Junto a ello también se ha procedido a la actualización de series hidrológicas, tal y como se verá posteriormente.

En síntesis, los elementos y magnitudes fundamentales del sistema de explotación definido para el ámbito territorial del Plan Hidrológico del Ebro son los que se describen seguidamente.

5.3.2. ELEMENTOS DEL SISTEMA

5.3.2.1. APORTACIONES

Los criterios para el establecimiento y ubicación de las aportaciones hídricas consideradas son los mismos que se adoptaron en el Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro, con menor resolución espacial, dado el diferente grado de detalle, pero extendiéndose ahora las nuevas series mensuales hasta el año hidrológico 1995/96 mediante el modelo de evaluación de recursos desarrollado para el Libro Blanco del Agua en España.

En la figura siguiente se pueden observar los puntos de incorporación al sistema de las series mensuales de aportaciones consideradas.

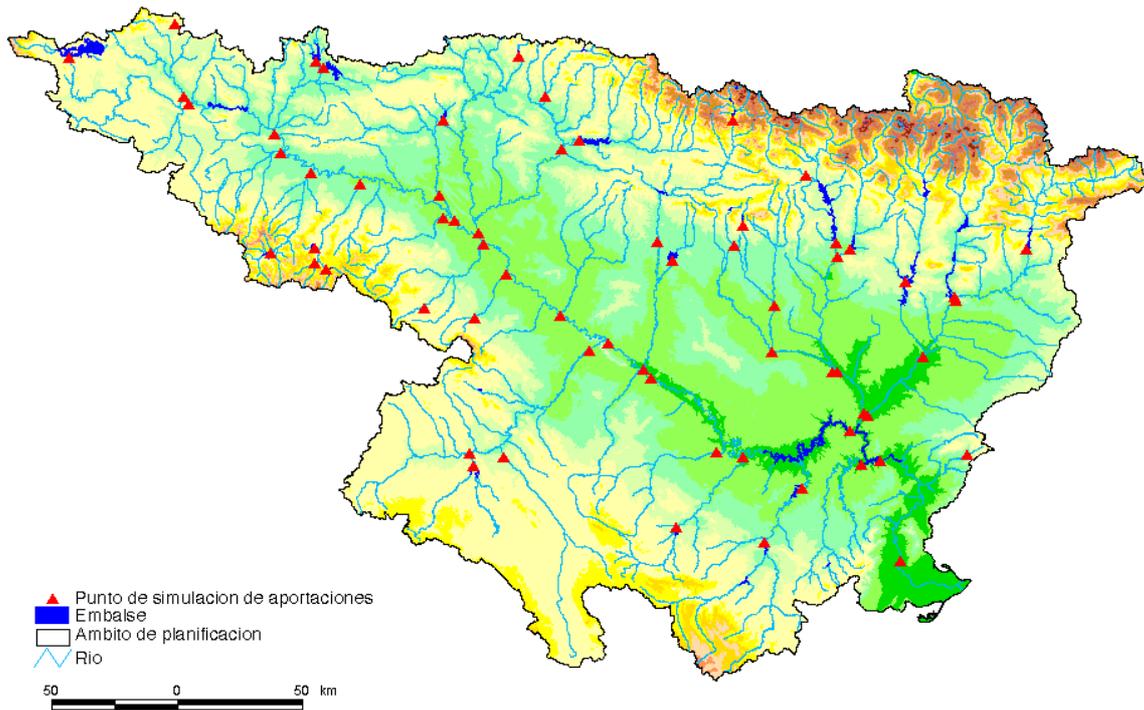


Figura 80. Puntos básicos de evaluación de recursos

En la siguiente tabla se resumen las cifras medias de las aportaciones anuales incrementales en los diferentes emplazamientos.

Aportación	Aport. anual (hm ³)
Aguas Vivas	27
Alcanadre en confl. Flumen	193
Alhama en emb. Cigudosa	47
Alhama medio	114
Ara en Jánovas	483
Aragón en emb. Yesa	1394
Aragón en confl. Irati	569
Aragón en confl. Arga	1349
Arba en cabecera	115
Arga en emb. Eugui	73
Cidacos	74
Cinca en emb. Grado y Mediano	944
Cinca en confl. Alcanadre	117
Ciurana en emb. Ciurana	3
Ebro en emb. Ebro	256
Ebro en confl. Nela	1091
Ebro en confl. Zadorra	768
Ebro en confl. Gállego	338
Ebro en emb. Mequinzenza	62
Ebro en Cherta	228
Ega en cabecera	593
Ésera en emb. Joaquín Costa	820
Flumen en emb. Montearagón	30
Gállego en emb. Bubal y Lanuza	447
Gállego en Biscarrués	586
Guadalope en emb. Calanda y Santolea	206
Guadalope en emb. Caspe II	40

Aportación	Aport. anual (hm ³)
Guatizalema en emb. Vadiello	17
Iratí en emb. Itoiz	495
Iregua en emb. Pajares y González Lacasa	7
Iregua medio	134
Jalón alto	122
Jalón bajo	129
Jiloca en cabecera	103
Martín en emb. Cueva Foradada	65
Matarraña en Torre del Comte	89
Najerilla en emb. Mansilla	110
Najerilla medio	163
Noguera Pallaresa en emb. Camarasa, Talarn y Terradets	1692
Noguera-Ribagorzana en emb. Canelles y Escales	644
Piedra en emb. La Tranquera	115
Queiles-Val en emb. Val	29
Salado en emb. Alloz	94
Segre en emb. Rialp y Oliana	1386
Segre en confl. Noguera-Ribagorzana	259
Tirón	188
Trueba en cabecera	13
Zadorra en emb. Ullivarri y Urrúnaga	214
Total	17036

Tabla 25. Aportaciones hídricas consideradas en el sistema

5.3.2.2. DEMANDAS

Bajo los supuestos básicos de este Plan Hidrológico Nacional la determinación de los posibles recursos sobrantes en cuencas de carácter globalmente excedentario se realiza sobre la base de considerar alcanzadas las estimaciones de demanda realizadas en su correspondiente Plan Hidrológico para el segundo horizonte de planificación. Se trata de una premisa marcadamente conservadora y protectora de los intereses de la posible cuenca cedente, por cuanto dichas estimaciones de futuro, en el caso del regadío, que constituye la demanda más cuantiosa, no responden a una previsible evolución de la demanda, sino que tienen el carácter de un catálogo de actuaciones potenciales, tal como señala el Consejo Nacional del Agua en su *Informe sobre las propuestas de los Planes Hidrológicos de cuenca*, de abril de 1998. Ello quiere decir que los sobrantes así determinados lo serían aún en el poco probable caso de que se desarrollaran todas las posibilidades identificadas en el Plan Hidrológico de la cuenca cedente, por lo que ésta no vería mermado, en ningún caso, su potencial de desarrollo.

En el caso concreto de la cuenca del Ebro, las actuaciones de regadío identificadas en su Plan supondrían un desarrollo que, partiendo de una superficie actual de 783.948 ha, llegaría a alcanzar 985.999 ha en el primer horizonte (diez años) y 1.271.306 ha en el segundo horizonte (veinte años), es decir, un ritmo medio de transformación en el periodo completo de algo más de 24.000 ha/año. Como puede verse en la siguiente figura, tales tasas de transformación en regadío no han sido alcanzadas en la cuenca en ningún momento de su historia, lo que confirma el carácter de envolvente maximalista y potencial de las estimaciones de crecimiento del Plan.

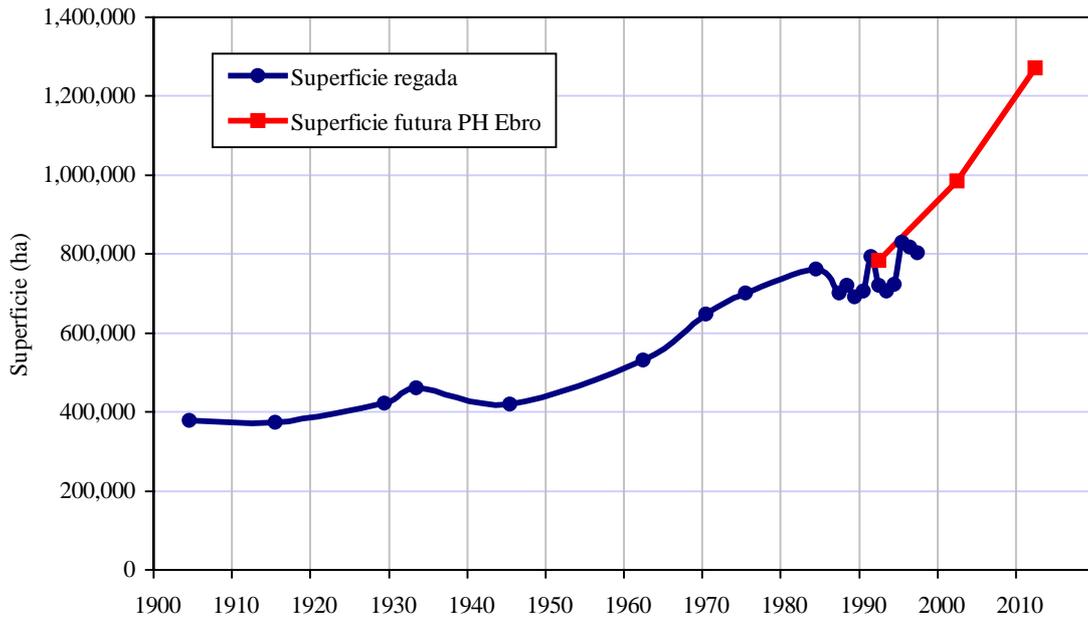


Figura 81. Evolución histórica y prevista de la superficie de riego en la cuenca del Ebro

Con el planteamiento realizado en este Plan Nacional, por tanto, solo se consideran sobrantes las aguas no utilizadas en el segundo horizonte del Plan, lo que, por una parte, garantiza que su transferencia a otra cuenca no afectaría a su potencial de desarrollo y, por otra, representa un importante margen de seguridad, por cuanto la utilización real de agua en el segundo horizonte del Plan será considerablemente menor, al tratarse de una hipótesis de crecimiento claramente maximalista. Ambas consideraciones permiten asegurar que este modo de determinar los sobrantes trasvasables garantiza y protege, en todo caso, los intereses actuales y futuros de la posible cuenca cedente en relación con sus recursos hídricos.

Con estas premisas, el esquema del sistema de explotación de la cuenca se ha planteado identificando las diferentes demandas, tanto actuales como futuras, consideradas en el Plan de cuenca y agrupándolas en unidades de demanda significativas a la escala de la planificación nacional. La figura adjunta muestra la distribución territorial de los actuales regadíos y poblaciones, y permite apreciar la gran extensión y diversidad de las manchas de riego.

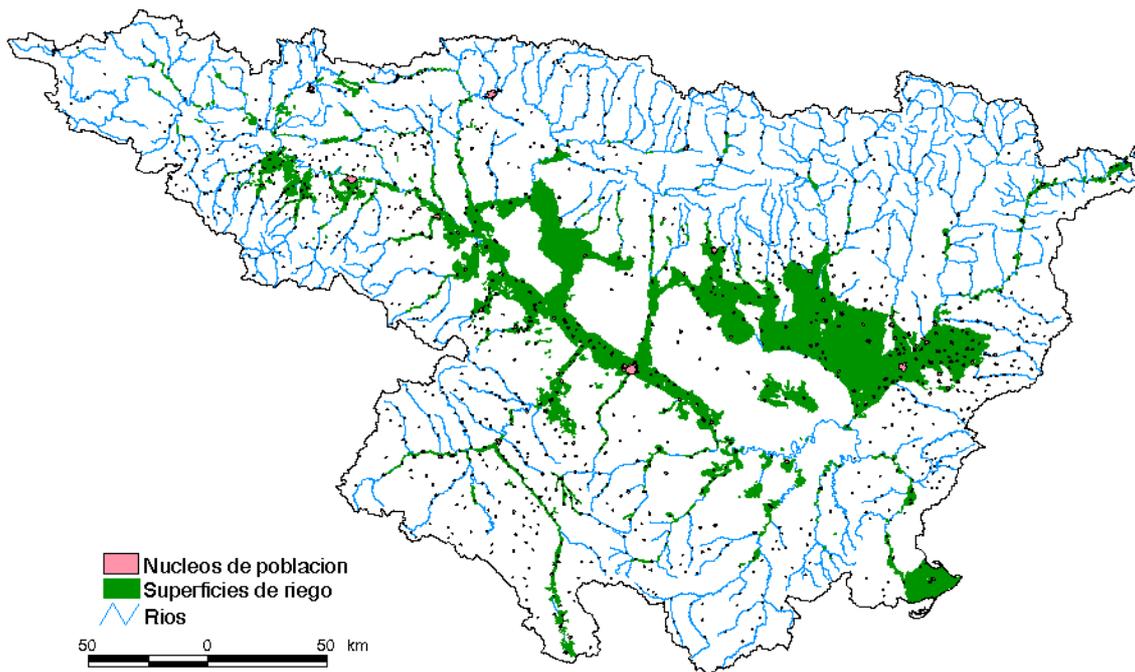


Figura 82. Mapa de situación de poblaciones y regadíos

En el caso del uso de abastecimiento de población se han identificado las unidades que precisan un tratamiento diferenciado por la cuantía de sus demandas (Zaragoza, Vitoria, Pamplona, Delta del Ebro, Logroño, Lleida, etc.) y se han agregado en varias unidades el resto de las demandas actuales de menor volumen y los incrementos de demanda previstos hasta el segundo horizonte. Siguiendo el mismo criterio que en el Plan de cuenca, se han agregado las demandas de uso industrial a las demandas de abastecimiento de población dando lugar a una demanda combinada de abastecimiento de población e industria. Con estos criterios, las demandas finalmente consideradas en el modelo son las indicadas en la siguiente tabla.

Unidad de demanda	Descripción	Demanda
C.P.Urgel	Abast. e industria desde Canal Principal de Urgel	14
CAC	Abast. e industria desde Canal Aragón y Cataluña	21
Delta y otros	Abast. e industrias Delta	39
Huesca	Abast. e industria Huesca	8
Lleida	Abast. e industria Lérida	27
Logroño	Abast. e industria Logroño	35
Pamplona	Abast. e industria Pamplona	49
RAA	Abast. e industria Riegos Alto Aragón	15
Vitoria	Abast. e industria Vitoria	78
Zaragoza	Abast. e industria Zaragoza	181
Resto Aragón+fut	Abast. e industria resto Aragón+demanda futura	129
Resto Ebro alto+fut	Abast. e industria resto Ebro alto+demanda futura	89
Resto Ebro medio+fut	Abast. e industria resto Ebro medio+demanda futura	94
Resto Eje Ebro+fut	Abast. e industria resto Eje Ebro+demanda futura	48
Resto Gállego+fut	Abast. e industria resto Gallego+demanda futura	16
Resto Segre-Cinca+fut	Abast. e industria resto Segre-Cinca+demanda futura	52
Total		895

Tabla 26. Unidades de demanda urbana e industrial

De esta demanda prevista para el segundo horizonte, aproximadamente un 40% corresponde a abastecimiento de población y un 60% a uso industrial.

En cuanto al uso agrario, las zonas de riego identificadas en el Plan de cuenca se han agrupado en unidades agregadas a efectos de su consideración en el modelo integrado único. En la siguiente tabla se presenta la relación de unidades de demanda agraria consideradas, con las zonas de riego que comprenden, el sistema de explotación al que pertenecen, y su demanda anual.

UDA	Zona de riego	Sistema de Explotación PH Ebro	Demanda (hm ³ /año)
Afl.Aragón-Huerva	Sistema Huecha	Huecha	33
Afl.Aragón-Huerva	Sistema Huerva	Huerva	24
Aguas Vivas	Sistema Aguas Vivas	Aguas Vivas	35
Alhama	Sistema Alhama	Alhama	93
Aragón bajo y Arga	Riegos bajo Aragón desde Arga	Ebro Alto-medio y Aragón	24
Aragón bajo y Arga	Reg. total Arga	Ebro Alto-medio y Aragón	23
Aragón medio	Reg. Irati y reg. Aragón entre Irati y Arga	Ebro Alto-medio y Aragón	97
Arba	Sistema Arbas	Arbas	36
C.A.Urgel	Canal Auxiliar Urgel	Segre-Noguera-Pallaresa	195
C.Bardenas	Canal de Bardenas con retorno a los Arbas	Ebro Alto-medio y Aragón	328
C.Bardenas y Ara.alto	Canal de Bardenas con retornoal Aragón	Ebro Alto-medio y Aragón	132
C.Bardenas y Ara.alto	Cabecera Aragón	Ebro Alto-medio y Aragón	6
C.Delta	Canal margen derecha del Delta	Bajo Ebro	303
C.Delta	Canal margen izquierda del Delta	Bajo Ebro	254
C.Delta (reg.inv.)	Reg. invierno canal margen derecha Delta	Bajo Ebro	91
C.Delta (reg.inv.)	Reg. invierno canal margen izda. Delta	Bajo Ebro	76
C.Imperial	Regadíos Canal Imperial	Ebro Alto-medio y Aragón	239
C.Lodosa y otros	Canal de Lodosa	Ebro Alto-medio y Aragón	230
C.Lodosa y otros	Reg. Eje Ebro hasta río Oca	Ebro Alto-medio y Aragón	4
C.Lodosa y otros	Reg. Eje Ebro hasta río Leza	Ebro Alto-medio y Aragón	25
C.Lodosa y otros	Sistema Nela	Nela	2
C.Lodosa y otros	Sistema Oca	Oca	1
C.Lodosa y otros	Sistema Omecillo	Omecillo	4
C.Lodosa y otros	Subsistema Inglares	Bayas, Zadorra e Inglares	2
C.Lodosa y otros	Subsistema Bayas	Bayas, Zadorra e Inglares	2
C.Lodosa y otros	Sistema Leza-Valle de Ocón	Leza-Valle de Ocón	14
C.Lodosa y otros	Subsistema Linares	Ebro Alto-medio y Aragón	3
C.Lodosa-Aragón	Reg. Eje Ebro hasta río Aragón	Ebro Alto-medio y Aragón	53
C.P.Urgel y Segre alto	Canal Principal Urgel	Segre-Noguera-Pallaresa	427
C.P.Urgel y Segre alto	Segre hasta emb. Oliana	Segre-Noguera-Pallaresa	37
C.P.Urgel (reg.inv.)	Reg. invierno Canal Principal de Urgel	Segre-Noguera-Pallaresa	43
C.Tauste y otros	Canal de Tauste	Ebro Alto-medio y Aragón	75
C.Tauste y otros	Reg. Eje Ebro hasta río Queiles	Ebro Alto-medio y Aragón	23
C.Tauste y otros	Reg. Eje Ebro hasta río Huerva	Ebro Alto-medio y Aragón	15
CAC alto y Esera	Canal Aragón y Cataluña zona alta	Gállego-Cinca-Ésera-Noguera Ribagorzana	316
CAC alto y Esera	Alto Ésera	Gállego-Cinca-Ésera-Noguera Ribagorzana	5
CAC alto y Esera	Acequia Estada	Gállego-Cinca-Ésera-Noguera Ribagorzana	5
CAC bajo	Canal Aragón y Cataluña zona baja	Gállego-Cinca-Ésera-Noguera	258

UDA	Zona de riego	Sistema de Explotación PH Ebro	Demanda (hm ³ /año)
Ribagorzana			
Cidacos	Sistema Cidacos	Cidacos	31
Cinca	Alto Cinca (sin RAA)	Gállego-Cinca-Ésera-Noguera	4
Cinca	Reg. bajo Cinca	Ribagorzana Gállego-Cinca-Ésera-Noguera	90
Ribagorzana			
Ebro (Gallego-Segre)	Ebro entre Gállego y Segre	Bajo Ebro	175
Ebro (Segre-Cherta)	Ebro entre Segre y Cherta	Bajo Ebro	67
Ebro (Segre-Cherta)	Sistema Ciurana	Ciurana	17
Ega	Sistema Ega	Ega	32
Flumen e y Alcanadre	Isuela	Alcanadre	7
Flumen y Alcanadre	Flumen	Alcanadre	23
Flumen y Alcanadre	Guatizalema	Alcanadre	7
Flumen y Alcanadre	Alcanadre	Alcanadre	34
Gallego	Alto Gállego (sin RAA)	Gállego-Cinca-Ésera-Noguera	3
Gallego	Bajo Gállego	Ribagorzana Gállego-Cinca-Ésera-Noguera	191
Ribagorzana			
Guadalope alto y medio	Reg. ag. arr. emb. Caspe	Guadalope	90
Guadalope bajo	Reg. ag. ab. emb. Caspe	Guadalope	41
Iregua	Sistema Iregua	Iregua	63
Jalon alto	Alto Jalón	Jalón	22
Jalon bajo	Reg. bajo Jalón	Jalón	219
Jiloca	Reg. total Jiloca	Jalón	85
Martin	Sistema Martín	Martín	53
Matarraña	Sistema Matarraña	Matarraña	55
Najerilla	Sistema Najerilla	Najerilla	71
Nog.Pallaresa	Noguera-Pallaresa	Segre-Noguera-Pallaresa	14
Piñana y N.Rib.	Reg. Ribera N. Ribagorzana	Gállego-Cinca-Ésera-Noguera	26
Piñana y N.Rib.	Canal Piñana	Ribagorzana Gállego-Cinca-Ésera-Noguera	145
Ribagorzana			
Queiles	Sistema Queiles	Queiles	58
RAA-C.Cinca	Riegos del Alto Aragón-Canal del Cinca	Gállego-Cinca-Ésera-Noguera	399
Ribagorzana			
RAA-C.Monegros	RAA-Canal Monegros I-1+Violada (No "Q")	Gállego-Cinca-Ésera-Noguera	61
Ribagorzana			
RAA-Monegros y Flumen	RAA-Resto canal Monegros y Flumen	Gállego-Cinca-Ésera-Noguera	459
Ribagorzana			
Segre bajo	Bajo Segre	Segre-Noguera-Pallaresa	145
Tirón	Sistema Tirón	Tirón	36
Zadorra	Zadorra	Bayas, Zadorra e Inglares	41
Zadorra	Alegria	Bayas, Zadorra e Inglares	11
Total:			6308

Tabla 27. Agregación de zonas de riego del Plan de cuenca en unidades de demanda agraria del modelo

El total actual es, como se observa, de 6308 hm³/año. La demanda de riego potencial total para el segundo horizonte se estima por el Plan en 9879 hm³/año, lo que representa un incremento de 3571 hm³/año respecto a la situación actual. Este incremento se distribuye, de forma simplificada y a efectos de su modelación en el sistema, en diversas unidades de demanda representativas de la distribución territorial real. Para ello se incorporan tres nuevas unidades (Ebro alto, Ebro medio y Aragón) y se incrementan cinco de las unidades existentes según se muestra en la tabla adjunta.

UDA	Sistema de Explotación PH Ebro	Demanda actual (hm ³ /año)	Incremento de demanda (hm ³ /año)	Demanda futura (hm ³ /año)
Ebro alto	Ebro Alto-medio y Aragón	-	389	389
Ebro medio	Ebro Alto-medio y Aragón	-	368	368
Aragón	Ebro Alto-medio y Aragón	-	961	961
Gállego	Gállego-Cinca-Ésera-Noguera Ribagorzana	194	105	299
Cinca	Gállego-Cinca-Ésera-Noguera Ribagorzana	94	647	741
Ebro (Gállego-Segre)	Bajo Ebro	175	400	575
Segre Bajo	Segre-Noguera-Pallaresa	145	441	586
Delta	Bajo Ebro	557	260	817
Total			3571	

Tabla 28. Distribución en unidades del incremento de demanda de riego hasta el segundo horizonte

Además de abastecimientos urbanos e industriales y regadíos, en el esquema se consideran también otras unidades de demanda industrial para la refrigeración de centrales térmicas y nucleares tal y como se indica en la tabla siguiente.

UDI	Central	Demanda	Retorno
Andorra	C.T. de Andorra	18	0.28
Ascó	C.N. Ascó	2438	0.98
Escatrón	C.T. Escatrón	287	1

Tabla 29. Demandas de refrigeración

La central nuclear de Santa María de Garoña toma aguas del Ebro directamente en cola del embalse del Sobrón. Sin embargo, no tiene derecho a desembalses específicos debido a su concesión, salvo aprobación expresa de la Comisión de desembalses. Según el Plan Hidrológico del Ebro, hasta ahora no se han producido desembalses específicos del embalse del Ebro con motivo de la refrigeración de esta central, ya que dispone de un circuito de refrigeración aprovechando el embalse del Sobrón con recirculación de agua cuando el Ebro no aporta caudal suficiente aguas arriba del Sobrón.

Por otra parte, además de las demandas propias descritas, desde la cuenca del Ebro se realizan las transferencias externas que muestra la siguiente tabla, para atender demandas en los ámbitos territoriales de las Cuencas Internas de Cataluña y Norte III.

Unidad	Trasferencia	Sistema de Explotación PH Ebro	Demanda (hm ³ /año)
Ordunte	Trasvase Cerneja-Ordunte	Nela	5
Riudecañas	Trasvase Ciurana-Riudecañas	Ciurana	8
Tarragona	Trasvase a Tarragona	Bajo Ebro	70
Zadorra	Gran Bilbao y Salto de Barazar	Bayas-Zadorra-Inglares	163
Total			246

Tabla 30. Transferencias actuales realizadas desde la cuenca del Ebro

Estas transferencias se incluyen en el esquema como demandas que se atienden desde los puntos de origen de la transferencia.

Respecto a los retornos, en el caso del uso urbano e industrial solo se han considerado en las cuatro unidades de mayor demanda (Zaragoza, resto Aragón, resto Ebro medio y resto Ebro alto), estimándose convencionalmente en el 80% de la demanda. Adoptar este criterio supone una infravaloración de los retornos -que en la práctica serían mayores-, y la consiguiente infravaloración de los sobrantes, lo que queda del lado de la seguridad a los efectos de este Plan Hidrológico Nacional.

Algo similar se ha realizado en el caso del uso agrícola, donde no se han considerado retornos en todas las unidades de demanda, sino tan solo en las más significativas cuantitativamente. Por ello, y para evitar una excesiva infravaloración de los retornos de riego, en lugar de la cifra convencional del 20% habitualmente empleada en el regadío, se ha adoptado un 25%, con lo que el retorno finalmente resultante resulta conservador aunque se aproxima más al que correspondería a adoptar el 20% en todas las unidades de demanda agraria del esquema.

Finalmente, la siguiente tabla resume las demandas consideradas en el sistema de explotación, indicando su cuantía total anual, su distribución estacional y el porcentaje de retorno aprovechable en el sistema.

	DEM. (hm ³)	DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA DEMANDA (%)												RET. (%)
		OC	NV	DC	EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG	ST	
Abast. C.P.Urgel	14	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Abast. CAC	21	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Abast. Delta y otros	39	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Abast. Huesca	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Abast. Lleida	27	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Abast. Logroño	35	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Abast. Pamplona	49	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Abast. RAA	15	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Abast. Vitoria	78	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Abast. Zaragoza	181	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0.8
Abast. Resto Aragón+fut.	129	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0.8
Abast. Resto Ebro alto+fut	89	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0.8
Abast. Resto Ebro medio+fut	94	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0.8
Abast. Resto Eje Ebro+fut	48	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Abast. Resto Gállego+fut	16	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Abast. Resto Segre-Cinca+fut	52	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Reg. Afl.Aragón-Huerva	57	2	0	0	1	1	4	5	8	14	28	26	11	0
Reg. Aguas Vivas	35	2	0	0	0	1	3	8	14	18	24	21	9	0
Reg. Alhama	93	3	1	0	0	1	4	4	9	16	25	24	13	0
Reg. Aragón bajo y Arga	47	1	0	0	1	2	5	10	13	19	25	18	6	0
Reg. Aragón fut	961	1	0	0	0	0	2	3	7	17	32	27	11	0.25
Reg. Aragón medio	97	2	0	0	0	1	4	6	11	14	26	25	11	0
Reg. Arba	40	1	0	0	0	0	2	3	7	17	32	27	11	0

	DEM. (hm ³)	DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA DEMANDA (%)											RET. (%)	
		OC	NV	DC	EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG		ST
Reg. C.A.Urgel	195	3	0	0	0	0	2	6	12	17	28	23	9	0.25
Reg. C.Bardenas	328	1	0	0	0	0	2	3	7	17	32	27	11	0.25
Reg. C.Bardenas y Ara. Alto	138	1	0	0	0	0	1	4	8	17	31	29	9	0
Reg. C.Delta (reg. inv.)	167	17	16	17	17	16	17	0	0	0	0	0	0	0
Reg. C.Delta+fut	817	0	0	0	0	0	1	10	11	20	25	22	11	0
Reg. C.Imperial	239	1	0	0	0	1	2	5	10	17	30	25	9	0.25
Reg. C.Lodosa y otros	287	1	0	0	0	0	1	1	5	24	29	29	10	0.25
Reg. C.Lodosa-Aragón	53	3	0	0	0	0	2	1	1	8	34	35	16	0
Reg. C.P.Urgel (reg. inv.)	43	17	16	17	17	16	17	0	0	0	0	0	0	0
Reg. C.P.Urgel y Segre alto	464	2	0	0	0	0	2	4	9	17	33	26	7	0.25
Reg. C.Tauste y otros	113	1	0	0	0	1	3	6	10	18	27	24	10	0.25
Reg. CAC alto y Ésera	326	2	0	1	1	0	2	6	14	16	22	22	14	0.25
Reg. CAC bajo	258	2	0	1	1	0	2	6	14	16	22	22	14	0.25
Reg. Cidacos	31	3	1	0	0	0	5	5	7	14	26	25	14	0
Reg. Cinca+Fut	741	4	0	1	1	0	4	8	10	17	24	23	8	0.25
Reg. Ebro (Gállego-Segre)+fut	575	1	0	0	0	1	3	10	15	16	24	21	9	0.25
Reg. Ebro (Segre-Cherta)	84	2	0	0	1	2	4	3	9	14	29	24	12	0
Reg. Ebro medio fut	368	1	0	0	0	0	2	3	7	17	32	27	11	0.25
Reg. Ega	32	1	0	0	0	1	3	9	20	19	21	18	8	0
Reg. Flumen y Alcanadre	71	2	0	1	1	0	2	6	14	16	22	22	14	0
Reg. Gállego+fut	299	2	0	1	1	0	2	6	14	16	22	22	14	0.25
Reg. Guadalupe alto y medio	90	2	0	0	0	0	2	6	11	18	27	24	10	0
Reg. Guadalupe bajo	41	2	0	0	0	0	2	6	11	18	27	24	10	0
Reg. Iregua	63	3	0	0	0	2	5	4	10	17	25	22	12	0
Reg. Jalón alto	22	1	0	0	0	0	1	2	9	22	32	26	7	0
Reg. Jalón bajo	219	1	0	0	0	1	2	5	9	17	29	26	10	0.25
Reg. Jiloca	85	1	0	0	0	0	1	3	10	21	30	26	8	0
Reg. Martin	53	2	0	0	0	1	3	8	14	18	24	21	9	0
Reg. Matarraña	55	2	0	0	0	1	4	6	10	15	26	24	12	0
Reg. Najerilla	71	3	0	0	0	0	2	3	9	22	30	22	9	0
Reg. Nog.Pallaresa	14	4	0	0	0	0	2	4	11	17	28	23	11	0
Reg. Piñana y N.Rib.	171	3	0	1	2	0	2	6	14	16	22	22	12	0.25
Reg. Queiles	58	2	0	0	0	1	3	5	10	13	27	28	11	0
Reg. RAA-C.Cinca	399	2	0	1	1	0	2	6	14	16	22	22	14	0.25
Reg. RAA-C.Monegros	61	2	0	1	1	0	2	6	14	16	22	22	14	0
Reg. RAA-Monegros-Flumen	459	2	0	1	1	0	2	6	14	16	22	22	14	0.25
Reg. Ebro alto fut	389	2	0	0	0	0	2	2	7	23	28	26	10	0.25
Reg. Segre bajo+fut	586	3	0	0	0	1	2	6	12	17	27	22	10	0.25
Reg. Tirón	36	1	0	0	0	0	2	3	14	32	32	11	5	0
Reg. Zadorra	52	1	0	0	0	0	1	1	6	31	27	25	8	0
Refrig. CT. Andorra	18	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0.28
Refrig. CN. Asco	2438	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0.98
Refrig. CT. Escatrón	287	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	1
Trasv. Ordunte	5	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Trasv. Riudecañas	8	4	4	3	4	6	7	9	10	14	15	14	10	0
Trasv. Tarragona	70	7	7	7	7	7	7	8	8	8	11	12	11	0
Trasv. Zadorra	163	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	0
Total:	13767	3.7	2.5	2.7	2.7	2.7	4.1	6.2	9.6	14.8	21.4	19.4	10.1	0.357

Tabla 31. Síntesis global de demandas consuntivas en el ámbito del Plan Hidrológico del Ebro

Puede verse que la demanda total consuntiva futura considerada es de 13.767 hm³/año, de los que se consumen 8.847 y retornan al sistema 4.920 (un 35.7%), de los que 2.676 (un 54%) corresponden a las centrales nuclear de Ascó y térmica de Escatrón. Asimismo, los retornos totales de riego se han supuesto de 1.844 hm³/año, cifra, como se indicó, inferior a los 1.977 que resultarían si se adoptase el 20% estándar para todos los regadíos.

En cuanto a niveles de garantía se adoptan los criterios estándar de la planificación nacional cifrados en déficit anuales acumulados de cuantías porcentuales [2,3,10] y [50,75,100] para abastecimientos y riegos respectivamente. Además de estos criterios de caracterización del fallo ordinario, el coeficiente de fallo absoluto (umbral de fallo) se fija en un 1,5.

5.3.2.3. CAUDALES MÍNIMOS

Siguiendo lo establecido en el Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro, y que se recoge por este Plan Nacional, se adopta un caudal mínimo a circular de forma permanente en desembocadura de 100 m³/s. Como muestra la tabla, los 3153'6 hm³/año equivalentes suponen un 19% del total de aportaciones en régimen natural de la cuenca.

TRAMO	Ap. rég. natural (hm ³ /año)	Caudal mínimo (m ³ /s)	Caudal mínimo (hm ³ /mes)	Fracción (%)
Ebro en desembocadura	17036	100	263	19

Tabla 32. Caudales mínimos

Este caudal se introduce, siguiendo los criterios conceptuales propuestos en el Libro Blanco y adoptados en este Plan Hidrológico, como restricción de funcionamiento al sistema global de explotación de recursos.

5.3.2.4. ELEMENTOS DE REGULACIÓN

En la tabla siguiente se presentan las capacidades totales y volúmenes mínimos (hm³), de los embalses considerados en este análisis, algunos de los cuales se encuentran aún en fase de ejecución.

Embalse	Volumen total (hm ³)	Volumen mínimo (hm ³)
Alloz	84	2
Barasona (Joaquín Costa)	92	13
Búbal+Lanuza	89	12
Calanda+Santolea	107	-
Camarasa+Talarn+Terradets	454	113
Canelles+Escales	830	170
Caspe II	81	-
Gigudosa	34	-
Ciurana	12	-
Cueva Foradada	34	12
Ebro	540	1
Eugui	22	1
Grado I+Mediano	835	163
Itoiz	418	9
Mansilla	68	3
Mequinenza	1528	194
Montearagón	51	-
Pajares+Gonzalez Lacasa	68	-
Rialp+Oliana	501	23
Ribarroja	210	74
Santa Ana	240	67
Sotonera	189	10
Tranquera	84	5
Ullivarri+Urrúnaga	220	30
Vadiello	15	0
Val	24	-
Yesa	446	35

Tabla 33. Embalses actuales y en ejecución considerados en el esquema

En algunos de estos embalses, situados en la vertiente pirenaica, se establecen los resguardos para el control de avenidas, que se muestran en la tabla siguiente.

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	MIN
Búbal+Lanuza	73	73	89	89	89	89	73	73	73	89	89	81	12
La Sotonera	189	189	189	174	174	174	174	174	189	189	189	189	10
Grado+Mediano	702	702	781	781	781	781	747	747	802	835	835	702	163

Tabla 34. Resguardos en embalses

En concordancia con el criterio establecido en este Plan Nacional de determinar los sobrantes como los recursos no utilizados una vez alcanzadas las demandas establecidas en el segundo horizonte del Plan de cuenca, se han incluido en el esquema los principales embalses previstos en el Plan para dicho horizonte. Sin ellos, las nuevas demandas no podrían ser atendidas y se desvirtuaría la situación de referencia para el cálculo de sobrantes. Sin embargo, ha de aclararse que, al igual que se ha hecho en las otras cuencas estudiadas, la inclusión de dichos embalses en el esquema no presupone ningún tipo de pronunciamiento sobre su viabilidad técnica, económica o ambiental, más allá de las consideraciones efectuadas en el propio Plan de cuenca. Se trata, en

definitiva, de actuaciones que no condicionan la producción de excedentes y sus posibles transferencias, sino que se vinculan con el futuro desarrollo y consolidación de la cuenca, según las estimaciones y previsiones de su Plan Hidrológico. Si tales desarrollos de la cuenca fuesen inferiores a los previstos, y no se construyesen todos estos embalses, los excedentes en desembocadura serían mayores que los determinados en este estudio, lo que nos coloca, de nuevo, del lado de la seguridad.

Con este criterio, los embalses futuros previstos en el Plan del Ebro que se han incluido en el esquema son los indicados en la siguiente tabla.

Embalse	Volumen total (hm ³)	Volumen mínimo (hm ³)
Biscarrués	225	33
Enciso	47	-
Jánovas	180	18
Loteta	354	18
Lechago	30	-
San Salvador	20	-
Santa Liestra	108	7
Torre del Comte	29	-
Yesa recrecido	1525	133

Tabla 35. Embalses futuros considerados en el esquema

Todos estos embalses se introducen como nuevos elementos en el esquema, a excepción de Santa Liestra, que se considera agregado al embalse de Barasona (Joaquín Costa), y Yesa recrecido, que corresponde al mismo emplazamiento que el actual embalse de Yesa.

5.3.2.5. CONDUCCIONES

El cuadro adjunto resume las capacidades de las conducciones básicas consideradas en el esquema. Por analogía con los criterios adoptados en otros análisis de este Plan Hidrológico Nacional, no se impone ninguna limitación de servicio estacional. En esta cuenca no se incorpora ninguna conducción específicamente vinculada al Plan Nacional.

CONDUCCIÓN	Q _{max} (m ³ /s)	Q _{max} (hm ³ /mes)
Canal del Gállego	90	236
Canal de Monegros	90	236
Canal del Cinca	70	184
Canal de Aragón y Cataluña	32	84
Canal de Enlace	26	68

Tabla 36 . Conducciones consideradas

5.3.2.6. ESQUEMA GENERAL

Con los elementos descritos en epígrafes anteriores se ha construido el sistema básico de explotación general de la cuenca del Ebro, tal y como se muestra en el gráfico adjunto.

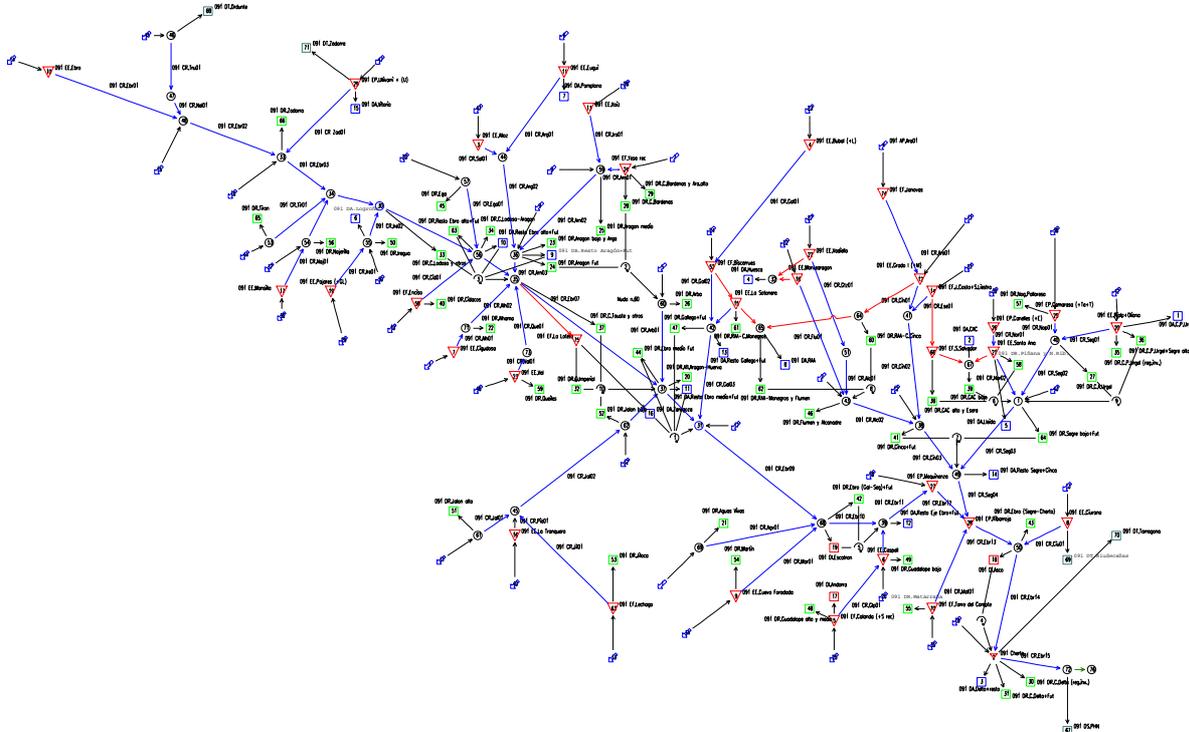


Figura 83. Sistema básico de explotación de la cuenca del Ebro

Este sistema es el que se somete a optimización de la gestión y análisis de la regulación general, con los resultados que seguidamente se exponen.

5.3.3. RESULTADOS OBTENIDOS

El análisis efectuado con el esquema descrito permite determinar los volúmenes circulantes por el tramo final del río Ebro, una vez atendidas todas las demandas de la cuenca, actuales y futuras, situadas aguas arriba. Las series de valores anuales y mensuales resultantes en el periodo de análisis son las mostradas en las figuras siguientes.

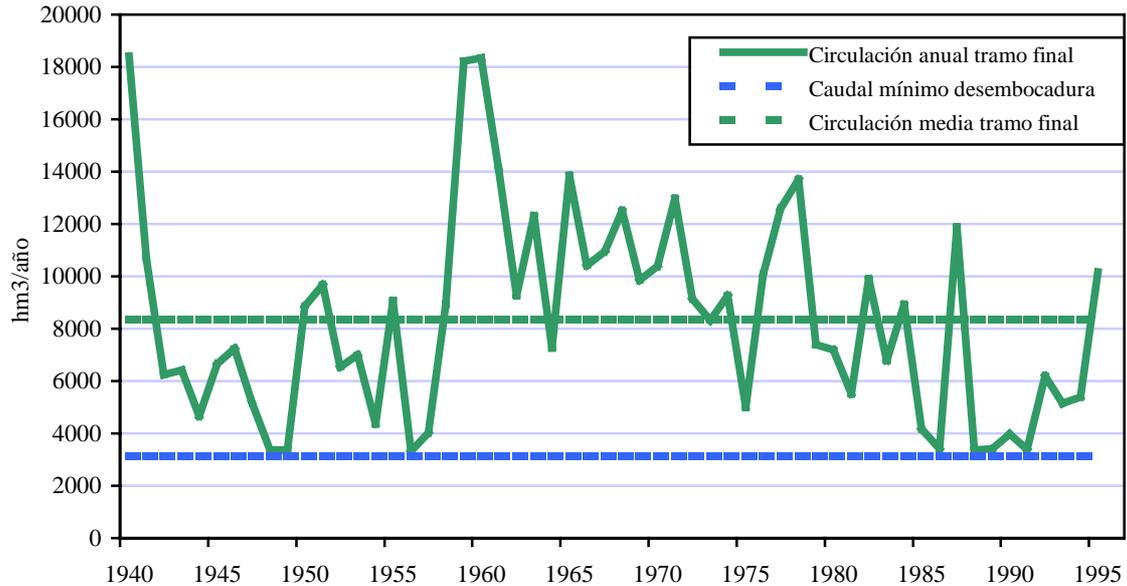


Figura 84. Volúmenes anuales estimados circulantes futuros en el tramo final del Ebro

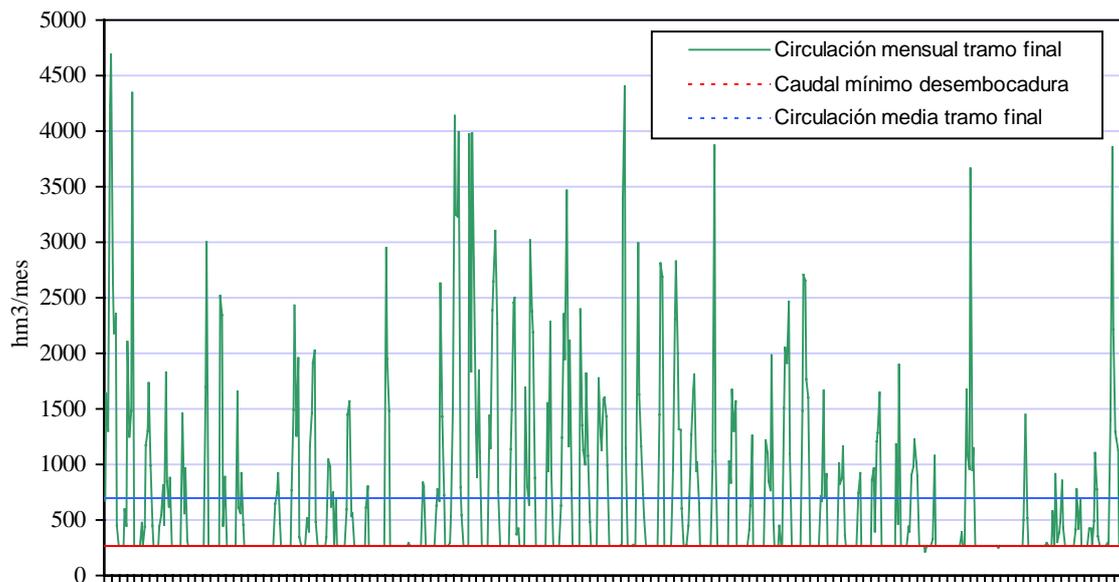


Figura 85. Volúmenes mensuales estimados circulantes futuros en el tramo final del Ebro

Como se aprecia en la figura, la serie de caudales circulantes futuros cumple a escala mensual y anual el requisito de superar el caudal mínimo establecido para la desembocadura en $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ($3154 \text{ hm}^3/\text{año}$, ó $263 \text{ hm}^3/\text{mes}$). Con los criterios descritos pueden calificarse de sobrantes los volúmenes que en dicho tramo final exceden este caudal, pues previamente se habrían atendido todas las demandas posibles del segundo horizonte y se preservaría el caudal mínimo en la desembocadura. De acuerdo con ello, se podrían contabilizar unos sobrantes medios anuales superiores a los 5000 hm^3 .

Este procedimiento permite asegurar que el régimen de transferencias no afectaría a los usos actuales ni futuros de la cuenca, pues los sobrantes se obtienen sin alterar la explotación del sistema: simplemente se observan y registran, sin ninguna intervención exterior, los caudales que circularían por el tramo final en el hipotético segundo horizonte establecido en el Plan de cuenca. La única posible afección sería la alteración en los desplazamientos de la cuña salina en el delta como consecuencia de la modificación de flujos provocada por la detracción de los volúmenes transferidos. Este posible efecto se analiza y cuantifica en Anejo específico, donde se identifican, además, posibles medidas correctoras de dicha alteración.

Los sobrantes obtenidos de esta forma se muestran en la figura siguiente. Se incluyen también en ella los sobrantes obtenidos en el Plan de cuenca (PHEbro) y en los trabajos realizados en desarrollo del proyecto de Plan Nacional de 1993 (PHN96). Puede apreciarse la similitud de las tres estimaciones, y ello a pesar de que las evaluaciones realizadas en este Plan Nacional se han realizado con series de aportaciones obtenidas por un procedimiento diferente y no se han incluido todos los elementos de regulación contemplados en el Plan de cuenca. Una diferencia fundamental es que la serie de sobrantes obtenida en este Plan Nacional incorpora el periodo correspondiente a la sequía de principios de los noventa, que, como se puede apreciar en la figura, es el más crítico del periodo de análisis y condiciona, por tanto, la cuantía de los sobrantes trasvasables.

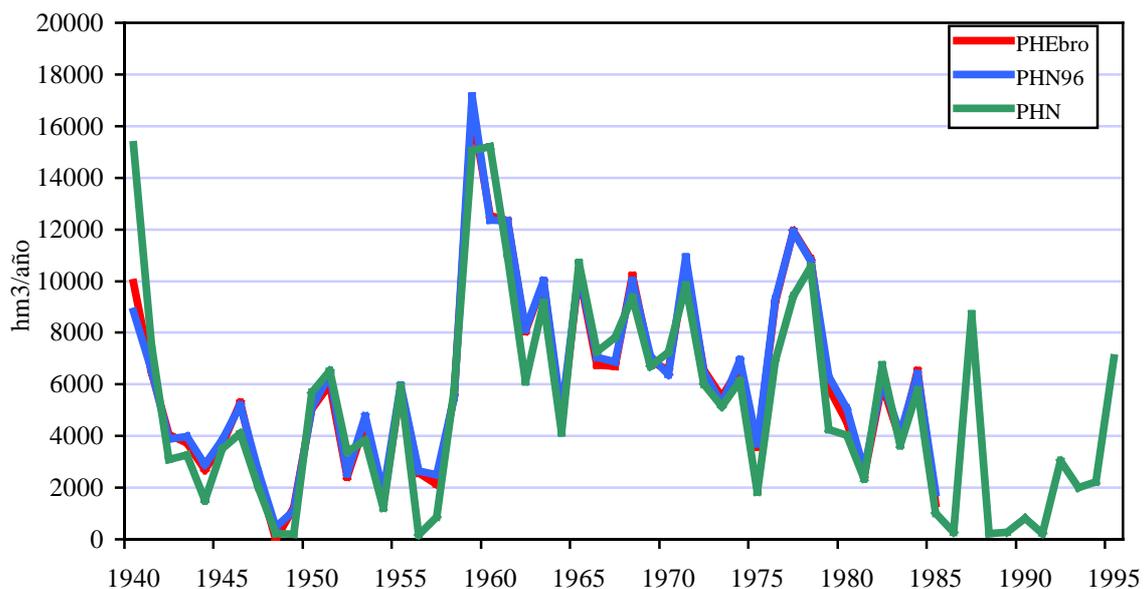


Figura 86. Series de sobrantes anuales

5.4. LA DISPONIBILIDAD DE SOBRANTES

Seguidamente se procede al análisis de la disponibilidad de sobrantes en dos áreas distintas de la cuenca: el tramo bajo, en la zona de desembocadura, y el río Noguera-Pallaresa, en el embalse de Talarn.

5.4.1. ZONA DE DESEMBOCADURA

5.4.1.1. CAUDALES CIRCULANTES. EVOLUCIÓN PREVISIBLE

El análisis del sistema del Ebro ha mostrado que, en la situación futura, y con todos los desarrollos previstos en la planificación hidrológica de la cuenca, se producirán unos flujos en la desembocadura con cuantía media de unos 8.370 hm³/año. Si de estos se deducen los 3.154 correspondientes al caudal mínimo para el Delta, resulta disponerse de unos 5200 hm³/año calificables, en términos jurídicos, como sobrantes. Si no se alcanzase el nivel completo de aprovechamiento previsto en el Plan Hidrológico, tal cuantía de sobrantes se vería correspondientemente incrementada.

La figura adjunta muestra la obtenida evaluación de la circulación futura en desembocadura, junto con otras evaluaciones disponibles, y la realmente observada en el periodo de referencia.

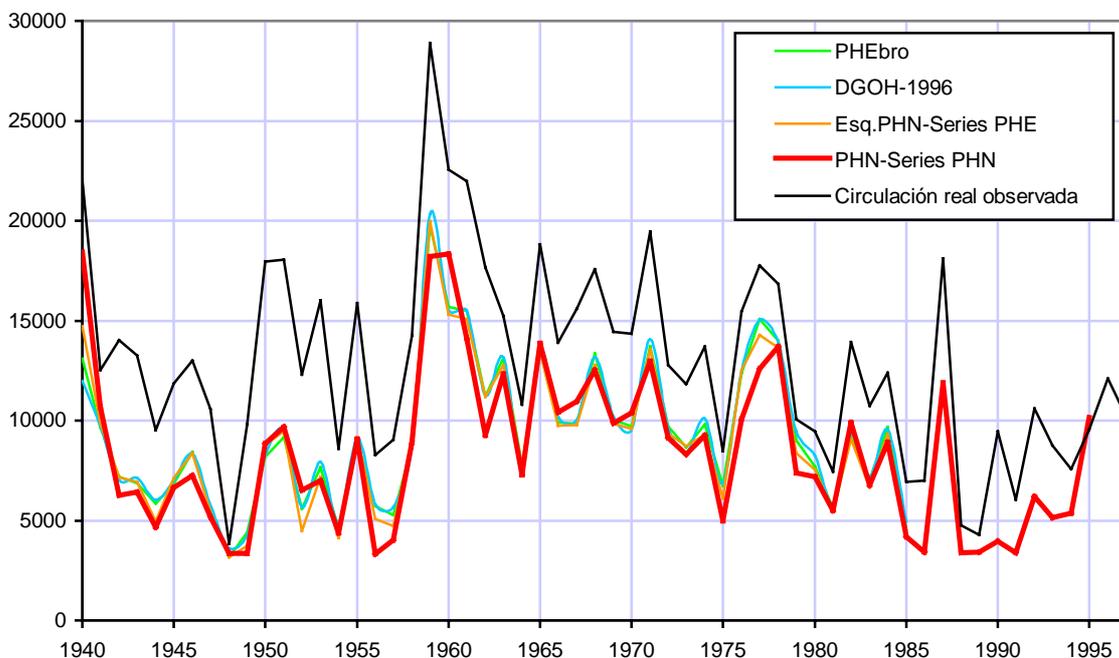


Figura 87. Circulación de caudales anuales (hm³) en el tramo final del Ebro

Como puede verse, la concordancia entre las diversas estimaciones es muy buena, pese a haber sido obtenidas en distintos estudios, y con procedimientos técnicos diferentes entre sí. La diferencia media con los flujos realmente observados desde el año 80 hasta hoy es de más de 3.000 hm³/año, que son, aproximadamente, los correspondientes al previsto incremento futuro de consumos netos en la cuenca.

Para ilustrar este efecto, la figura siguiente muestra el registro histórico observado (periodo 1940-1997) de caudales circulantes en el tramo final, que, como se vió, puede considerarse caracterizado por tres fases: entre 1940 y finales de los 50, en que el consumo neto permanece estable y algo por encima de los 3.000 hm³/año, con caudales

medios circulantes en desembocadura de unos 14.000 hm³/año. Una segunda fase es la del periodo de 20 años comprendido entre finales de los 50 y finales de los 70, en que se produce un incremento de consumos netos muy importante y sostenido, alcanzándose los 5.000 hm³/año, con unas circulaciones medias en desembocadura mayores de 12.000 hm³/año. Desde esas fechas el consumo neto continúa creciendo, aunque a un ritmo mucho menor, hasta la actualidad, en que puede cifrarse en unos 5.500 hm³/año, con circulaciones medias en desembocadura de unos 11.500 hm³/año.

A este periodo histórico del pasado reciente, con sus tres fases indicadas, seguiría una hipotética transición de 20 años en que se supone que se desarrollan y materializan todas las previsiones de demandas del Plan Hidrológico del Ebro (supuesto, como se vió, maximalista y poco verosímil). Tras ello, el periodo siguiente sería el ya mostrado, resultante del análisis del sistema en su estado futuro, y que implicaría unos consumos netos del orden de los 8.800 hm³/año, con circulaciones medias en desembocadura superiores a los 8.300 hm³/año.

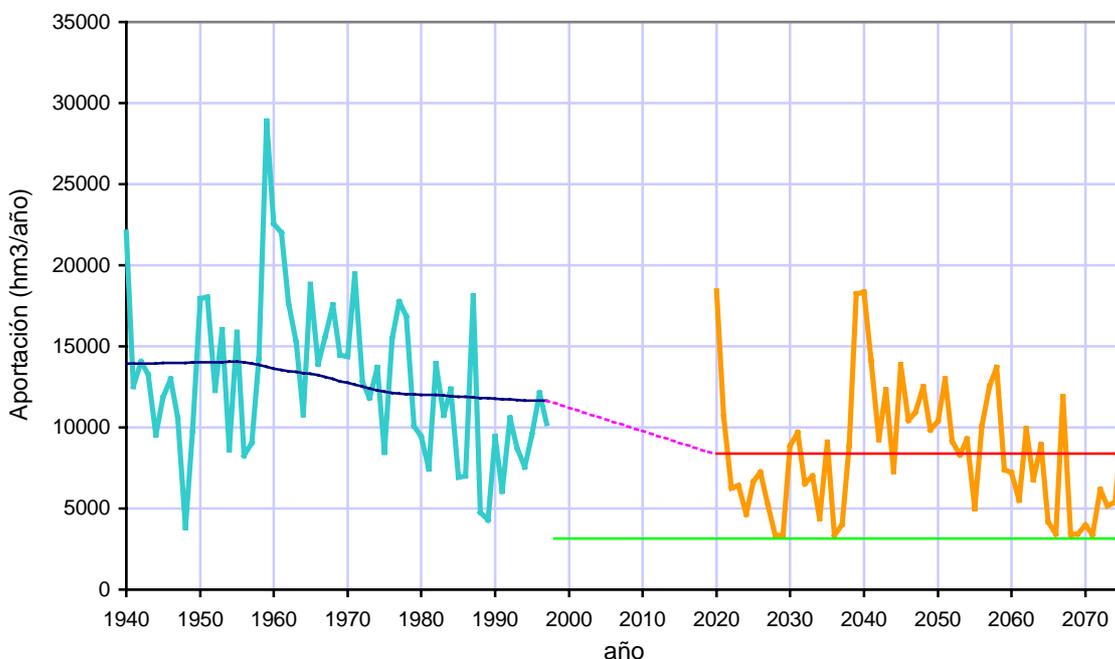


Figura 88. Evolución de volúmenes circulantes en el tramo final

Puede verse en la figura que, como ya se indicó, la simulación realizada permite mantener todos los años los caudales mínimos en desembocadura, pese al gran ritmo de crecimiento de consumos previsto en el Plan, que resulta ser superior al mayor de su historia como se vió analizando la evolución de superficies de riego o, ahora, la pendiente de la recta de transición. Ello muestra la viabilidad teórica de las previsiones del Plan Hidrológico del Ebro, y la corrección de sus determinaciones técnicas. Además de ello, cualquier modificación a la baja de este ritmo máximo de crecimiento dará lugar a mayores caudales circulantes en el tramo final, dejando los análisis realizados en este Plan Hidrológico Nacional del lado de la seguridad.

5.4.1.2. ESTACIONALIDAD DEL FLUJO

Como se vió en las anteriores figuras de circulaciones futuras anuales y mensuales, el régimen de flujos en desembocadura es ciertamente muy irregular tanto interanual como intraanualmente. Para investigar su estructura estacional, la figura adjunta muestra las medias y distintos percentiles de las aportaciones mensuales circulantes en el tramo final del río. Se representan también, como contraste, las medias mensuales obtenidas en el Plan Hidrológico del Ebro y en otros trabajos previos (DGOH, 1995), pudiendo comprobarse que todas las evaluaciones de caudales son sensiblemente coincidentes, aunque los propuestos en este Plan Nacional son ligeramente inferiores a los de las otras dos estimaciones, como consecuencia, entre otras cosas, de la incorporación de la sequía de principios de los noventa.

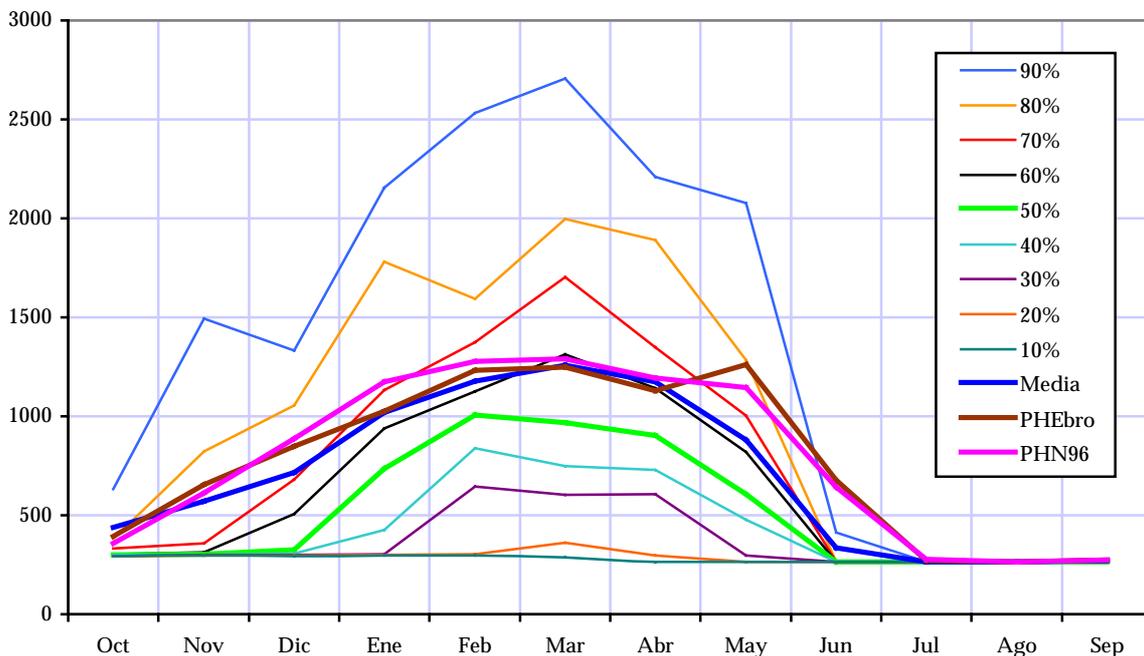


Figura 89. Percentiles y medias de los caudales mensuales (hm³) en el tramo final del Ebro

Puede verse que los caudales circulantes son muy elevados, pero se concentran en algunos meses del año, quedando prácticamente reducidos al mínimo ambiental del Delta en el periodo junio-septiembre. Los meses que siempre aportan cantidades importantes son los de diciembre a mayo. En este semestre se concentra el 75% de las aportaciones y el 90% de los sobrantes de todo el año.

La consecuencia práctica de este severo comportamiento es que la posible derivación de recursos para una transferencia externa debe considerar tal modulación en origen, y prever su máxima cuantía anual en función de la modulación de las necesidades externas y de las posibilidades de regulación de los sobrantes.

5.4.1.3. INDICADORES DE COMPORTAMIENTO BAJO EL SUPUESTO DE DEMANDA

Obtenido el régimen estacional de los flujos circulantes en desembocadura, cabe suponer que este flujo alimenta una demanda externa, que sería la atendida con la transferencia, y estudiar las características que tendría este suministro hídrico. Para ello evaluaremos, para diferentes valores de la demanda externa y del hipotético almacenamiento disponible, el comportamiento de distintos indicadores de garantía de atención de esta demanda.

Las figuras adjuntas muestran, para el supuesto razonable de una demanda continua en los 8 meses octubre-mayo y nula en junio-septiembre, los valores de la garantía mensual, garantía volumétrica y déficits anuales acumulados para 1, 2 y 10 años, según el almacenamiento disponible, y para cada total anual demandado. Asimismo, se incluye una representación de estos déficit para capacidades de embalse excepcionalmente grandes, lo que nos permite observar sus propiedades asintóticas.

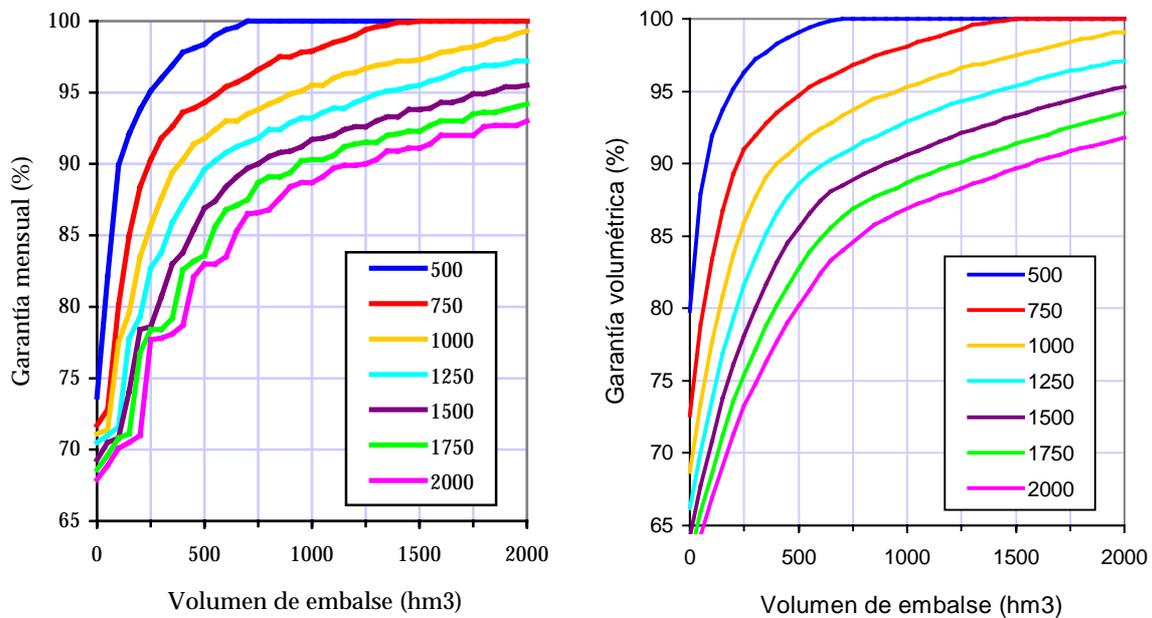


Figura 90. Garantías mensual y volumétrica para demanda continua en 8 meses

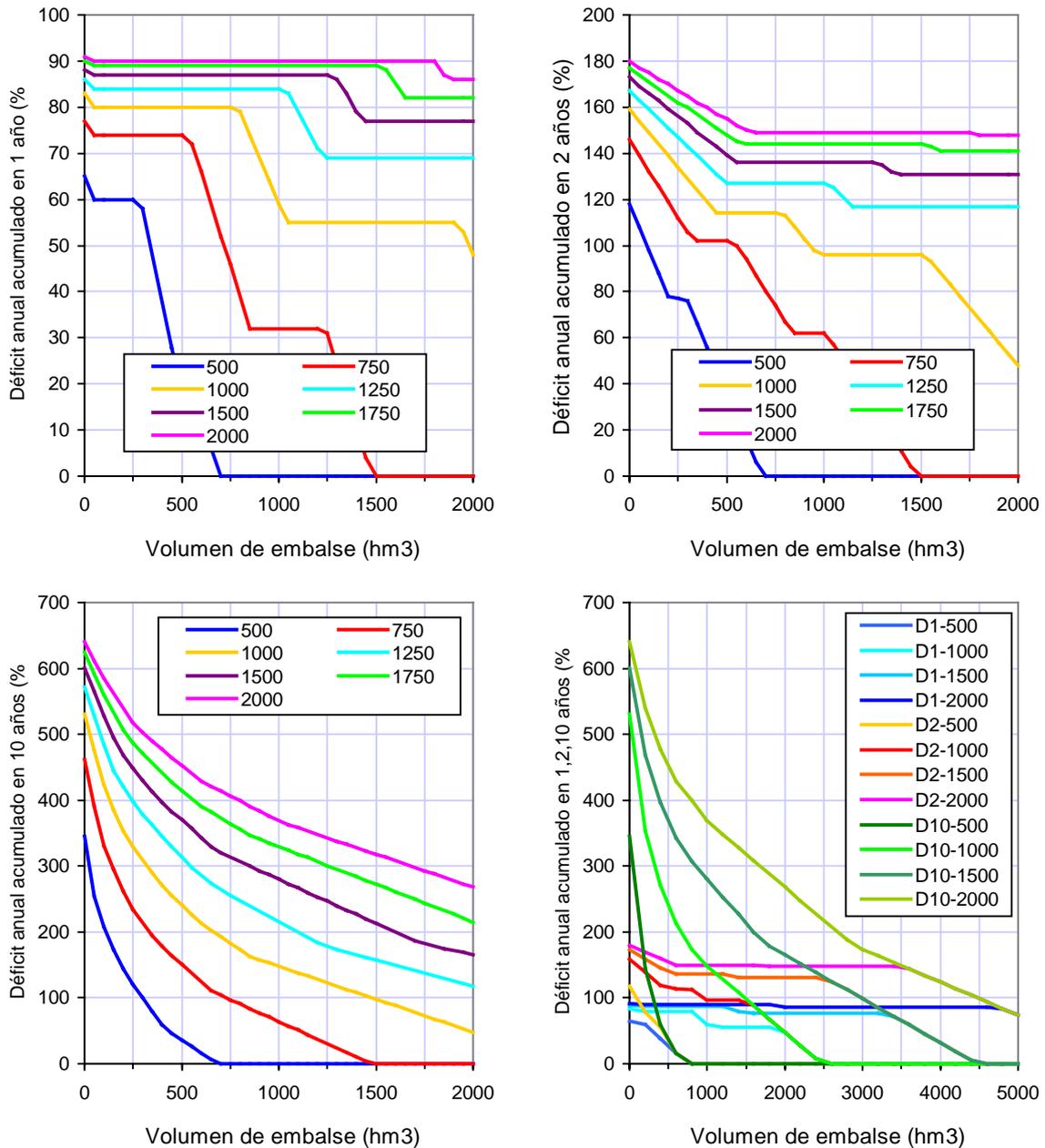


Figura 91. Déficit anuales acumulados para demanda continua en 8 meses

Como se observa en las figuras, si no existe ninguna capacidad de almacenamiento disponible las garantías mensuales son inferiores al 75%, las volumétricas inferiores al 80%, y se producen fallos aparentes de suministro (65, 120, 350% de déficit en 1, 2 y 10 años), lo que supone un resultado deficiente, incluso para demandas reducidas, del orden de 500 hm³/año.

En los gráficos de demandas mensual y volumétrica se observa que, si puede disponerse de alguna capacidad de almacenamiento, los rendimientos mejoran extraordinariamente hasta volúmenes de embalse del orden de 500 hm³ (entre 300 y 700 según la demanda), y después continúan mejorando pero a un ritmo mucho más reducido. Ello da una primera idea de la disponibilidad mínima que parece

recomendable. Como referencias indicativas cabe indicar que sin embalse no parece viable ninguna transferencia; con 500 hm³ de embalse y el 95% de nivel mínimo de garantía tanto mensual como volumétrica, el volumen que puede derivarse sería de unos 750 hm³/año; si el embalse se eleva a unos 1.000 hm³, entonces el volumen derivable alcanza los 1.000 hm³/año; finalmente, un almacenamiento de 1.500 hm³, permitiría superar los 1.300 hm³/año de transferencia.

Si se examina ahora el gráfico de déficit máximo en 1 año, se observa que un embalse de 800 hm³ produce mejoras sustanciales para demandas de hasta 750 hm³/año, pero si las demandas son muy grandes (p.e. mayores de 1500 hm³/año), la mejora es prácticamente inexistente, incluso para volúmenes de embalse muy elevados. En la figura conjunta (4^a) puede verse este efecto, comprobando que si la demanda es de 2000 hm³/año, ni siquiera un embalse de 5000 hm³ puede llegar a mejorar el déficit anual máximo.

Observando el gráfico de déficit máximo acumulado en 2 años, con el gráfico conjunto, el efecto anterior aparece aún con mayor nitidez, pudiendo verse que para demandas superiores a 1000 hm³/año, es necesario aproximarse a los 3000 hm³ de embalse para conseguir mejoras apreciables.

Si ahora se observa el gráfico de déficit máximo acumulado en 10 años, y el gráfico conjunto, puede verse como el efecto anterior ha desaparecido, y los déficit se van reduciendo de forma gradual a medida que se aumenta la regulación disponible, con independencia de cual sea el nivel de demanda solicitado.

Este comportamiento está revelando, en definitiva, la existencia de un periodo reducido extremadamente crítico, que provoca importantes déficit acumulados en 1 y 2 años, y que requiere, para su superación, de volúmenes de embalse muy elevados frente a las demandas requeridas. En efecto, volviendo al gráfico de circulación de caudales anuales, puede verse que existe un periodo de 4 años (1988-1991) en el que la circulación es la correspondiente al caudal mínimo ecológico, y los sobrantes disponibles son de pocos cientos de hm³ al año.

Ante esta situación, es obligado ponderar prudentemente tales riesgos con un criterio de seguridad razonable, que impida inicialmente compromisos de transferencias que no pudiesen satisfacerse en el futuro, y ello aunque las cuantías anuales sean muy inferiores a las máximas posibles.

Para ello se requiere determinar los umbrales de fallo admisibles, lo que conduce, en definitiva, a estudiar la tipificación de las demandas que se atenderían con la transferencia.

Dado que un principio inspirador de este Plan Hidrológico Nacional es la no ampliación de riegos con aguas trasvasadas, y su destino básico es para abastecimientos, sustitución de la sobreexplotación, y mejora de la garantía, el máximo fallo admisible en un año sería el que podría soportar una demanda de tal naturaleza. Ello se traduce, en la práctica, en un suministro seguro para el abastecimiento, ya que el riego puede soportar mermas esporádicas de entrega movilizándolo puntual y temporalmente los recursos subterráneos sobreexplotados, que son el objeto de la sustitución, y para los que ya existe el necesario equipamiento. Esta

movilización ocasional tendría el carácter de un socorro excepcional, al nivel estrictamente necesario para alcanzar los estándares de garantía, y podría también operar para los abastecimientos aunque parece prudente no considerar, en principio, tal posibilidad.

En las zonas del levante identificadas como deficitarias, los incrementos de abastecimientos pueden suponer del orden del 30% del total requerido, por lo que es razonable aceptar que el máximo déficit anual admisible sea del orden del 70%, o, equivalentemente, del 140% en dos años consecutivos, ya que los ritmos actuales de extracción tienen carácter continuado, y no requieren recuperaciones específicas a escala bianual. A escala decenal, no parece razonable –aunque sería posible– mantener tales condiciones excepcionales, y el problema se traslada al de continuidad global de servicio, equivalente, en definitiva, a una garantía porcentual de tipo mensual o volumétrico. Si el mínimo anual ordinario se establece en un 95%, el déficit anual acumulado en 10 años sería del orden del 180%, valor que puede sin duda aumentarse considerando el mecanismo de socorro, aunque sin alcanzar el 700% que implicaría la operación de tal mecanismo de forma continua. Se propone, tentativamente, un 300% como cifra de compromiso prudencial y reducida.

Examinando los gráficos de déficit anuales acumulados, puede verse que tales situaciones se consiguen, a escala anual o bianual, y sin regulación alguna, para demandas del orden de los 600 hm³/año, mientras que a escala decenal apenas se llegaría a unos 500 hm³/año.

La situación mejora extraordinariamente a poca cuantía de almacenamiento de que pueda disponerse. Así, con unos 500 hm³, los tres criterios de déficit acumulado apuntan a volúmenes trasvasables del orden de 700, 1500 y 1200 hm³/año respectivamente; con unos 1000 hm³ de embalse estas cuantías se elevan a 1100, 1600 y 1600 hm³/año, y con un embalse de 1500, se elevarían hasta 1250, 1700 y 1900 hm³/año respectivamente.

En síntesis, ponderando estos resultados con los anteriormente expuestos para los criterios porcentuales mensual y volumétrico, y tomando las estimaciones más limitativas y seguras, puede concluirse que, en los términos de una demanda añadida al sistema, no es deseable plantear ninguna transferencia desde el curso bajo del Ebro si no se dispone de algún almacenamiento que permita cierta modulación en la toma. Si este almacenamiento fuese de 500 hm³, podrían derivarse 700 hm³/año; si fuese de 1000 se podrían derivar 1000 hm³/año; y si fuese de 1500 se podrían derivar 1200 hm³/año.

La situación de este curso bajo del río es que existen dos importantes embalses hidroeléctricos, los de Mequinenza y Ribarroja, que con capacidades totales de 1530 y 210 hm³, y útiles de 1330 y 135 hm³ respectivamente, pueden proporcionar sobradamente este servicio sin afección alguna a las demandas de la cuenca del Ebro, sin que se requiera el concurso de ninguna otra regulación de la cuenca -actual ni futura-, sin afectar a los usos recreativos de estos embalses, y con el único impacto previsible de una modificación de las condiciones de turbinación hidroeléctrica, reducible a términos económicos cuya cuantía es computable, e íntegramente

repercutible, en su caso, a los beneficiarios de la transferencia como un elemento más de su coste.

En consecuencia, y en contra de un tópico muy extendido, ninguna de las infraestructuras de regulación planteadas en la cuenca del Ebro tiene relación alguna con las posibles transferencias externas desde esta cuenca. De hecho, y sin perjuicio de los posibles efectos de regularización de flujos, en la medida en que se desarrollen tales regulaciones habrá mayor consumo propio en la cuenca y, en consecuencia, menores volúmenes sobrantes en su desembocadura. Como veremos, posteriormente se acotará y cuantificará este efecto de merma.

5.4.1.4. INDICADORES DE COMPORTAMIENTO BAJO EL SUPUESTO DE SOBRENTE

En lo expuesto anteriormente se ha supuesto que la posible transferencia desde el curso bajo del Ebro tiene el carácter de una demanda más, con un cierto régimen estacional, y determinados criterios de garantía que satisfacer de forma razonable. En estas condiciones, los resultados son los que se han mostrado anteriormente.

Un enfoque diferente a éste es el de considerar una cierta capacidad de almacenamiento y de toma, y derivar los caudales sobrantes que sea posible en cada momento, encomendando la regulación de estas derivaciones a los lugares de tránsito o destino, fuera del sistema. No se plantea, pues, una demanda de transferencia como tal, sino un máximo trasvasable anual y una facilidad de derivación no regulada del sobrante existente hasta alcanzar este máximo, sin ningún compromiso de disponibilidad ni regulación en la zona de origen.

Esta formulación parece, en principio, el deseable siempre y cuando tal régimen de explotación sea técnicamente viable en el sistema global, con tránsitos y destinos, y el funcionamiento conjunto obedezca a la racionalidad técnico-económica. Además, esta concepción es concordante con el carácter de las transferencias planteadas, que no corresponden estrictamente a nuevas demandas, sino a complementos, auxilios y consolidaciones de demandas ya previamente existentes.

Para valorar los resultados de este enfoque puede verse la figura adjunta, que muestra los volúmenes medios anuales que podrían derivarse del bajo Ebro en función de la capacidad de la toma, y para diferentes supuestos de almacenamiento disponible en origen.

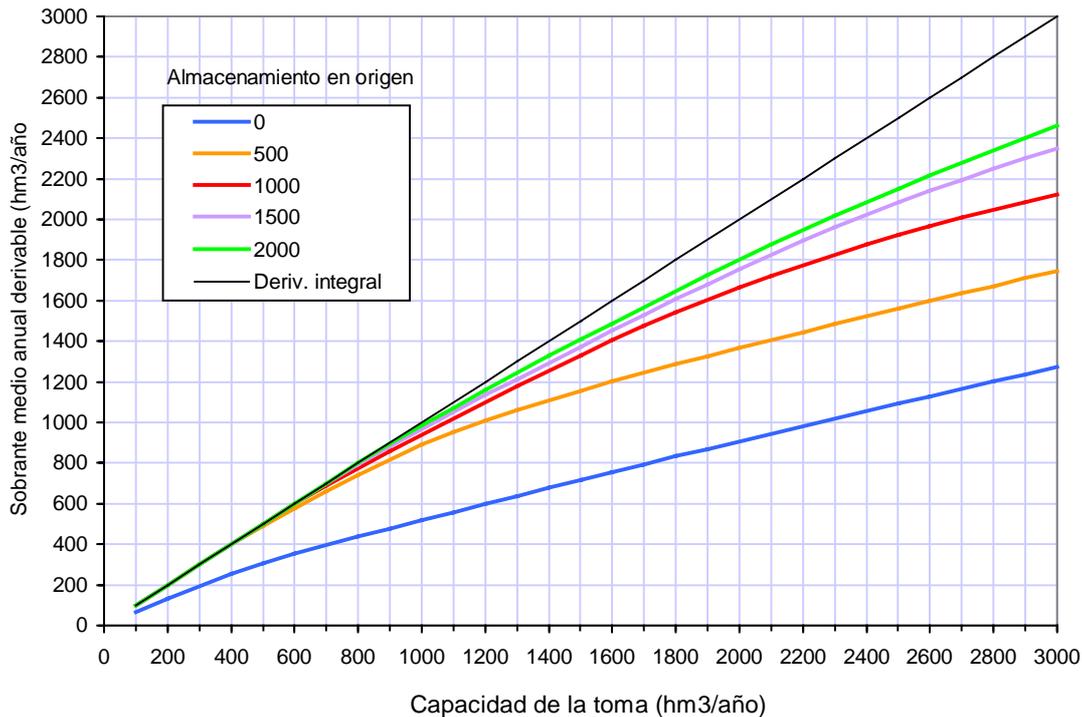


Figura 92. Sobrantes medios anuales derivables según la capacidad de toma y el almacenamiento disponible

Como puede comprobarse, si el almacenamiento disponible es cero, los volúmenes de sobrantes derivables crecen de forma casi lineal con la capacidad de captación, de forma que con una toma de 1000 hm³/año podrían derivarse, por término medio, 500 hm³/año de sobrantes, con una toma de 2000 hm³/año podrían derivarse unos 900, y con una toma de 3000 hm³/año podrían derivarse 1300. Ello supone un coeficiente de dimensionamiento de la conducción (capacidad total/volumen transportado) aproximadamente igual a 2.

Además, puede verse con claridad que si se dispone de algún almacenamiento en origen el rendimiento mejora extraordinariamente, aproximándose al coeficiente de dimensionamiento 1, que sería el dado por la línea de derivación integral (o de los 45°), representada en la figura, y que supone que la toma estaría funcionando de forma permanente a su plena capacidad.

Así, con un almacenamiento en origen de 500 hm³, es posible derivar 1000 hm³ de sobrantes al año con una toma de 1200, 1200 con toma de 1600, y casi 1400 con una toma de 2000, y casi 1800 con una toma de 3000. Si el almacenamiento se aumenta a 1000 hm³ (aún inferior al realmente existente), sería posible derivar 1000 hm³/año con una toma de 1100, y 1300 con una toma de 1500.

Puede concluirse, en definitiva, que concebida la transferencia no como una demanda ordinaria que haya de satisfacer ciertas garantías mínimas, sino como una derivación estricta de sobrante, cuando lo haya, y que debe ser modulado en tránsito o destino, no existe ninguna dificultad hidrológica para derivar volúmenes medios del orden de los 2000 hm³/año con tomas de 3000, y disponiendo de almacenamientos en origen inferiores a los 1000 hm³.

5.4.1.5. CONCLUSIONES. LOS SOBANTES DERIVABLES

Ponderando los resultados anteriores con los obtenidos previamente, siguiendo una concepción de demanda ordinaria, puede finalmente proponerse, de forma prudencial y muy conservadora, una derivación media máxima de 1200 hm³/año, lo que requiere una captación máxima en origen de hasta 1600 hm³/año de capacidad (coeficiente 1.33), y un almacenamiento en origen de unos 500-1000 hm³. El carácter conservador de esta cuantía permitiría, en su caso, absorber incluso otras posibles derivaciones de la cuenca, tales como la captación del Noguera Pallaresa hacia el área de Barcelona, sin que el volumen máximo propuesto se vea alterado en la práctica. Asimismo, una mayor disponibilidad de almacenamiento en origen, perfectamente viable, podría quizá permitir una mejor gestión de la cuña salina y de la circulación de flujos en el delta, tal y como se indica en el correspondiente Anejo de este Plan.

En definitiva, con este criterio, la serie de sobrantes anuales derivables y sus cuantiles mensuales son los mostrados en la figura adjunta.

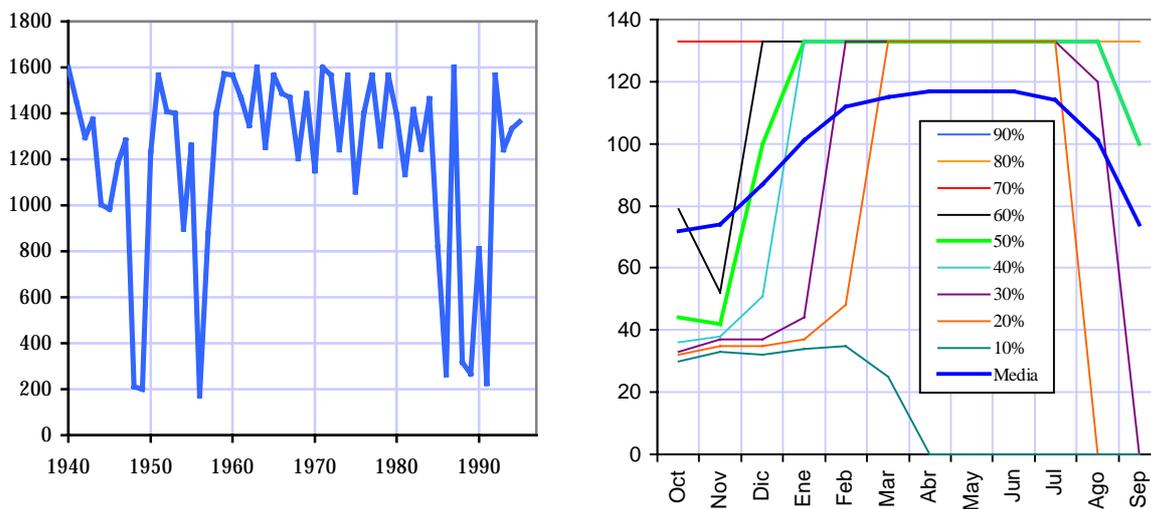


Figura 93. Serie anual y cuantiles mensuales de los sobrantes derivables

Observando la figura puede verse que, siendo el valor medio de 1200, la mayoría de los años se derivan cantidades entre 1100 y 1600 hm³/año. No existe ningún año en que no se derive nada, y hay 7 años con valores reducidos, por debajo de los 300 (lo que vendría a coincidir, por otra parte, con el mínimo estricto conforme al criterio de garantía de demanda ordinaria).

Los cuantiles mensuales muestran una meseta en el periodo octubre-abril (todos los cuantiles considerados son positivos), y un periodo desfavorable en abril-septiembre, exacerbado especialmente en agosto y septiembre. Ello confirma, en definitiva, la razonable validez del modelo de demanda en 8 meses anteriormente empleado, que excluye enteramente el cuatrimestre junio-septiembre de la demanda de recursos procedentes de las transferencias.

5.4.1.6. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Para perfeccionar el análisis, cabe considerar el efecto que tendría sobre la serie de sobrantes una disminución generalizada de las aportaciones naturales como consecuencia de un hipotético cambio climático.

Tales efectos han sido analizados en el Libro Blanco del Agua, cuya conclusión al respecto puede resumirse en que no procede modificar las demandas hídricas previstas, pero sí cabe reducir las aportaciones en cuantías que son inciertas, pero que pueden tentativamente cifrarse, a efectos de diseño, en un 5% medio global al segundo horizonte del Plan (la horquilla correspondiente al Ebro está en el 3-9% de disminución de aportaciones). Asimismo, se prevé también un aumento de irregularidad de las aportaciones, cuya cuantificación se ignora.

La figura adjunta muestra la circulación de caudales anuales observada en el tramo final del río Ebro, junto con la serie de circulaciones de diseño, adoptada en este Plan Hidrológico, y las circulaciones resultantes tras una disminución generalizada de aportaciones naturales del 5 y el 10%.

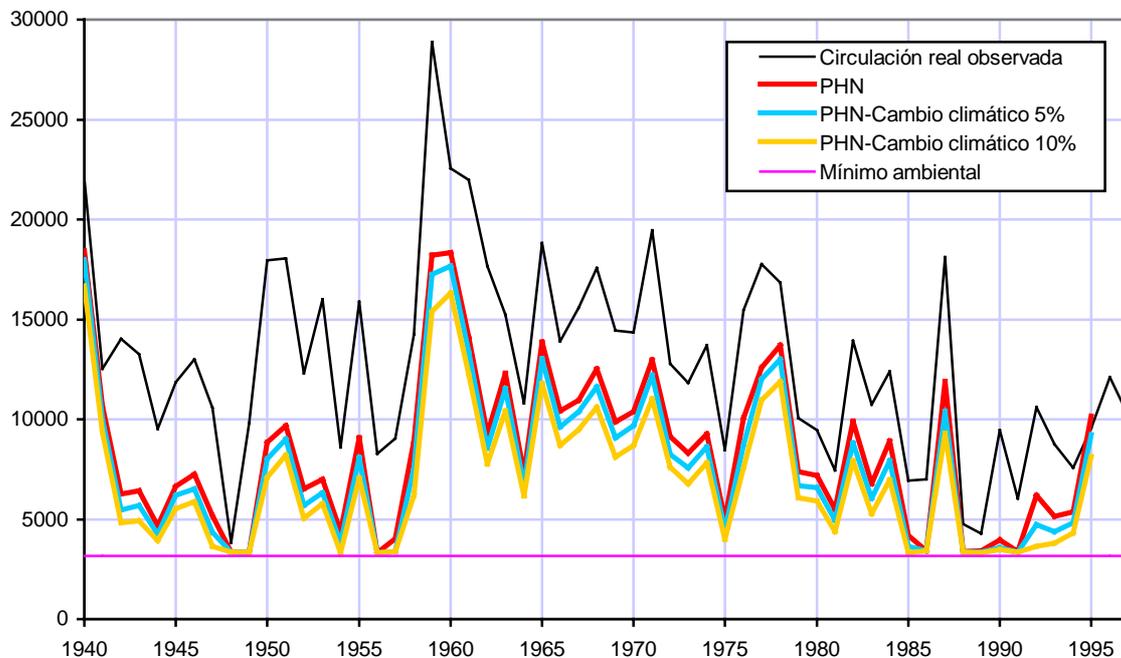


Figura 94. Circulación de caudales anuales (hm^3) en el tramo final del Ebro bajo supuestos de cambio climático

Como puede verse, la serie de sobrantes anuales apenas se ve afectada por la reducción de caudales naturales, aunque fallarían mas demandas propias de la cuenca del Ebro. Las circulaciones medias resultantes son de 8372, 7696 y 6967 $\text{hm}^3/\text{año}$ respectivamente, frente a los 12900 medios observados en el periodo 1940-97. En todos los casos se mantendría el mínimo ambiental de 100 m^3/s en desembocadura.

Los órdenes de magnitud de las cifras mostradas, en contraste con los máximos sobrantes derivables sugeridos, permiten concluir que una merma de aportaciones naturales como consecuencia del cambio climático no incidiría apreciablemente sobre los resultados anteriormente obtenidos.

5.4.1.7. EFECTOS DE LAS NUEVAS REGULACIONES DEL EBRO

Para concluir el estudio, cabe considerar el efecto que tendría sobre la serie de sobrantes la no existencia de ninguna de las nuevas infraestructuras de regulación previstas o en ejecución en el ámbito de la cuenca del Ebro, combinada con el supuesto más desfavorable de demandas, que es el de desarrollo de todos los regadíos previstos a largo plazo en su plan Hidrológico. Ello permite valorar la incidencia que tienen las presas del Ebro para los sobrantes disponibles en su desembocadura.

Para evaluar esta hipótesis se repite el análisis del sistema pero eliminando las presas de Biscarrués, Enciso, Jánovas, La Loteta, Lechago, San Salvador, Santa Liestra, Torre del Compte, y recrecimiento de Yesa.

Los resultados obtenidos son los mostrados en la figura, en la que se han representado también las series anteriormente obtenidas.

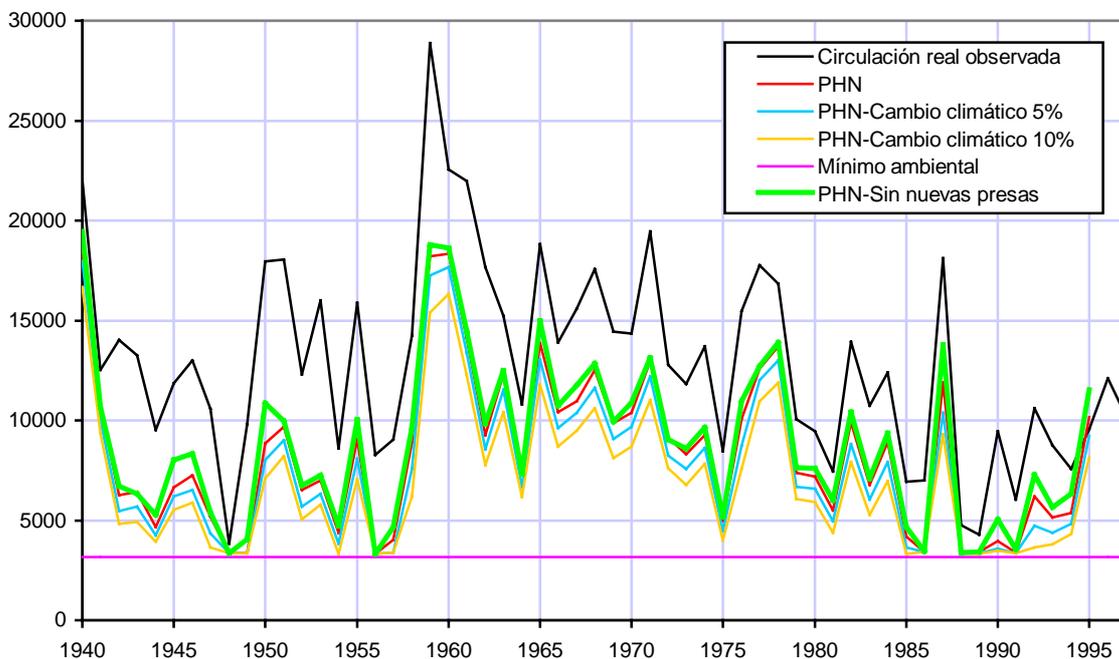


Figura 95. Circulación de caudales anuales (hm^3) en el tramo final del Ebro bajo el supuesto de no nuevas presas

Como se observa, esta hipótesis da lugar a unos caudales circulantes que son mayores que los resultantes bajo cualquiera de los otros supuestos anteriores. El valor medio de la serie se eleva a $8873 \text{ hm}^3/\text{año}$, lo que supone $500 \text{ hm}^3/\text{año}$ más de los obtenidos suponiendo la existencia de todas las nuevas presas (8372).

Ello muestra de forma inequívoca que las nuevas regulaciones del Ebro mejorarán las garantías de servicio de los sistemas propios de la cuenca, pero no se requieren en absoluto para la mejor disponibilidad de sobrantes trasvasables. Muy al contrario, su efecto es precisamente el de disminuir del orden de un 6% los caudales del río circulantes en la desembocadura.

5.4.2. CUENCA DEL SEGRE

Bajo el supuesto de derivación de caudales no requeridos por el sistema, y que –sin perjuicio de su posible afección hidroeléctrica– no rebajen las garantías de suministro de las demandas consuntivas existentes y previsibles a largo plazo, la serie de volúmenes sobrantes en el río Noguera-Pallaresa, derivables desde Talarn, es la mostrada en los gráficos adjuntos.

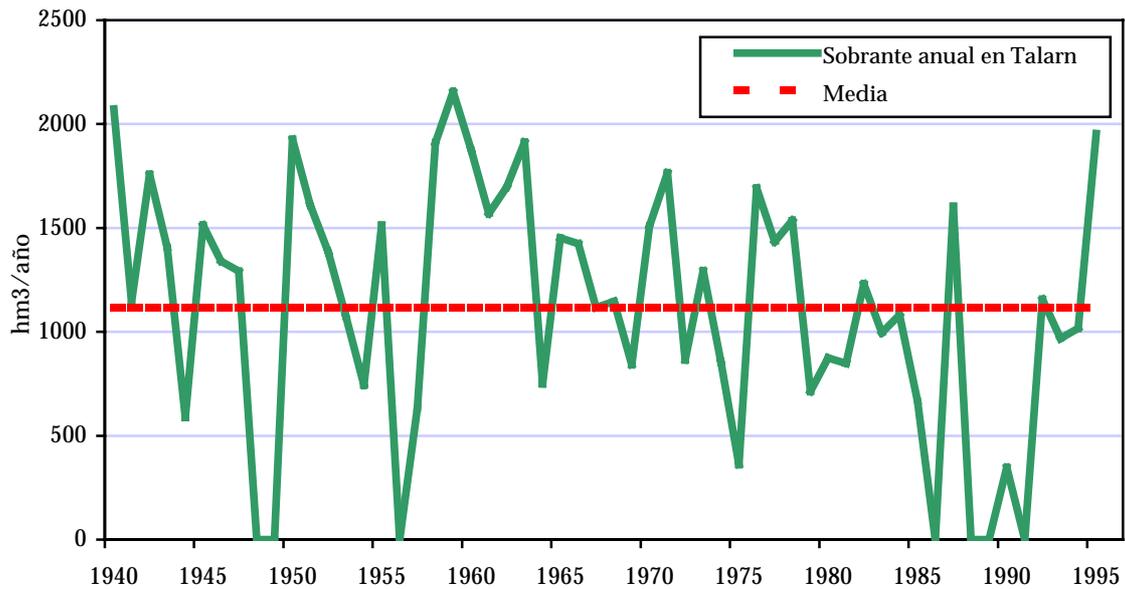


Figura 96. Sobrantes anuales futuros en Talarn

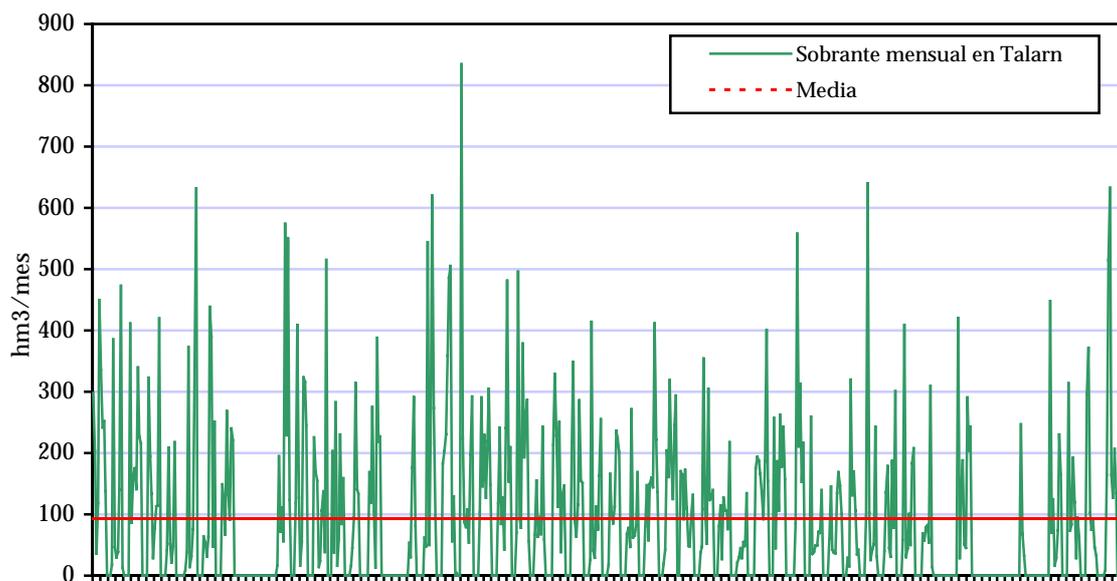


Figura 97. Sobrantes mensuales futuros en Talarn

Como se aprecia, existe un sobrante medio anual muy importante (del orden de 1118 hm³/año), pero con una gran irregularidad temporal: existen años con más de 2000 hm³, y años en que prácticamente no hay sobrantes disponibles.

Intraanualmente, la irregularidad de los flujos derivables es también manifiesta como puede verse examinando la serie mensual y, con mayor detalle, las medias y distintos percentiles de esta serie.

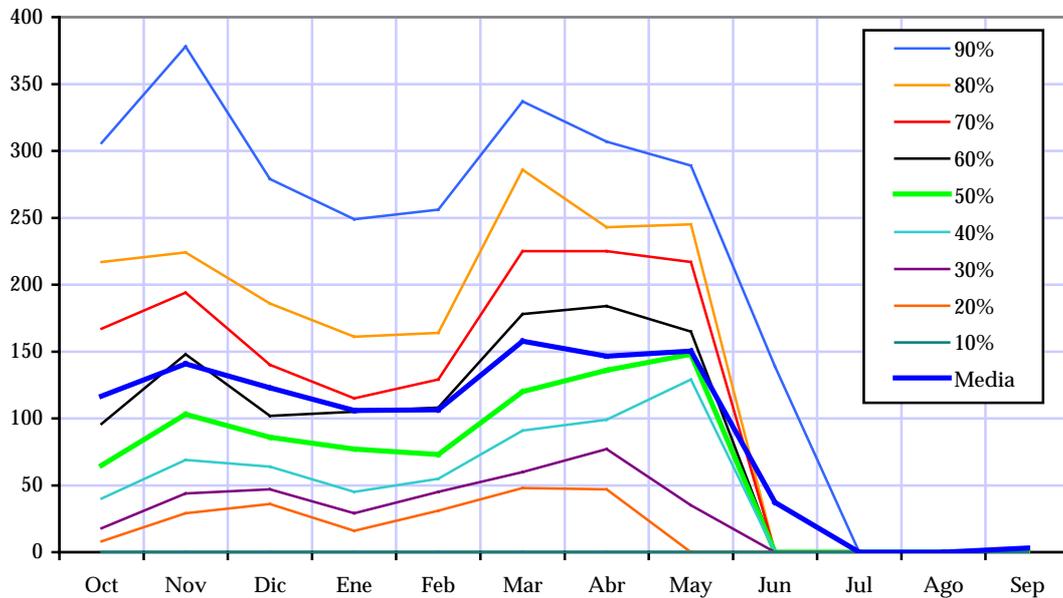


Figura 98. Percentiles y media de los sobrantes mensuales (hm³) en Tarn

Puede verse que los sobrantes son elevados, pero se concentran en el período octubre-mayo (más de 100 hm³/mes de media en este período, con 93 de media global), quedando prácticamente anulados en el período junio-septiembre. El período húmedo es bastante regular, con dos máximos relativos en otoño y primavera (lluvias y deshielos respectivamente).

La consecuencia práctica de este comportamiento hidrológico es que, como sucede en otros casos analizados, la posible derivación de recursos para una transferencia externa debe considerar tal modulación de 8 meses en origen, y prever su máxima cuantía anual en función de la modulación de las necesidades externas y de las posibilidades de regulación de los sobrantes.

Para estudiar este fundamental aspecto evaluaremos, para diferentes valores de la demanda externa y del hipotético almacenamiento disponible, el comportamiento de distintos indicadores de garantía de atención de esta demanda.

Las figuras adjuntas muestran, para el supuesto razonable de una demanda continua en los 8 meses octubre-mayo y nula en junio-septiembre, los valores de la garantía mensual, garantía volumétrica y déficits anuales acumulados para 1, 2 y 10 años, según el almacenamiento disponible, y con una curva para cada total anual demandado. Asimismo, se incluye una representación de estos déficits para capacidades de embalse excepcionalmente grandes, lo que nos permite observar sus propiedades asintóticas.

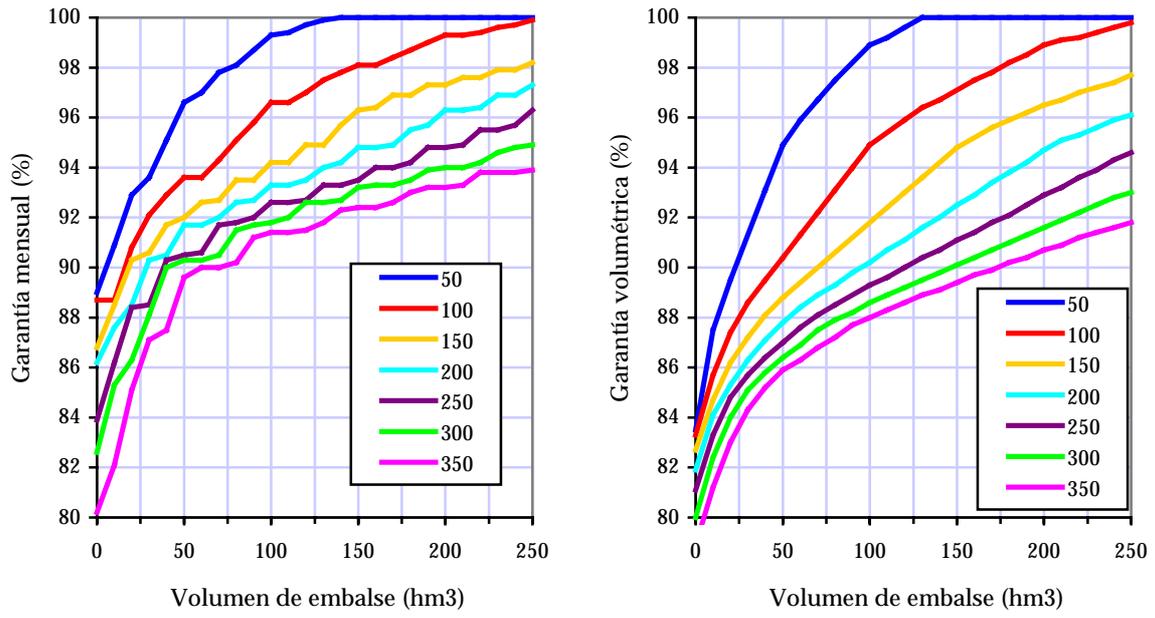


Figura 99. Garantías mensual y volumétrica para demanda continua en 8 meses

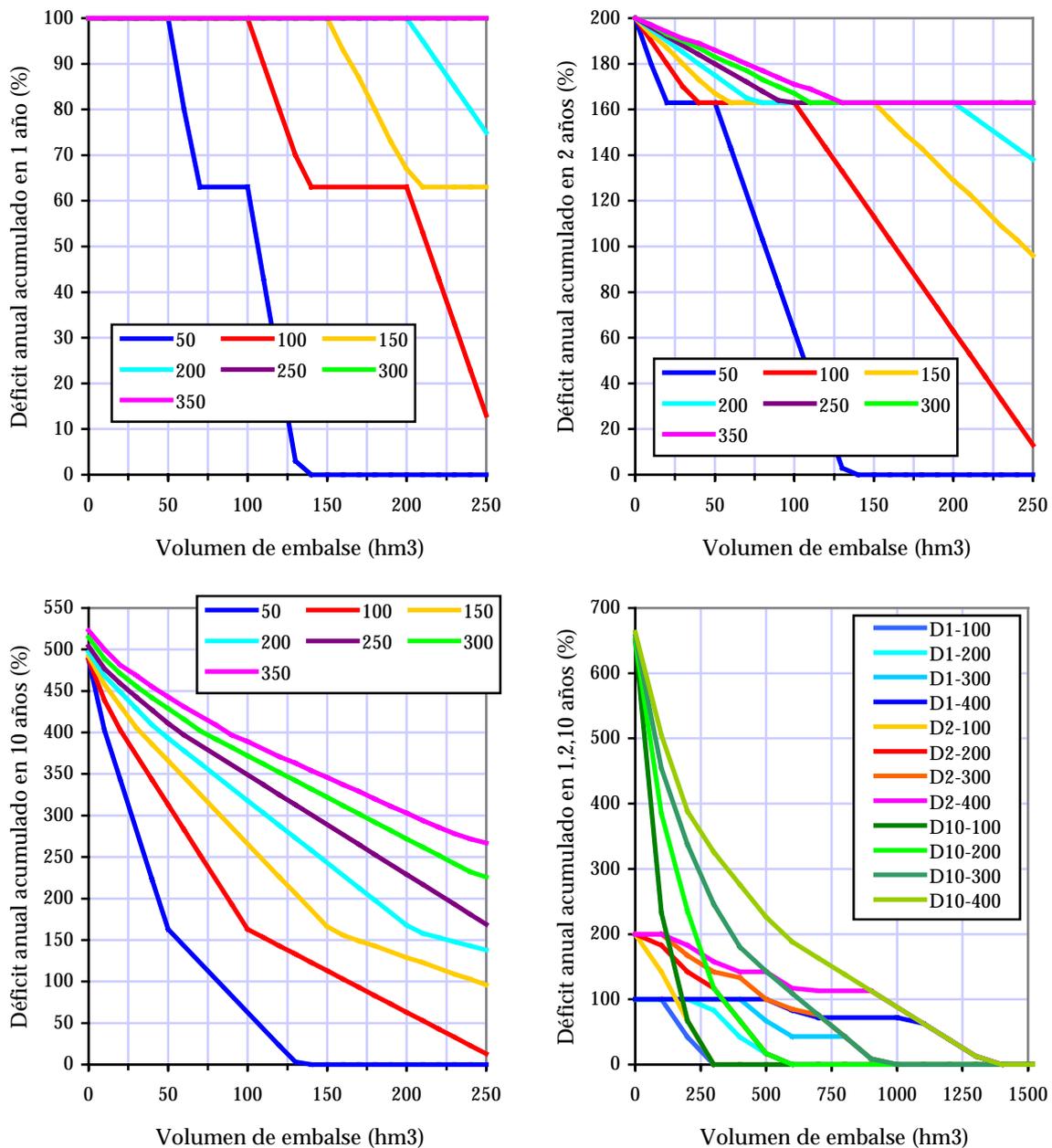


Figura 100. Déficit anuales acumulados para demanda continua en 8 meses

Como se observa en las figuras, si no existe ninguna capacidad de almacenamiento disponible las garantías mensuales son inferiores al 90%, las volumétricas inferiores al 85%, y se producen fallos aparentes de suministro (100, 200, 490% de déficit en 1, 2 y 10 años), lo que supone un resultado deficiente, incluso para demandas reducidas, del orden de $100 \text{ hm}^3/\text{año}$.

En los gráficos de demandas mensual y volumétrica se observa que, si puede disponerse de alguna capacidad de almacenamiento, los rendimientos mejoran mucho hasta volúmenes de embalse del orden de 50 hm^3 , y después continúan mejorando pero a un ritmo mucho más reducido. Ello da una primera idea de la disponibilidad mínima que parece recomendable.

Si se examina ahora el gráfico de déficit máximo en 1 año, se observa que un embalse de 130 hm³ produce mejoras sustanciales para demandas de hasta 100 hm³/año, pero si las demandas superan los 200 hm³/año, la mejora es prácticamente inexistente, incluso para volúmenes de embalse elevados. En la figura conjunta (4^a) puede verse este efecto, comprobando que si la demanda es de 400 hm³/año se requiere un embalse de 500 hm³ para comenzar a mejorar el déficit anual máximo.

Observando el gráfico de déficit máximo acumulado en 2 años, con el gráfico conjunto, el efecto anterior aparece aún con mayor nitidez, pudiendo verse que para demandas superiores a 300 hm³/año, es necesario aproximarse a los 500 hm³ de embalse para conseguir mejoras apreciables.

Si ahora se observa el gráfico de déficit máximo acumulado en 10 años, y el gráfico conjunto, puede verse como el efecto anterior de los umbrales ha desaparecido, y los déficit se van reduciendo de forma gradual a medida que se aumenta la regulación disponible, con independencia de cual sea el nivel de demanda solicitado.

Este comportamiento está revelando, en definitiva, la existencia de un periodo reducido extremadamente crítico, que provoca importantes déficit acumulados en 1 y 2 años, y que requiere, para su superación, de volúmenes de embalse elevados frente a las demandas requeridas. En efecto, volviendo al gráfico de circulación de caudales anuales, puede verse que existen periodos reducidos en los que el sobrante es nulo, aunque en muy abundante en términos medios. Con embalses del orden de 150 hm³, puede mejorarse el déficit bianual para demandas de hasta 350 hm³/año, y con embalse de 200 hm³ se comienza a mejorar el déficit anual para demandas de 200 hm³/año.

En lo expuesto hasta ahora se ha supuesto que la posible transferencia desde el Noguera-Pallaresa tiene el carácter de una demanda más, con un cierto régimen estacional, y determinados criterios de garantía que satisfacer de forma razonable. En estas condiciones, los resultados son los que se han mostrado anteriormente.

Un enfoque diferente a éste es el de considerar una cierta capacidad de almacenamiento y de toma, y derivar los caudales sobrantes que sea posible en cada momento, encomendando la regulación de estas derivaciones a los lugares de tránsito o destino, fuera del sistema. No se plantea, pues, una demanda de transferencia como tal, sino un máximo trasvasable anual y una facilidad de derivación no regulada del sobrante existente hasta alcanzar este máximo, sin ningún compromiso de disponibilidad ni regulación en la zona de origen.

Esta formulación parece, en principio, deseable siempre y cuando tal régimen de explotación sea técnicamente viable en el sistema global, con tránsitos y destinos, y el funcionamiento conjunto obedezca a la racionalidad técnico-económica. Además, esta concepción es concordante con el carácter de las transferencias planteadas, que no corresponden estrictamente a nuevas demandas, sino a complementos, auxilios y consolidaciones de demandas ya previamente existentes.

Para valorar los resultados de esta posibilidad puede verse la figura adjunta, que muestra los volúmenes medios anuales que podrían derivarse de Talarn en función de la capacidad de la toma, y para diferentes supuestos de almacenamiento disponible en origen.

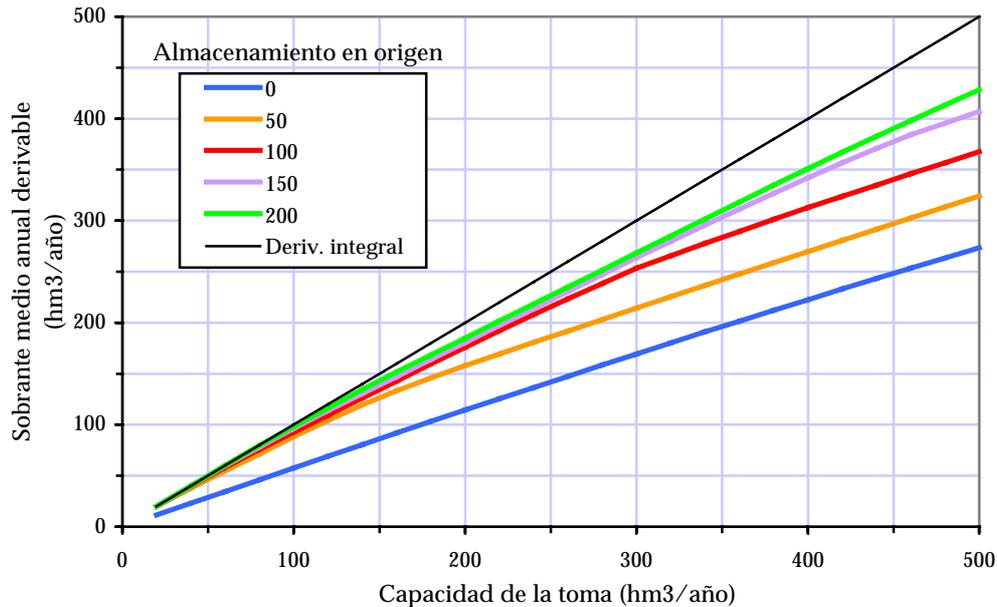


Figura 101. Sobrantes medios anuales derivables según la capacidad de toma y el almacenamiento disponible

Como puede comprobarse, si el almacenamiento disponible es cero, los volúmenes de sobrantes derivables crecen de forma casi lineal con la capacidad de captación, de forma que con una toma de 200 hm³/año podrían derivarse, por término medio, 110 hm³/año de sobrantes, con una toma de 400 hm³/año podrían derivarse unos 220, y con una toma de 500 hm³/año podrían derivarse 270. Ello supone un coeficiente de dimensionamiento de la conducción (capacidad total/volumen transportado) aproximadamente igual a 2.

Además, puede verse con claridad que si se dispone de algún almacenamiento en origen el rendimiento mejora mucho, aproximándose al coeficiente de dimensionamiento 1, que sería el dado por la línea de derivación integral (o de los 45°), representada en la figura, y que supone que la toma estaría funcionando de forma permanente a su plena capacidad.

Así, con un almacenamiento en origen de 150 hm³, es posible derivar 200 hm³ de sobrantes al año con una toma de 220, 300 con toma de 350, y 400 con una toma de 500.

Puede concluirse, en definitiva, que concebida la transferencia no como una demanda ordinaria que haya de satisfacer ciertas garantías mínimas, sino como una derivación estricta de sobrante, cuando lo haya, y que debe ser modulado en tránsito o destino, no existe ninguna dificultad hidrológica para derivar volúmenes medios del orden de los 400 hm³/año con tomas de 500, y disponiendo de almacenamientos en origen del orden de 150 hm³.

No obstante, ponderando este resultado con el antes obtenido, siguiendo una concepción de demanda ordinaria, puede finalmente proponerse, de forma prudencial y conservadora, una derivación media máxima de 250 hm³/año, lo que requiere una captación máxima en origen de hasta 300 hm³/año de capacidad (coeficiente 1.2), y un almacenamiento en origen de unos 100 hm³. Una mayor disponibilidad de

almacenamiento en origen, en principio viable dado que Talamn tiene 205 hm³ de capacidad, podría mejorar estos resultados.

En definitiva, con este criterio, la serie de sobrantes anuales derivables y sus cuantiles mensuales son los mostrados en la figura adjunta.

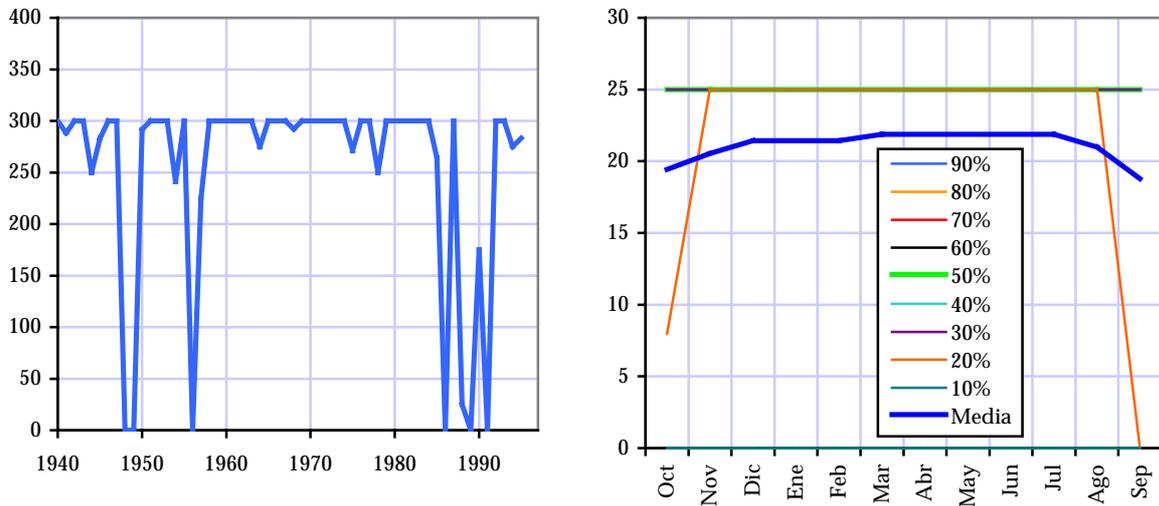


Figura 102. Serie anual y cuantiles mensuales de los sobrantes derivables

Observando la figura puede verse que, siendo el valor medio de 250, la mayoría de los años se derivan cantidades entre 250 y 300 hm³/año, y hay 5 periodos en que no se producen sobrantes.

Los cuantiles mensuales muestran una meseta en el periodo noviembre-agosto (todos los cuantiles salvo el 10% son iguales al máximo), y un periodo desfavorable en octubre y septiembre para los cuantiles menores. Nótese que si el sobrante medio anual derivado es inferior a 250, el número de años sin excedentes disminuirá, siendo posible utilizar los años húmedos para derivar cuantías mayores y liberar desembalses en las cuencas de destino, que se irían recuperando en estos años para utilizar sus reservas en los años secos.

5.5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

En este capítulo se ha procedido al análisis del sistema de la cuenca del Ebro desde el punto de vista de la planificación hidrológica nacional. Para ello, se han diferenciado tres apartados básicos, incidentes en distintos aspectos, y secuencialmente concatenados desde el punto de vista del razonamiento global.

En primer lugar, se ha llevado a cabo un estudio singular sobre los caudales circulantes en el curso bajo del río, con objeto de investigar sus tendencias y explicar su comportamiento.

Una vez dilucidada esta cuestión, se ha procedido al análisis de regulación y balances del sistema hidráulico de la cuenca a largo plazo, obteniendo como resultado una serie de circulaciones futuras que incorporan los efectos de todos los desarrollos posibles previstos en el Plan Hidrológico de la cuenca, y los requerimientos ambientales previstos en dicho Plan.

Finalmente, se ha estudiado la estructura de los caudales circulantes excedentarios con objeto de determinar cual es su disponibilidad efectiva, y cuales serían las cuantías máximas que, razonablemente, podrían ser objeto de transferencias externas.

Las principales conclusiones obtenidas son:

1. La inspección visual de la serie de caudales del río Ebro en Tortosa desde principios de siglo parece revelar un descenso continuado en las aportaciones. Sin embargo, un análisis comparativo de los datos registrados en la estación de Tortosa con los de otras estaciones de la cuenca, como las del Ebro en Castejón y Zaragoza, o las de su afluente el Segre, indica que los datos de la estación de Tortosa podrían tener errores importantes hasta los años 30, y que el registro desde mediados de los 50 puede considerarse, en principio, satisfactorio. Este registro muestra, en efecto, un descenso de caudales que ha de ser investigado.
2. Las series de aportaciones naturales del Ebro estimadas en el Plan de cuenca y en el presente documento, muestran en general una buena concordancia que confirma la calidad y fiabilidad de ambas evaluaciones. De la inspección visual de ambas series y de los análisis estadísticos realizados no se infiere ninguna tendencia temporal, a diferencia de lo que sucedía con la serie de aportaciones registradas en Tortosa. Este resultado era en cualquier caso lo esperable ya que se trata de series de aportaciones en régimen natural, y desautoriza, en principio, la hipótesis de que los recursos naturales están disminuyendo con el tiempo. La aportación media en régimen natural en el periodo 1940/41-1995/96 es del orden de 17.200 hm³/año, y varía desde los 8.000 hm³/año en los años más secos hasta los 30.000 hm³/año en los más húmedos. Esta estimación está encajada con otras evaluaciones previas, que arrojan magnitudes en torno a los 18.000 hm³/año.
3. El balance de las aportaciones en régimen natural con las variaciones en los embalses y las aportaciones medidas en la estación de Tortosa, permite estimar la evolución de los consumos netos agregados que se han producido en la cuenca. Entre 1940 y 1950 el consumo permanece estable ligeramente por encima de 3.000 hm³/año, entre finales de los 50 y principios de los 70 se produce un incremento de consumos muy importante y sostenido, alcanzando los 5.000 hm³/año, y desde esas fechas continúa creciendo a un ritmo mucho menor, hasta valores actuales del orden de 5.500 hm³/año. Esta cifra es coincidente con la demanda consuntiva de la cuenca del Ebro reflejada en el Libro Blanco, 5.400 hm³/año, obtenida a partir de las demandas sectoriales mediante procedimientos absolutamente distintos. Los datos de consumos quedan a su vez explicados con la evolución de la superficie de los regadíos en la cuenca, que muestra la misma tendencia.

4. Como consecuencia de todo lo anterior, puede afirmarse que la merma de los desagües al mar en el Ebro es un hecho cierto que puede ser completamente explicado simplemente por el desarrollo de los regadíos en la cuenca, mientras que las aportaciones naturales no parecen mostrar tendencias decrecientes desde 1940 hasta la actualidad. Este resultado confirma que a partir de las series de aportaciones naturales pueden estimarse los sobrantes para distintas situaciones de demandas e infraestructuras hidráulicas en la cuenca, siendo los sobrantes futuros (en el sentido jurídico del término) los que habría que analizar desde el punto de vista de la existencia de caudales y la viabilidad de las posibles transferencias.
5. Bajo los supuestos básicos de este Plan Hidrológico Nacional la determinación de los posibles recursos sobrantes en cuencas de carácter globalmente excedentario se realiza sobre la base de considerar plenamente desarrolladas las estimaciones de demanda realizadas en su correspondiente Plan Hidrológico para el segundo horizonte de planificación. Los sobrantes así determinados lo serían aún en el caso poco probable de que se desarrollaran todas las posibilidades identificadas en el Plan Hidrológico de la cuenca cedente. Este planteamiento por una parte garantiza que las transferencias a otra cuenca no afectarían a los usos actuales ni al potencial de desarrollo de la cuenca cedente, y por otra, representa un importante margen de seguridad, por cuanto la utilización real de agua en el segundo horizonte del Plan será considerablemente menor, al tratarse de una hipótesis de crecimiento claramente maximalista.
6. Con las premisas anteriores, el esquema del sistema de explotación de la cuenca se ha planteado identificando las diferentes demandas, tanto actuales como futuras, consideradas en el Plan de cuenca y agrupándolas en unidades de demanda significativas a la escala de la planificación nacional, y se ha adoptado un caudal mínimo a circular en desembocadura que se ha introducido como restricción de funcionamiento al sistema global de explotación de recursos. En el esquema de explotación se han incluido los principales embalses previstos en el Plan para dicho horizonte. Sin ellos, las nuevas demandas propias no podrían ser atendidas y se desvirtuaría la situación de referencia para el cálculo de sobrantes, siendo éstos aún mayores que los aquí obtenidos. Ha de aclararse que, como es obvio, la inclusión de dichos embalses en el esquema es un requerimiento de cálculo, y no presupone ningún tipo de pronunciamiento sobre su viabilidad técnica, económica o ambiental, más allá de las consideraciones efectuadas en el propio Plan de cuenca, que es el competente a estos efectos.
7. Con los elementos anteriores se ha construido el sistema básico de explotación general de la cuenca, cuyo análisis muestra que la serie de valores de los caudales circulantes en el tramo final puede cumplir el requisito de superar el caudal mínimo establecido para la desembocadura en $100 \text{ m}^3 / \text{seg}$. Con los criterios descritos pueden calificarse jurídicamente de recursos excedentarios o sobrantes los volúmenes que en dicho tramo final exceden ese caudal, pudiendo contabilizarse unos sobrantes medios anuales del orden de los 5.200 hm^3 .
8. La serie de sobrantes obtenida en este Plan Nacional es similar a la serie de sobrantes del Plan de cuenca, con la diferencia básica de que la serie aquí obtenida incorpora el periodo correspondiente a la sequía de principios de los noventa, que,

es el más crítico del período de análisis y, por tanto, revisa a la baja la cuantía de los sobrantes trasvasables. En síntesis, los flujos futuros en la desembocadura tendrían una cuantía media de unos 8.370 hm³ /año, frente a los 11.700 actuales. Si de estos se deducen los 3.154 correspondientes al caudal mínimo para el delta, resulta disponerse de unos caudales medios futuros de 5.200 hm³/año calificables jurídicamente como sobrantes.

9. Los caudales medios circulantes en el tramo final son muy elevados, pero con gran irregularidad, y concentrados en algunos meses del año, quedando prácticamente reducidos al mínimo ambiental del delta en el periodo junio-septiembre. Los meses que siempre aportan cantidades importantes son los de diciembre a mayo. En este semestre se concentra el 75% de las aportaciones y el 90% de los sobrantes de todo el año. La consecuencia práctica de este severo comportamiento es que la posible derivación de recursos para una transferencia externa debe considerar tal modulación en origen, y prever su máxima cuantía anual en función de la estacionalidad de las necesidades externas y de sus posibilidades de regulación. El régimen de transferencias en 8 meses al año, excluido el periodo junio-septiembre, resulta ser adecuado como modelo para los análisis.
10. Conforme a ello, no existe dificultad hidrológica para derivar del bajo Ebro, de forma sostenida, volúmenes superiores a los 2000 hm³/año, con almacenamientos en origen inferiores a 1000 hm³, y coeficientes de toma de 1,5. De forma conservadora, y como referencia de cálculo, puede suponerse una derivación total máxima de 1200 hm³/año (un 23% de los sobrantes y un 14% del caudal circulante futuro), con una toma en origen de 1600 (coef. 1'3), y un almacenamiento entre 500 y 1000 hm³. Para ello no se requiere de ninguna regulación existente ni futura en la cuenca del Ebro, salvo el empleo parcial de los embalses hidroeléctricos ya existentes en el curso bajo del río, sin afectar a sus usos recreativos, y sin más efectos que una moderada afección a la producción que podría compensarse económicamente por los beneficiarios de las transferencias.
11. No existe dificultad hidrológica para derivar del Noguera-Pallaresa, de forma sostenida, volúmenes superiores a los 400 hm³/año, con almacenamientos en origen inferiores a 150 hm³, y coeficientes de toma de 1,3. De forma conservadora, y como referencia de cálculo, puede suponerse una derivación total máxima de 250 hm³/año, con una toma de 300 (coef. 1'2), y un almacenamiento en origen de 100 hm³.
12. Tal y como se han concebido las transferencias descritas, éstas funcionarían en régimen estricto de toma de sobrantes, por lo que los usuarios del Ebro pueden operar sus sistemas conforme a su propia conveniencia, exactamente igual que si la transferencia no existiese. Ésta captará lo que sea posible en cada momento conforme a los máximos anuales establecidos y respetando los caudales mínimos del delta, sin que deba adoptarse ninguna medida singular de explotación en la cuenca salvo la ya mencionada, relacionada con el régimen de los embalses hidroeléctricos del tramo final.
13. Una posible merma de aportaciones naturales inducida por cambios climáticos, o un incremento de las eficiencias de uso y ahorros en la cuenca, no afectarían apreciablemente a los resultados obtenidos.

6. CUENCA DEL ALTO GUADIANA

6.1. INTRODUCCIÓN

En el Libro Blanco del Agua en España la cuenca alta del Guadiana resultó identificada como un área con importante déficit estructural, y, en consecuencia, susceptible, en principio, de recibir recursos externos procedentes de transferencias intercuenas.

El Plan Hidrológico Guadiana I identifica estos déficit como debidos a una situación de intensa sobreexplotación de las aguas subterráneas, y los evalúa en una cuantía anual del orden de 300 hm³. No obstante, y a diferencia de lo sucedido en otras cuencas, desde la fecha de elaboración del Plan hasta el momento presente se han producido importantes transformaciones en la zona, que han llevado a una reducción de este déficit en una magnitud muy significativa.

La envergadura del cambio es tal que no puede ignorarse por el Plan Hidrológico Nacional, por lo que se ha procedido a realizar un estudio específico sobre la cuestión, enfocado a los objetivos de este Plan, en el que se expone y resume la situación actual, tal y como se muestra seguidamente.

6.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

La cabecera de la cuenca del río Guadiana, representada en la figura adjunta, tiene una superficie de unos 16.000 km², y se encuentra dominada por una llanura central a la que vierte sus aguas la red de drenaje que proviene de la Sierra de Altomira, al Norte, y del Campo de Montiel, al Sur. Una gran parte de esas aportaciones se infiltran en la llanura del acuífero Mancha Occidental, que a su vez descarga en zonas húmedas, entre las que destaca por su importancia el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel, o en puntos singulares, como los Ojos del Guadiana, que se encuentran secos desde principios de los años 80. La unidad Mancha Occidental concentra el 87% de todas las extracciones de todas las unidades hidrogeológicas controladas en el Guadiana desde 1980.

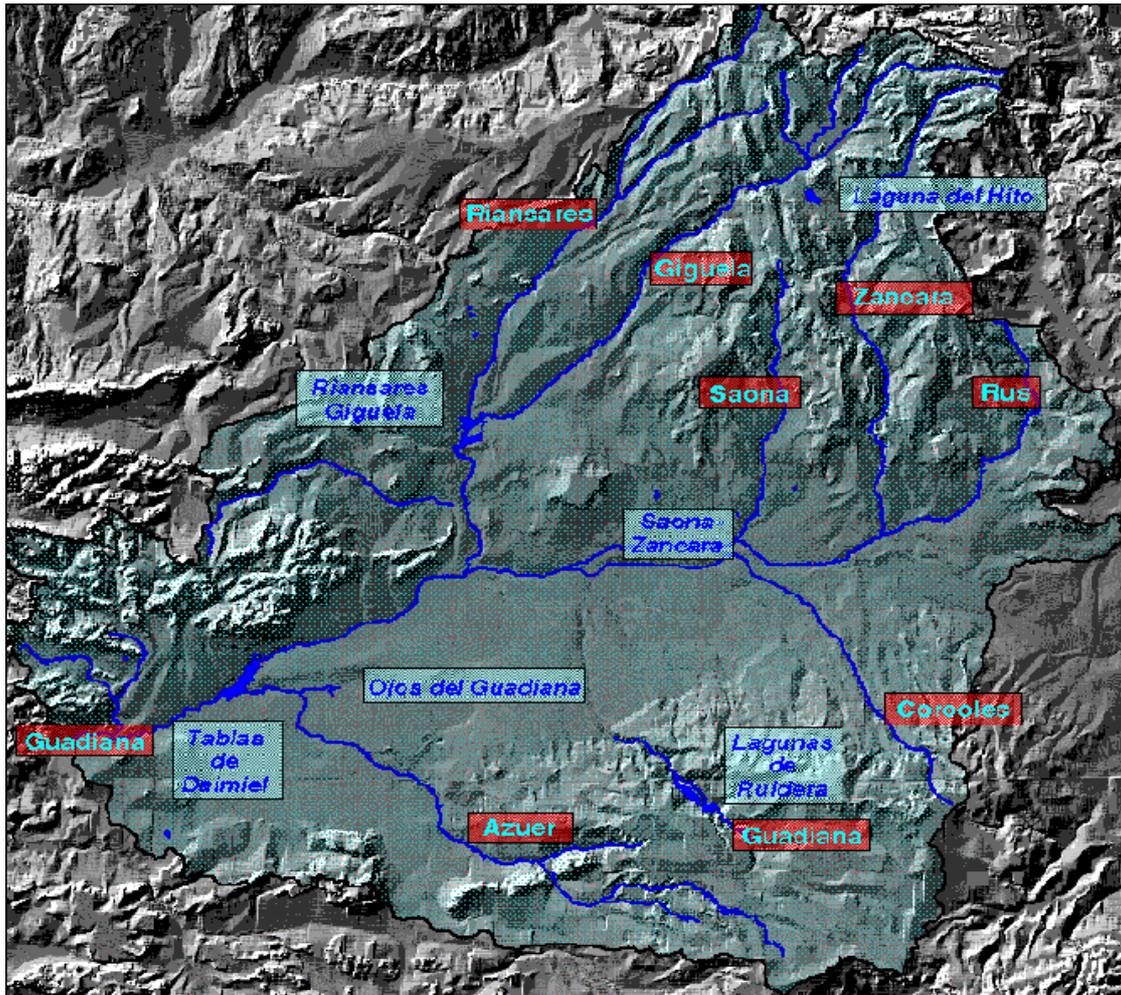


Figura 103. Principales cursos fluviales y humedales de la cabecera del Guadiana

La siguiente figura muestra este acuífero Mancha Occidental, junto con las otras unidades hidrogeológicas principales en la zona de cabecera. Examinando conjuntamente esta figura y la anterior puede verse que el acuífero se extiende por la zona de planicie, sin relieves apreciables, entre en Záncara y el Azuer, y actúa como un sumidero geológico del río Guadiana, que desaparece recargándolo.

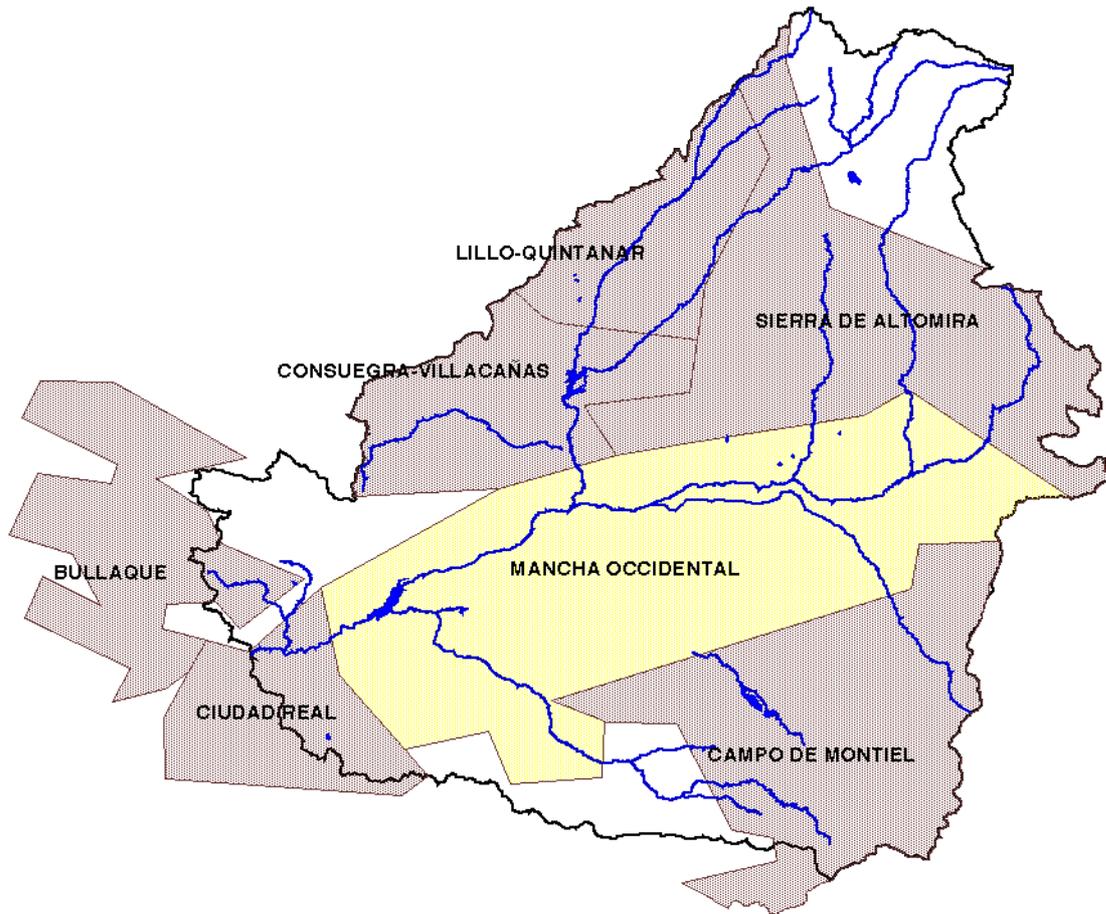


Figura 104. Principales unidades hidrogeológicas en la cabecera del Guadiana

En la llanura manchega, históricamente encharcadiza y húmeda, ha existido tradicionalmente un aprovechamiento de las aguas subterráneas para usos agrícolas. Se estima que en 1960 la superficie en regadío era de unas 20.000 ha, para las que se extraía entre unos 50 hm³ y 100 hm³ anuales de aguas subterráneas mediante norias (sólo Daimiel podía contar con cuatro o cinco mil). A lo largo de esa misma década, la región manchega fue objeto de planes de desarrollo agrícola, colonización, encauzamiento y saneamiento de zonas pantanosas que, en la cabecera del Guadiana, se desarrollaron principalmente sobre los ríos Zán cara, Gígüela y Guadiana, y que dieron origen al proceso de transformaciones producidas hasta hoy. En 1959 se concluyó la presa de Peñarroya, de 47 hm³ de capacidad, que contribuye desde entonces a la regulación de recursos superficiales en la cuenca, y que fue construida para el abastecimiento y regadío de unas 9.000 ha. alrededor de Tomelloso y Argamasilla de Alba.

Es desde los años 70 hasta la actualidad cuando se desarrolla espectacularmente el regadío, con aguas subterráneas bombeadas. La superficie en riego se incrementa desde 30.000 ha en 1974 a unas 125.000 ha en 1987. A finales de los 80 el consumo de agua es de casi 600 hm³ anuales, cifra que supera ampliamente el recurso renovable del acuífero de la Mancha Occidental y del conjunto de acuíferos de la cabecera del Guadiana. Estas extracciones producen el descenso de los niveles freáticos entre 20 y 30

m y la afección, y en algunos casos incluso desaparición, de humedales y zonas de interés medio ambiental.

Para paliar estos efectos, las distintas administraciones involucradas han adoptado una serie de medidas entre las que cabe mencionar las declaraciones de sobreexplotación, el conjunto de medidas agrupadas bajo el conocido como Plan de Regeneración Hídrica de las Tablas de Daimiel y los programas de compensación de rentas.

La literatura existente sobre los problemas de la zona y las actuaciones emprendidas es muy abundante. Algunas referencias de interés son las de Serna y Gaviria (1995), López Sanz (1998), Aguas de Alcázar EMSA (1999), o los muy numerosos trabajos realizados por la Confederación Hidrográfica del Guadiana. .

6.3. LOS RECURSOS HÍDRICOS

Los estudios hidrológicos e hidrogeológicos realizados en los últimos años en esta zona son muy numerosos. Entre ellos cabe mencionar, por lo reciente del mismo y por el número de organismos y equipos de trabajo, nacionales e internacionales, participantes, el proyecto de investigación GRAPES , financiado por la Comisión Europea. Para la evaluación de los recursos de esta zona se utilizó el mismo modelo hidrológico que en el Libro Blanco del Agua en España. En el presente análisis se muestran muchos de los datos y resultados fruto de los trabajos realizados en el marco de ese proyecto.

El valor medio de la precipitación anual en la cuenca es de unos 440 mm y oscila entre 200 mm en los años más secos y más de 600 en los más húmedos. En cuanto a la distribución espacial de la precipitación, los valores más altos se registran en el Campo de Montiel y en la Sierra de Altomira.

En la siguiente figura se muestran los caudales simulados por el modelo hidrológico y los caudales registrados en estaciones de aforo de cabecera en un periodo donde las alteraciones antrópicas no eran significativas (1940/41 a 1970/71).

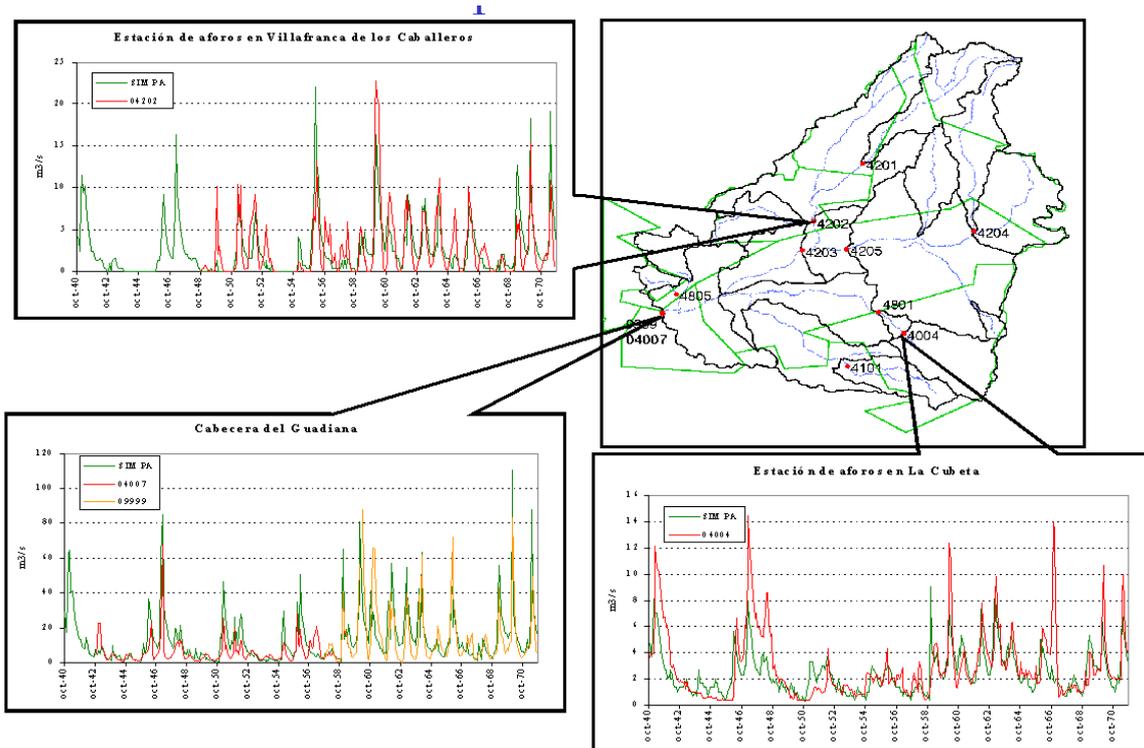


Figura 105. Hidrogramas observados y simulados en puntos seleccionados de la cuenca (periodo 1940/41-1970/71)

La generación de escorrentía, cuya distribución se muestra en la figura, alcanza sus mayores valores en las zonas antes mencionadas de Sierra de Altomira y Campo de Montiel. Una gran parte de estos recursos se infiltra, como dijimos, al alcanzar el llano en el acuífero de la Mancha Occidental.

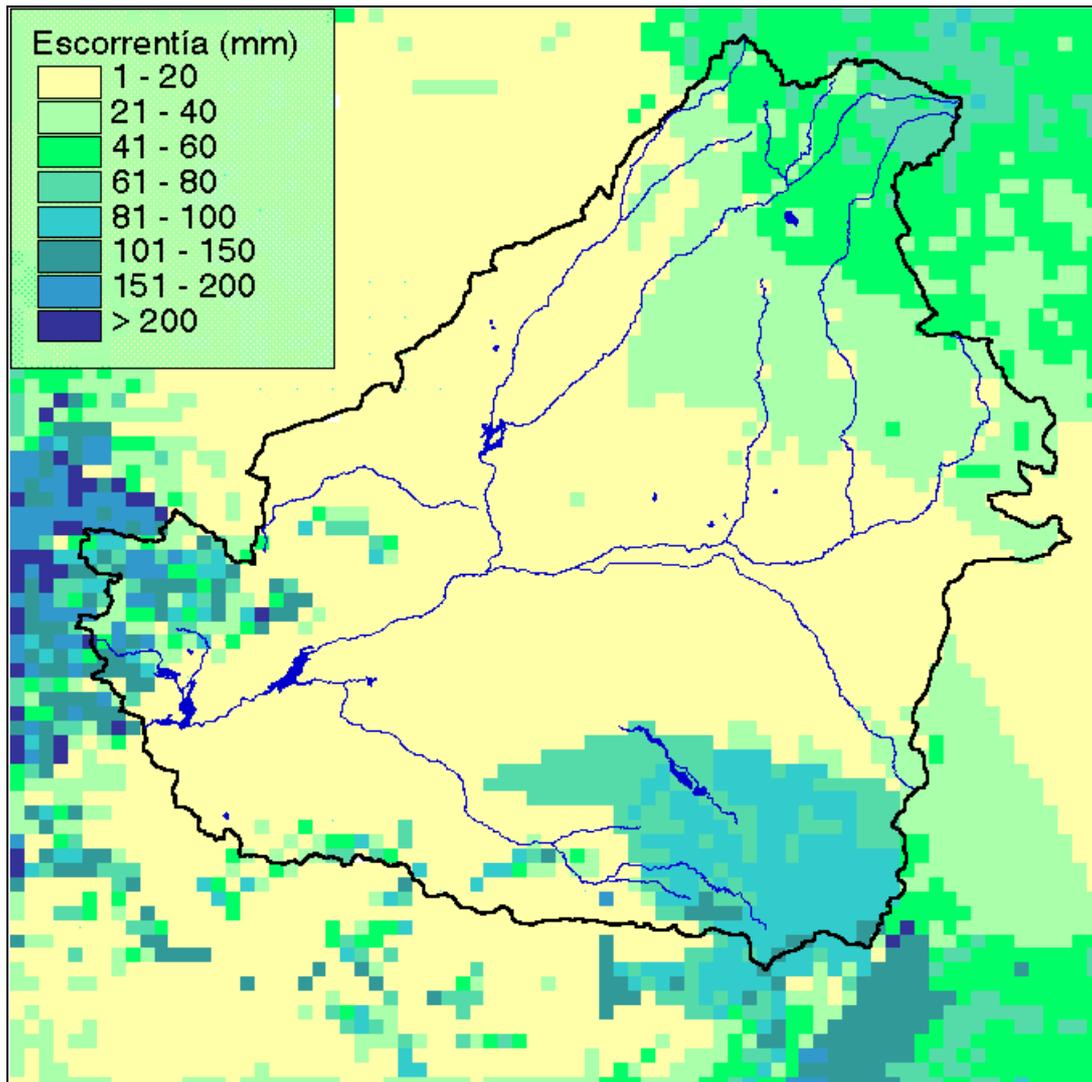


Figura 106. Escorrentía media anual simulada en régimen natural (período 1940/41-1996/97)

La aportación media anual en régimen natural al embalse del Vicario, punto de cierre de la cuenca, es del orden de 400 hm^3 , de los cuales unos 275 hm^3 son de origen subterráneo. Las aportaciones presentan una gran variabilidad interanual, oscilando desde menos de $100 \text{ hm}^3/\text{año}$ en los años secos a más de 1.000 en los húmedos, tal y como se aprecia en la figura.

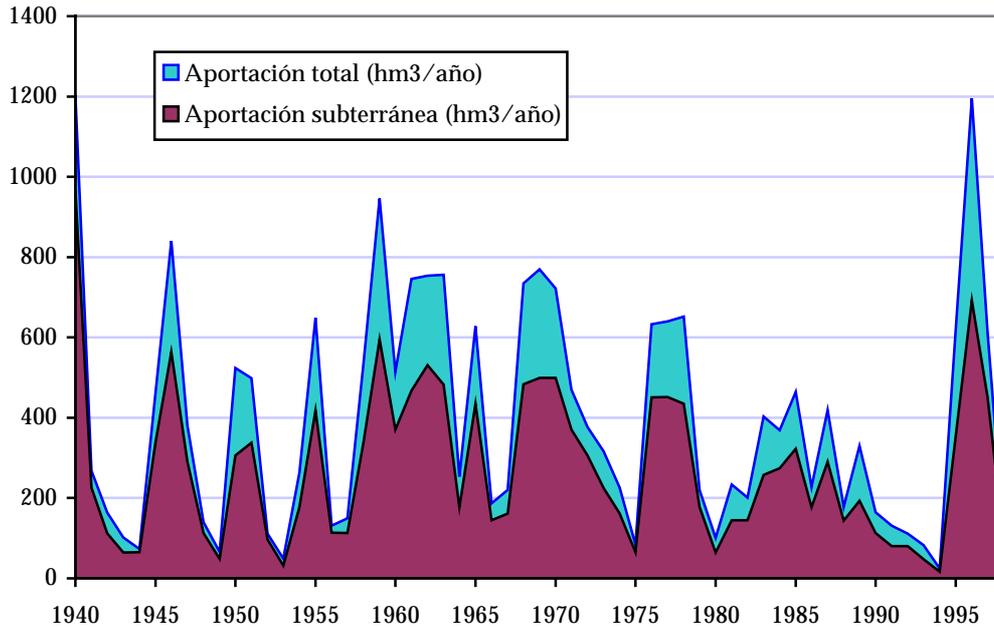


Figura 107. Aportación total y subterránea en régimen natural en el embalse del Vicario durante el periodo 1940/41-1996/97

6.4. LAS DEMANDAS HÍDRICAS EN EL ACUÍFERO MANCHA OCCIDENTAL

6.4.1. REGADÍOS

El regadío es, con gran diferencia, el principal consumidor de agua en la cabecera de la cuenca del Guadiana, y para ello utiliza, preferentemente, las aguas subterráneas de los acuíferos de la cuenca, entre los que destaca el de la Mancha Occidental. Los riegos con aguas de este acuífero son los principales consumidores de agua en la cuenca alta, y su evolución es la principal variable controladora de los balances hídricos del área.

La figura adjunta muestra la distribución de los riegos y las poblaciones en el ámbito territorial del Guadiana, y permite apreciar la existencia de dos tipologías básicas: los riegos de cabecera, con una mayor diseminación fruto del origen subterráneo de sus recursos hídricos, y los riegos del curso medio y bajo, en manchas más densas, atendidos con aguas superficiales.

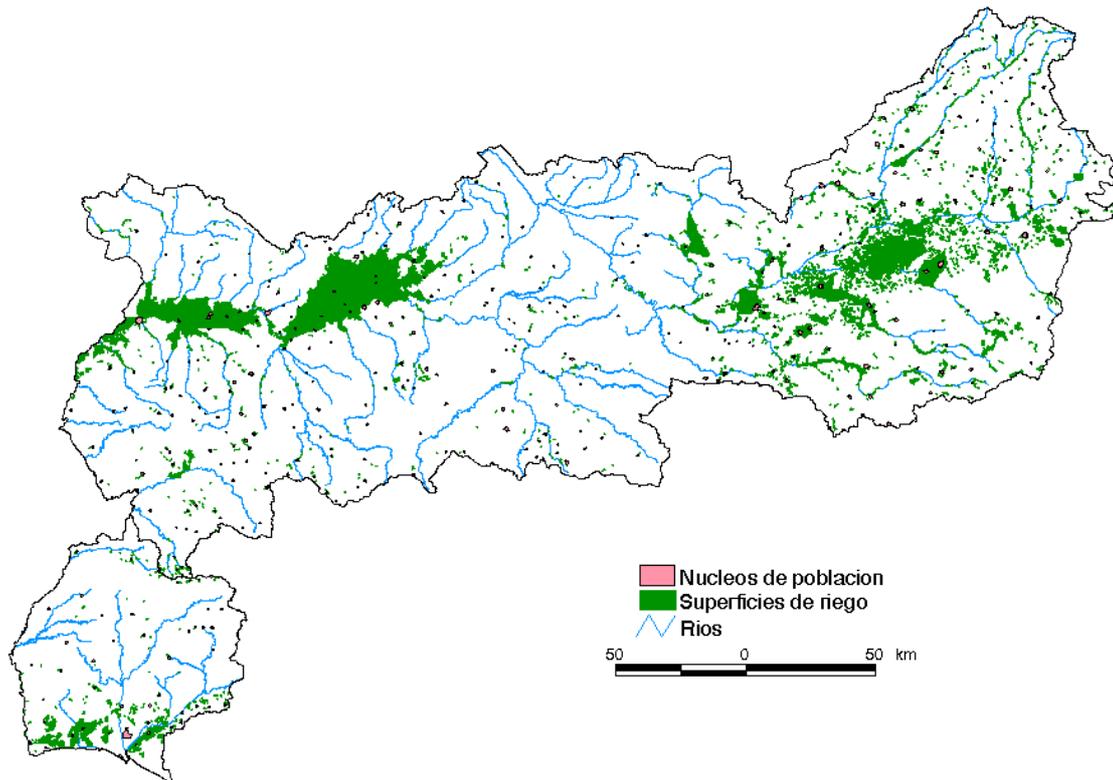


Figura 108. Mapa de situación de poblaciones y regadíos

Centrándonos en el área de cabecera, la siguiente figura muestra con mayor detalle las superficies regadas en la cuenca alta del Guadiana según los diferentes orígenes del recurso aplicado (DGOH, 1987).

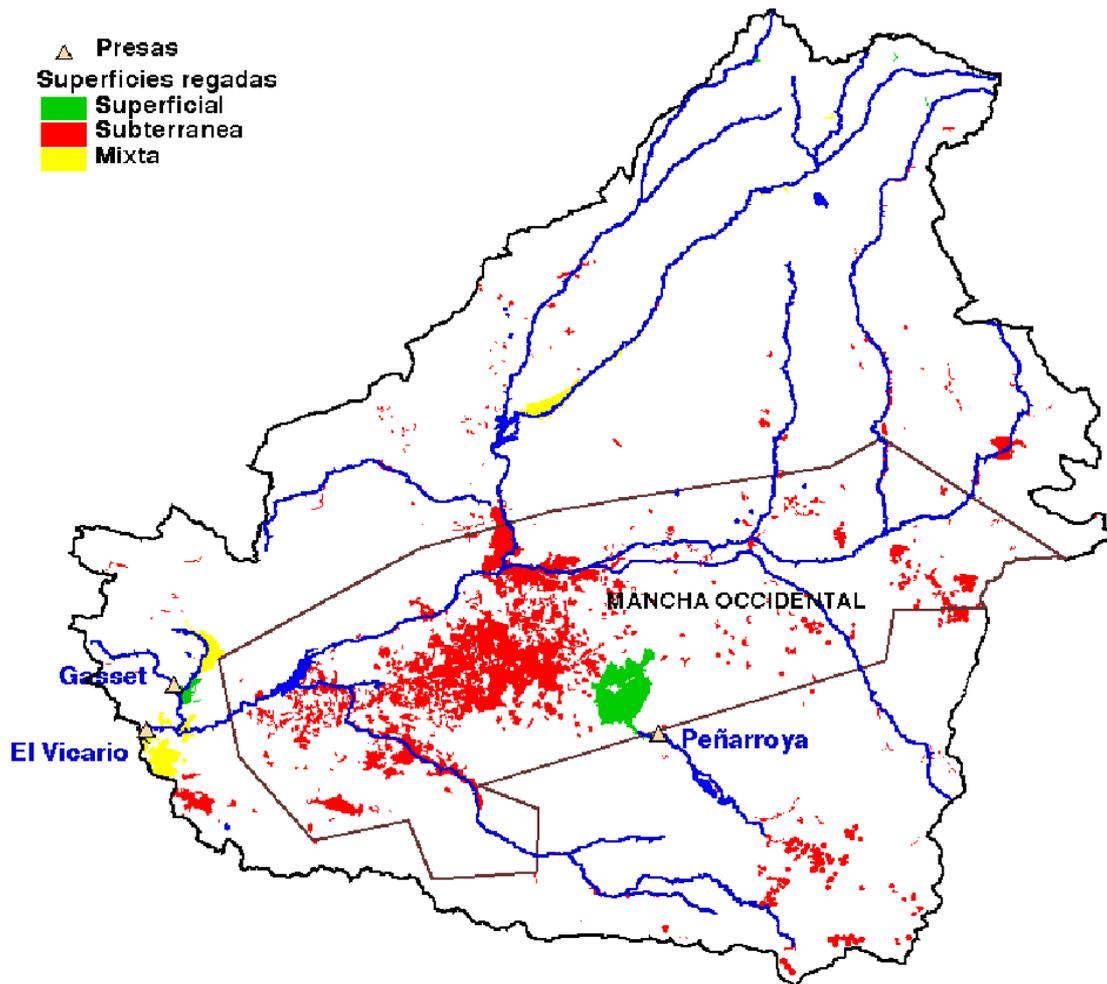


Figura 109. Superficies regadas y origen del agua en la cabecera del Guadiana

En cuanto a su desarrollo temporal, la figura adjunta muestra la evolución de la superficie de regadío en el acuífero de la Mancha Occidental desde 1974 hasta 1996 (CHG, 1997), observándose que en los 15 años álgidos -entre 1974 y 1988- esta superficie se ha multiplicado por 5. Por otra parte, y como es obvio, no toda la superficie de regadío se riega todos los años, ni los cultivos son los mismos, por lo que para inferir demandas hídricas es necesario caracterizar también tales variables.

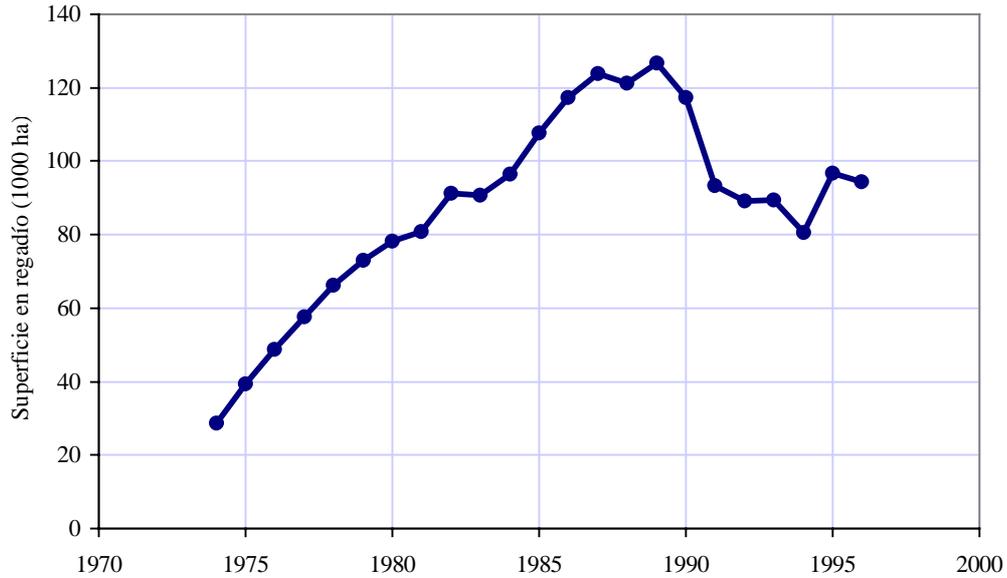


Figura 110. Evolución de superficies regadas en el acuífero Mancha Occidental

En efecto, siendo muy importante la evolución de la superficie de regadío, también lo ha sido la del tipo de cultivo y de su consumo unitario. En la figura siguiente, elaborada con datos de la Confederación Hidrográfica del Guadiana (1997) se muestra la evolución, en términos porcentuales, de la superficie dedicada a cada uno de los principales cultivos existentes en la zona.

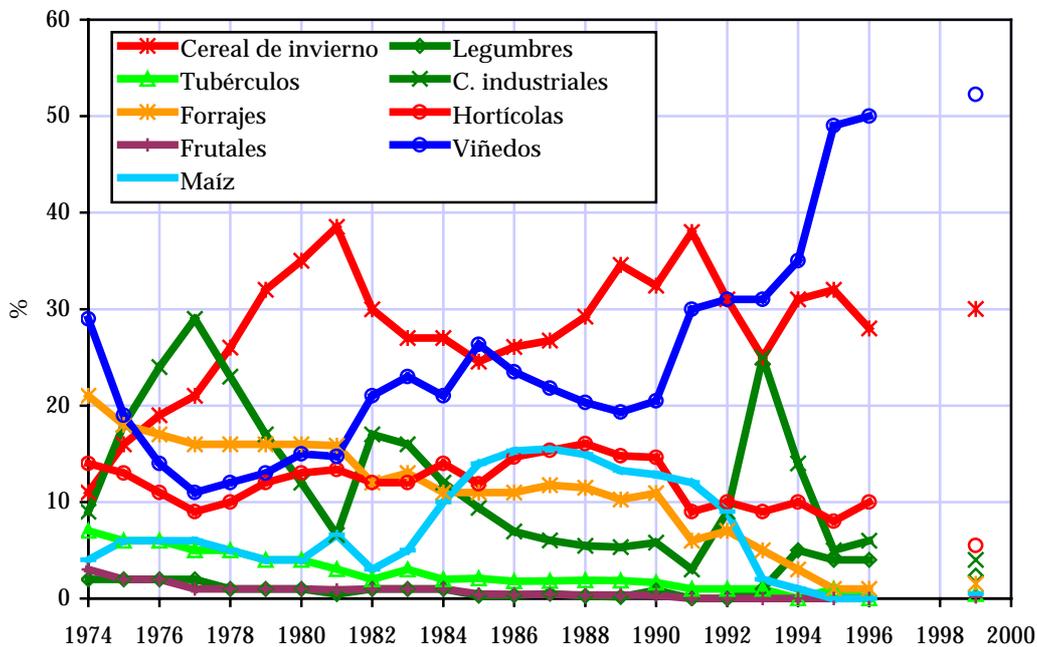


Figura 111. Distribución porcentual de la superficie ocupada por los diferentes cultivos en la Mancha Occidental

Se observa que existe un predominio de los cereales y viñedos que se mantiene a lo largo del periodo 1974 a 1996, y se confirma con los datos de 1999. El crecimiento porcentual de los viñedos en los últimos años ha sido espectacular, pasando de unas 28.000 ha en 1993 hasta algo más de 47.000 ha en 1995 y más de 50.000 en 1999, con la positiva repercusión que ello tiene en cuanto a necesidades de agua, al ser un cultivo poco consumidor. Con menor variabilidad se comportan los cereales, oscilando sobre un porcentaje de ocupación de un 30% aproximadamente, aunque con una ligera tendencia a la baja. Se deben destacar los descensos continuados que sufren desde 1974 forrajes y tubérculos, desde más de 13.000 ha y 2.000 ha respectivamente en 1987, a menos de 1.000, en ambos casos, en 1996. Al ser los forrajes unos cultivos que consumen mucha agua, su descenso porcentual tiene también efectos favorables en lo que se refiere a las necesidades de agua.

Los sistemas de riego empleados, por orden de uso en la Mancha Occidental, son los siguientes (CHG, 1997): aspersión (62,4%), goteo (28,7%), pivote (8,7%) e inundación (0,2%). En la tabla adjunta se muestra la distribución de los sistemas de riego empleados en cada cultivo.

Sistema de riego	Cereal invierno	Maíz	Legumbres	Tubérculos	Cultivos Industriales	Forrajes	Hortícolas	Frutales	Viñedos	TOTAL
Goteo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,5	0,6	70,9	100
Pivote	31,1	31,1	5,5	0,0	23,8	0,0	8,4	0,0	0,0	100
Inundación	32,0	32,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	0,0	30,2	100
Aspersión	21,4	21,4	6,9	2,4	5,7	1,4	4,2	0,0	36,6	100

Tabla 37. Distribución de sistemas de riego empleados en cada cultivo

Cada uno de estos sistemas de riego tiene asociada una serie de pérdidas que se valoran en función de la eficiencia global del sistema. Esta eficiencia global es el producto de las eficiencias de conducción, distribución y aplicación. En la tabla adjunta se muestran esas eficiencias para cada uno de los sistemas de riesgo mencionados.

Eficiencia	Conducción	Distribución	Aplicación	Global
Goteo	1,00	0,85	0,90	0,77
Pivote	1,00	0,85	0,88	0,75
Inundación	0,80	0,80	0,75	0,48
Aspersión	1,00	0,85	0,75	0,64

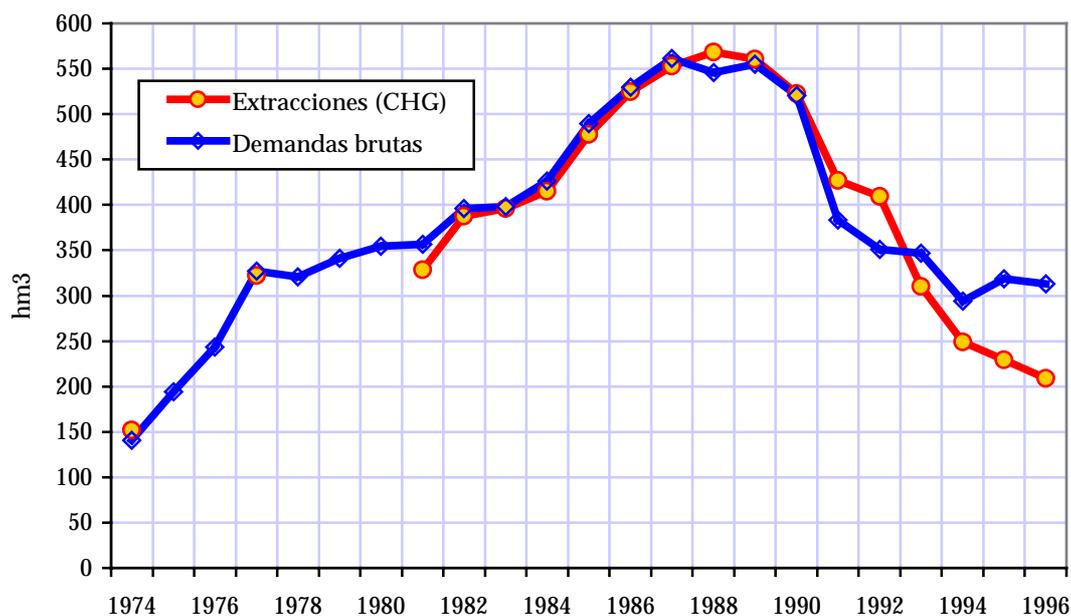
Tabla 38. Eficiencia de los sistemas de riego

En la tabla siguiente se muestran, para los distintos cultivos contemplados, los requerimientos unitarios mensuales (mm) y anuales netos ($m^3/ha/año$), las eficiencias globales y, finalmente, las demandas brutas unitarias resultantes ($m^3/ha/año$).

Cultivo	E F M A M J L A S O N D												Demanda neta m ³ /ha/a	Eficiencia Global	Demanda bruta m ³ /ha/a
	E	F	M	A	M	J	L	A	S	O	N	D			
Cereales de invierno	4,9	10,2	39,5	54,2	70,4	22,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,5	2.034	0,66	3.098
Legumbres	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	86,6	162,1	142,4	25,9	0,0	0,0	0,0	4.202	0,65	6.454
Tubérculos	0,0	0,0	0,0	0,0	14,6	83,1	47,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1.453	0,64	2.270
Cultivos industriales	0,0	0,0	0,8	0,3	21,6	127,1	162,1	148,3	72,4	0,0	0,0	0,0	5.326	0,68	7.824
Forrajes	0,0	0,0	0,0	0,0	40,5	76,1	113,1	136,7	127,3	75,8	27,0	0,0	5.965	0,64	9.320
Hortícolas	0,0	0,0	1,1	1,5	58,4	122,2	95,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2.782	0,74	3.768
Frutales	0,0	0,0	0,0	0,0	24,0	117,1	138,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2.793	0,77	3.627
Viñedos	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	20,3	60,1	60,0	30,5	7,0	0,0	0,0	1.795	0,70	2.564
Maíz	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	86,6	162,1	142,4	25,9	0,0	0,0	0,0	4.202	0,66	6.400

Tabla 39. Demandas del regadío en el acuífero de la Mancha Occidental

A partir de las superficies de riego ocupadas por cada cultivo y de sus demandas brutas unitarias se obtienen las demandas brutas totales, que representan una estimación robusta de las extracciones en el acuífero de la Mancha Occidental. Estos datos se ofrecen en la figura adjunta junto con la estimación de extracciones de la CHG, observándose, en efecto, un buen acuerdo entre ambos.

Figura 112. Evolución de la demanda bruta anual (hm³/año) en el acuífero de la Mancha Occidental

Como puede verse, tras un máximo en el periodo 1987-89, en que se alcanzaron casi 600 hm³/año, la demanda bruta actual ha disminuido hasta cuantías entre 200 y 300 hm³/año.

6.4.2. ABASTECIMIENTOS

El abastecimiento de los núcleos de la Cuenca Alta del Guadiana se viene resolviendo en la actualidad, fundamentalmente, mediante extracciones de aguas subterráneas. Cabe señalar, sin embargo, el abastecimiento de Ciudad Real desde el embalse de

Gasset, así como la posibilidad de suministrar a éste desde el embalse de Torre de Abraham, en el río Bullaque, materializada como consecuencia de la sequía de principios de los noventa.

Por otra parte, el Real Decreto Ley 8/1995 de 4 de agosto por el que se adoptan medidas urgentes de mejora del aprovechamiento del trasvase Tajo-Segura, autorizó en su artículo primero la derivación de recursos hídricos desde este acueducto para el abastecimiento de la Cuenca Alta del Guadiana. El volumen medio anual derivado, computado sobre un período máximo de diez años, se limita a 50 hm³, y dentro de este volumen se incluyen las dotaciones previstas para el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel dispuestas 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 prorrogan sus efectos. Dichas dotaciones pasan a tener carácter permanente.

Todo ello supone, en definitiva, la habilitación legal para un trasvase del Tajo al Guadiana, además del ya existente anteriormente para el Segura.

Las obras necesarias para materializar todo lo anterior son declaradas de interés general en el artículo cuarto, indicando además que deberán someterse al procedimiento de evaluación de impacto ambiental.

Por último, en el artículo quinto se establece que los beneficiarios de dichas infraestructuras sufragarán los costes de amortización, explotación y conservación correspondientes.

Basándose en todo lo anterior, el 12 de enero de 2000 fue firmado el *Protocolo general de colaboración entre el Ministerio de Medio Ambiente, la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y la Confederación Hidrográfica del Guadiana para el desarrollo de determinadas obras hidráulicas de interés general en la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha*. El objetivo de este protocolo es acelerar en lo posible las actuaciones tendentes a obtener las máximas garantías en el suministro de agua a la Llanura Manchega, permitiendo la colaboración institucional y armonizando el impulso inversor de las Administraciones participantes.

Para ello se acordó llevar a cabo la derivación de recursos del Tajo mediante el acueducto Tajo-Segura a la cuenca del Guadiana en el período 2000-2006. Dicha derivación comprende las siguientes actuaciones:

- Conducción de agua desde el ATS para incorporar recursos a la Llanura Manchega
- Sistemas de potabilización primarios
- Ramales de distribución a partir de la conducción de agua que desde el ATS incorpora recursos a la Llanura Manchega
- Abastecimiento a Ciudad Real y Puertollano (tramos Puerto Lápice-Casas de Bolote y Ciudad Real-Puertollano)

Los núcleos relacionados en el Protocolo, a los que se prestará servicio, distribuidos por Cuenca, Albacete y Ciudad Real, son los siguientes: Minaya y Villarrobledo, Alcázar de San Juan, Aldea del Rey, Almagro, Almodóvar del Campo, Arenas de San Juan, Argamasilla de Alba, Argamasilla de Calatrava, Ballesteros de Calatrava, Bolaños de

Calatrava, Calzada de Calatrava, Campo de Criptana, Cañada de Calatrava, Caracuel de Calatrava, Carrión de Calatrava, Castellar de Santiago, Ciudad Real, Corral de Calatrava, Daimiel, Fernáncaballero, Fuente el Fresno, Granátula de Calatrava, Herencia, La Solana, Las Labores, Malagón, Manzanares, Membrilla, Miguelturra, Moral de Calatrava, Pedro Muñoz, Pozuelo de Calatrava, Puerto Lápice, Puertollano, Poblete, San Carlos del Valle, Santa Cruz de Mudela, Socuéllamos, Tomelloso, Torralba de Calatrava, Torrenueva, Valdepeñas, Valenzuela de Calatrava, Villar del Pozo, Villarubia de los Ojos, Villarta de San Juan, Belmonte, El Pedernoso, El Provencio, Horcajo de Santiago, Las Mesas, Las Pedroñeras, Los Hinojosos, Mota del Cuervo, Pozorrubio, San Clemente y Villamayor de Santiago. Buena parte de ellos se abastecen actualmente de aguas subterráneas. Dentro de esta lista se encuentran los núcleos que integran las mancomunidades de Gasset, Peñarroya, Valdepeñas y Calatrava.

Se estableció que la financiación de las obras se distribuiría en un 85% a cargo de la Administración General del Estado, mediante aportaciones procedentes del Fondo de Cohesión de la Unión Europea, y el 15% restante a cargo de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

Actualmente el proyecto se encuentra en fase de redacción y evaluación de impacto ambiental. De acometerse finalmente, el abastecimiento de las poblaciones de la Cuenca Alta del Guadiana, incluyendo Ciudad Real, quedará resuelto con garantía suficiente tanto en cantidad como en calidad en un horizonte no superior a seis años, sin necesidad de recurrir a una nueva conducción de trasvase intercuenca, y liberando parcialmente las extracciones de aguas subterráneas del acuífero.

6.5. EL IMPACTO DE LA EXPLOTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y LAS MEDIDAS EMPRENDIDAS

El intenso uso de las aguas subterráneas del acuífero de la Mancha Occidental, por encima de sus recursos renovables, ha contribuido a un importante desarrollo agrícola, pero también al descenso de los niveles piezométricos de los acuíferos de la cuenca.

Como ilustración de este fenómeno, la figura adjunta muestra la evolución de niveles en algunos de piezómetros representativos de la zona, pudiendo apreciarse una tendencia a la baja sostenida en las últimas décadas, junto con un efecto de recuperación a partir del año 1996-97.

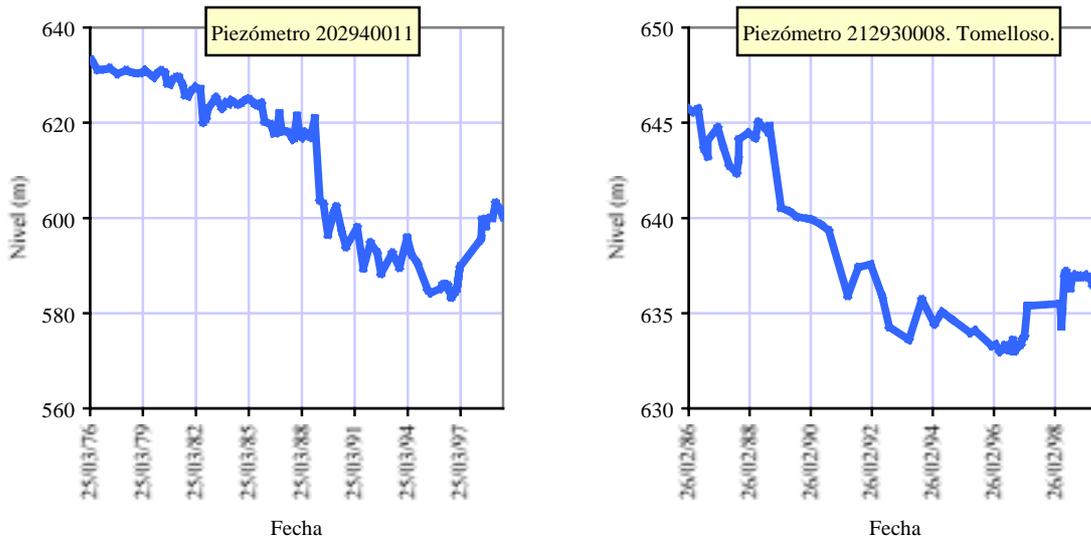


Figura 113. Evolución de niveles piezométricos

Estos descensos generalizados han afectado y deteriorado determinadas formaciones húmedas de interés medioambiental, de cuya importancia da muestra el hecho de que aproximadamente 100 fueron declaradas Reserva de la Biosfera por UNESCO en 1981.

Un ejemplo muy conocido de esta afección es la situación de las Tablas de Daimiel, declaradas Parque Nacional en 1973, ampliadas en 1980, y adscritas al convenio de humedales de importancia internacional Ramsar desde 1982. Este humedal, que a mediados de la década de los 60 mantenía inundadas unas 6.000 ha, ha visto cómo se reducía su superficie a unos cientos de ha en las épocas más críticas de la sequía de principios de los 90. Otras formaciones, como los conocidos manantiales de los Ojos del Guadiana dejaron de drenar las aguas del acuífero hace años y actualmente se encuentran secos. También existen otros muchos humedales, menos conocidos, pero de gran interés ambiental, que han sufrido las consecuencias de las extracciones del acuífero.

Para remediar estas situaciones, en los últimos años se han adoptado distintas medidas entre la que cabe destacar:

- El Plan de Regeneración Hídrica de las Tablas de Daimiel. Conjunto de medidas iniciadas mediante acuerdo de Consejo de Ministros en 1984 con el objetivo de que los entonces Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, y Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación iniciasen los estudios y actuaciones que permitieran el mantenimiento de los niveles en las Tablas de Daimiel.

Las principales actuaciones que se han llevado a cabo a través de esta figura han sido la limpieza de canales que impedían la formación de zonas pantanosas, la construcción de la presa de Puente Navarro en 1985 para retener aguas en la zona suroeste del Parque, la construcción de la batería de sondeos que bombean agua al acuífero para simular el funcionamiento del Parque Nacional y encharcarlo estacionalmente, y la derivación de caudales del Trasvase Tajo-Segura (Ley 13/1987 de 17 de julio que regulaba la

derivación de caudales durante los tres años siguientes a los de su promulgación, Real Decreto Ley 6/1990 de 28 de diciembre que amplía por tres años más el desarrollo de la anterior Ley y Real Decreto Ley 5/1993 por el que se aprueba una nueva prorroga de tres años más y un trasvase de 10 hm³ para el año de su promulgación).

- Las declaraciones de sobreexplotación de los acuíferos de la Mancha Occidental y Campos de Montiel, que permiten al Organismo de Cuenca, Confederación Hidrográfica del Guadiana, la ordenación de las extracciones y la elaboración de los regímenes de explotación que desde 1991 se desarrollan con seguimiento anual:
 1. El 4 de febrero de 1987 la Mancha Occidental fue declarado provisionalmente sobreexplotado y el 15 de diciembre de 1994 fue declarado definitivamente sobreexplotado.
 2. El 26 de abril de 1988 el acuífero de Campo de Montiel fue declarado provisionalmente sobreexplotado y el 12 de junio de 1989, definitivamente sobreexplotado.
- El Plan de Compensación de Rentas Agrarias en las unidades hidrogeológicas Mancha Occidental y Campos de Montiel (1992), estableciendo un régimen de ayudas a través de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y, principalmente, la Comunidad Económica Europea CEE, para aquellos agricultores que introdujeran medidas compatibles con la conservación de humedales, ahorrando agua de riego o cambiando los cultivos por otros de menor consumo.

Como resultado de las medidas anteriores, se ha producido un cambio hacia cultivos menos consumidores de agua, con efectos beneficiosos para la recuperación del acuífero. En la figura adjunta se muestra la evolución temporal de la demanda de una hectárea-tipo de regadío, representativa de los cultivos existentes con sus porcentajes correspondientes, y referida a la situación de 1974 (índice 100). Puede verse que desde 1990 hasta 1996 este descenso se puede cifrar en un 20%, y en los últimos años ha continuado descendiendo hasta alcanzar casi la mitad del valor de referencia.

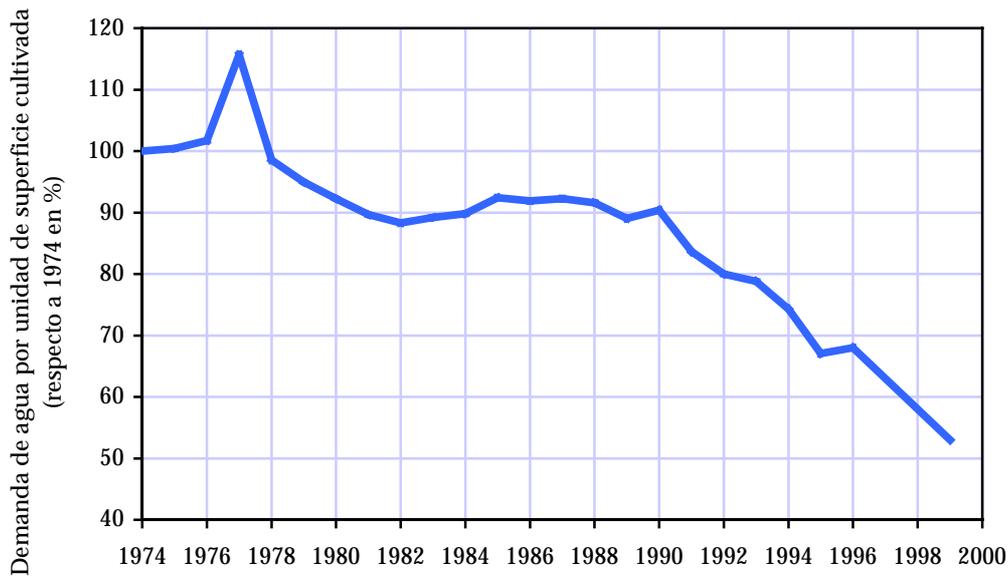


Figura 114. Evolución de la demanda de agua por unidad de superficie cultivada

Existen diferentes estimaciones sobre cuál es el volumen del agua extraído del acuífero por encima del recurso renovable. El Instituto Tecnológico y Geominero (ITGE, 1997) ha cifrado en unos 3.125 hm³ la disminución en el volumen almacenado en el acuífero entre 1980 y 1997, siendo esta cifra el resultado de un vaciado de 3.750 hm³ entre 1980 y 1995 y de una recuperación de 625 hm³ en los años 1996 y 1997. A una conclusión semejante se llega en los trabajos realizados en el marco del proyecto europeo GRAPES al estimar las variaciones en los almacenamientos del acuífero comparando las extracciones netas (se asume un retorno del 10%) y las recargas naturales (v. figura adjunta, con datos de GRAPES). Las extracciones más importantes se producen en un periodo de escasez de recursos, lo que sin duda ha contribuido a la magnitud del daño medioambiental y a los descensos de niveles en el acuífero.

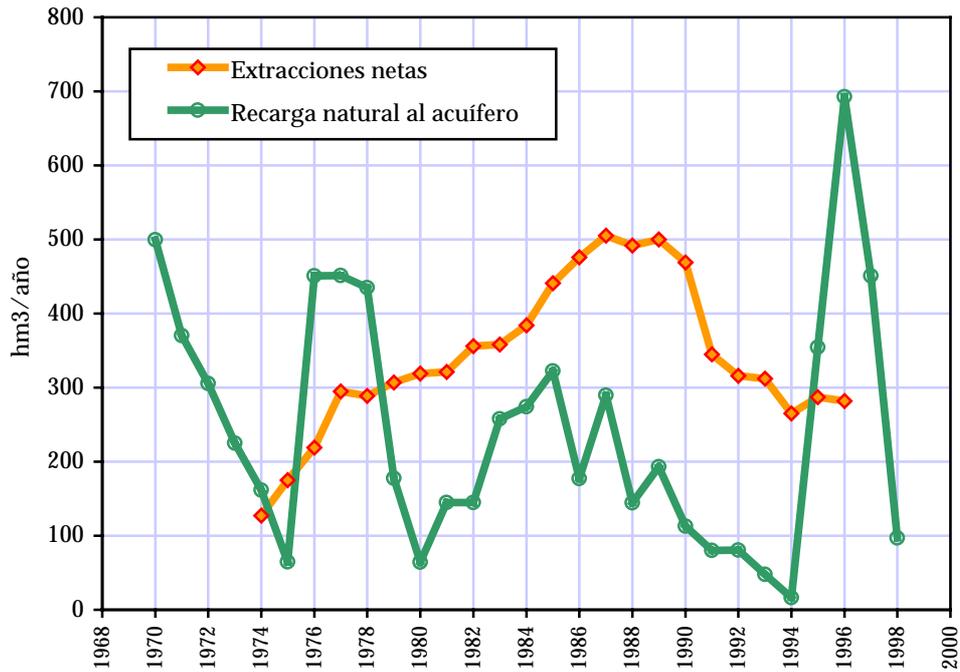


Figura 115. Evolución de las extracciones y recargas al acuífero

En las figuras siguientes, elaboradas con datos de GRAPES, se muestra a escala anual y estacional la evolución estimada del vaciado del acuífero entre los años 1980 y 1997, alcanzándose un déficit máximo de 3.500 hm³ en 1994, y produciéndose una recuperación entre los años hidrológicos 1995 y 1999 de unos 1500 hm³. En la misma figura se incluye la evolución de un nivel medio representativo del acuífero según ITGE-DGOHCA (1999). Conforme a este reciente informe, la unidad Mancha Occidental, con 58 puntos de control, ha mostrado una situación de equilibrio a medio plazo, con el mismo número de puntos que bajan de los que suben. Si se considera la tendencia a largo plazo, todos los puntos de control muestran una evolución ascendente.

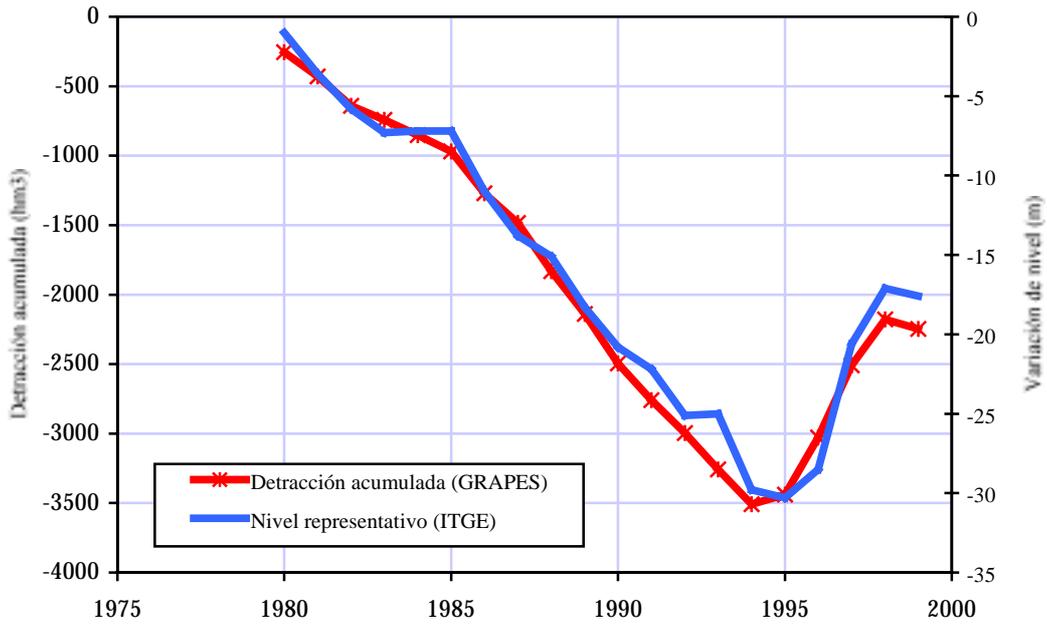


Figura 116. Evolución anual de la detracción acumulada sobre el acuífero y nivel representativo

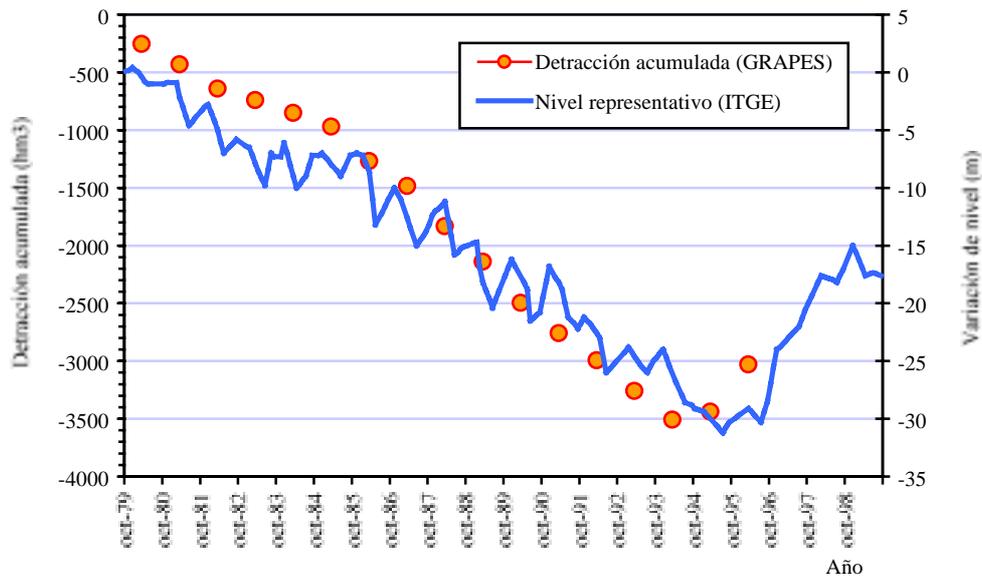


Figura 117. Evolución estacional de la detracción acumulada sobre el acuífero y variación de nivel en punto representativo del acuífero

El excelente acuerdo entre ambas estimaciones permite confirmar la robustez de los resultados ofrecidos, y el efecto de nítida recuperación del acuífero en los últimos 5 años.

6.6. CONCLUSIONES

Como síntesis de lo expuesto, cabe extraer los siguientes resultados y conclusiones:

1. Desde el inicio de los años 70 hasta la actualidad se ha producido un desarrollo espectacular del regadío en la cabecera de la cuenca del Guadiana. La superficie en riego se ha incrementado desde 30.000 ha en 1974 hasta un máximo de 125.000 ha en 1987, descendiendo hasta unas 100.000 ha en los últimos años.
2. Estos incrementos de la superficie en regadío se han basado en la extracción de aguas subterráneas de los acuíferos de la zona, entre los que destaca el de la Mancha Occidental, que se encuentra conectado con diversas zonas húmedas como la del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel.
3. Las extracciones de agua a finales de los 80 alcanzaron la cifra 600 hm³ anuales, superando ampliamente el recurso renovable medio del acuífero de la Mancha Occidental, que se estima, según distintas fuentes, entre 200 y 300 hm³/año.
4. Este desequilibrio entre recursos y bombeos ha provocado un descenso medio acumulado de los niveles freáticos entre 20 y 30 metros, y la afección -y en algunos casos incluso desaparición- de humedales y zonas de interés medioambiental.
5. Para paliar estos efectos, las distintas Administraciones involucradas han adoptado una serie de medidas entre las que cabe mencionar las declaraciones de sobreexplotación y la ordenación de extracciones que conlleva, el conjunto de medidas agrupadas bajo el conocido como Plan de Regeneración Hídrica de las Tablas de Daimiel, y los programas de compensación de rentas.
6. Como resultado de las medidas anteriores y de la reciente sequía, en los últimos años se ha observado una tendencia hacia cultivos menos consumidores de agua, cifrándose en un 20% el descenso en el consumo de una hectarea-tipo de regadío. También se ha producido una disminución importante de la superficie de regadío, pasando de 125.000 ha a 100.000 ha. Estos dos efectos han dado lugar a que las extracciones se hayan reducido hasta valores similares al recurso renovable.
7. En los años hidrológicos 1995/96 a 1996/97 se han recuperado los volúmenes almacenados en el acuífero en algo más del 10% del déficit existente, que en la actualidad se estima en unos 3.000 hm³. El nuevo reequilibrio hidrogeológico se encuentra aún lejos de la situación inicial, caracterizada por descargas naturales hacia las zonas húmedas, pero es indudable que la tendencia negativa se ha invertido.
8. El acuífero se verá liberado a medio plazo de la mayor parte de las demandas de abastecimiento, al pasar a ser satisfechas desde el ATS conforme a los acuerdos suscritos por el Ministerio de Medio Ambiente, La Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y la Confederación Hidrográfica del Guadiana.
9. Desde el punto de vista de la Planificación Hidrológica Nacional, la situación actual de la zona puede considerarse como de equilibrio hídrico, con extracciones similares al recurso renovable. Los importantes déficit previstos en el Plan Hidrológico Guadiana I, correctos en el momento de su formulación, se han reducido hoy hasta quedar anulados. Persistiendo sin duda el grave problema del

vaciado arrastrado desde años -con sus adversos efectos sobre los humedales de la zona-, la gravedad de la situación de agotamiento ha quedado,, por contra, ciertamente desdibujada.

10. Dado que la situación del balance hídrico se encuentra gobernada por movimientos muy coyunturales, directamente vinculados a las políticas agrarias aplicadas en la zona (como las compensaciones de rentas), no parece razonable prever una transferencia de recursos intercuencas para compensar tal balance mudable, precario, y hoy equilibrado.

7. CUENCA DEL GUADALQUIVIR

7.1. INTRODUCCIÓN

Los análisis realizados en el Libro Blanco del Agua en España muestran a la cuenca del Guadalquivir como un territorio globalmente excedentario, pero en el que existen importantes zonas con riesgo de escasez de carácter coyuntural. Ello hace que esta cuenca deba ser considerada en el estudio de las posibles transferencias externas a dilucidar por este Plan Hidrológico Nacional, siendo tal estudio el que se desarrolla en el presente capítulo.

El Plan Hidrológico de la cuenca del Guadalquivir identifica en su ámbito territorial un conjunto de diecisiete sistemas de explotación de recursos denominados Salado de Morón, Campiña Sevillana, Alto Genil, Guadajoz, Jaén, Hoya de Guadix, Alto Guadiana Menor, Rumbiar, Guadalmellato, Bembézar-Retortillo, River de Huesna, Viar, Sevilla, Almonte-Marismas, Regulación General, Guadalete y Barbate. A efectos de su análisis para la planificación hidrológica nacional, estos sistemas de explotación se han simplificado y agregado en un sistema global único, que permite su estudio con la resolución adecuada a esta escala de planificación, y su armonización técnica con el resto de los sistemas estudiados. Junto a ello, y con el objetivo de incorporar la reciente sequía, se ha procedido a la actualización de series hidrológicas, así como a estudiar distintas posibilidades de incremento de las disponibilidades propias y trasvasadas, tal y como se verá en los correspondientes epígrafes.

Las determinaciones del Plan del Guadalquivir sobre los diversos sistemas y sus asignaciones y reservas se asumen y mantienen íntegramente por este Plan Nacional, y constituyen su referencia básica de partida.

En síntesis, los elementos y magnitudes fundamentales del sistema de explotación agregado, definido para todo el ámbito del Plan Hidrológico del Guadalquivir, excepto las cuencas de los ríos Guadalete y Barbate, que constituyen sistemas de explotación claramente diferenciados del conjunto, son los que se describen seguidamente.

7.2. ELEMENTOS DEL SISTEMA

7.2.1. APORTACIONES

Los criterios para el establecimiento y ubicación de las aportaciones hídricas consideradas son los mismos que se adoptaron en el Plan Hidrológico de la cuenca del Guadalquivir, pero extendiéndose ahora las nuevas series mensuales hasta el año hidrológico 1995/96 mediante el modelo de evaluación de recursos desarrollado para el Libro Blanco del Agua en España.

En la figura siguiente se muestra la ubicación, a efectos de cálculo, de las aportaciones hídricas consideradas en el ámbito del Plan de cuenca.

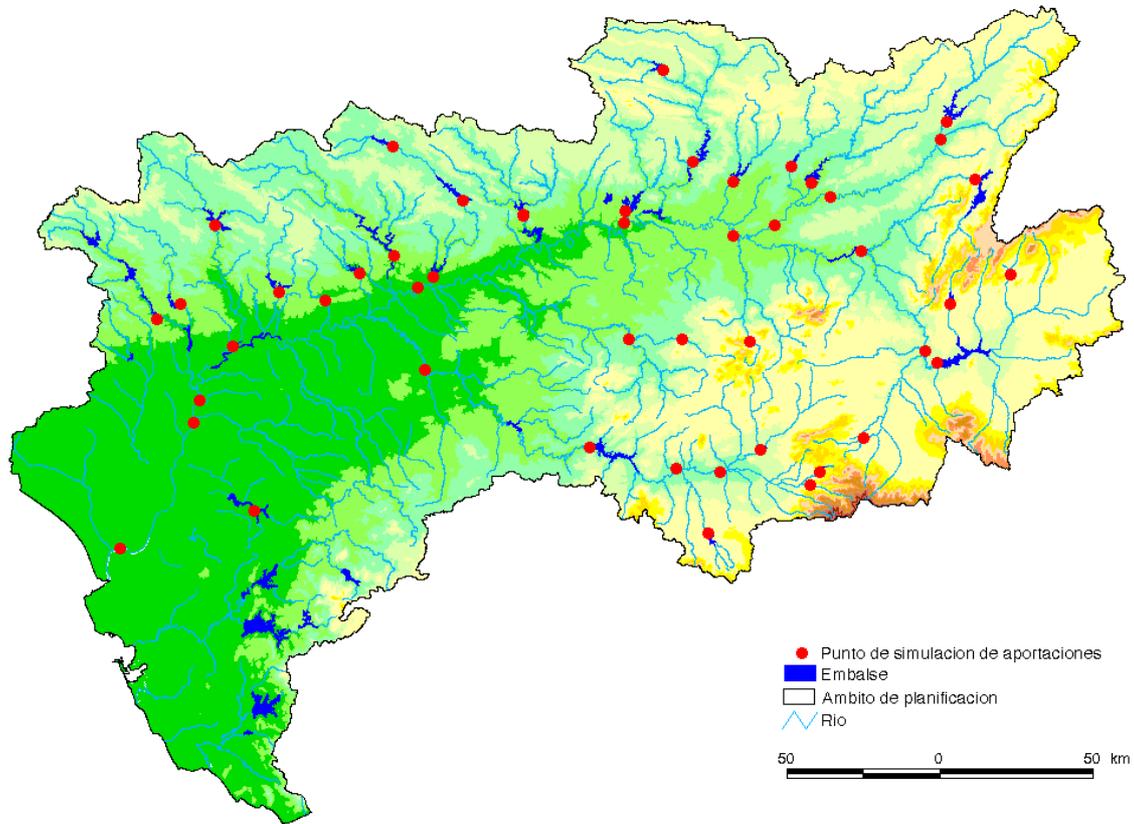


Figura 118. Puntos de incorporación de series de aportaciones

En el cuadro siguiente se resumen los valores de aportaciones en la cuenca del río Guadalquivir.

Punto de aportación	Aport. anual incremental (hm ³ /año)
Aguas Blancas en emb. Quentar	21
Arenoso completo	75
Bembézar en emb. Bembézar	247
Cacín en emb. Los Bermejales	42
Cubillas en emb. Cubillas	80
Colomera en emb. Colomera	39
Fardes en emb. Francisco Abellán	25
Guadalbácar en emb. José Torán	57
Guardal en emb. San Clemente	27
Genil en emb. Canales	44
Genil tras Cubillas	168
Genil tras Cacín	51
Genil en emb. Iznájar	130
Genil en Écija	293
Víboras en emb. Víboras	37
Guadajoz en emb. Vadomojón	137
Guadalmena en emb. Guadalmena	227
Guadalimar tras Guadalmena	173
Guadalimar en emb. Giribaile	135
Guadalimar completo	26
Guadalén en emb. Guadalén	158
Guadiana Menor en emb. Negratín	209
Guadiana Menor tras Fardes	78
Guadalmellato en emb. Guadalmellato	131
Guadalquivir en emb. Tranco de Beas	185
Guadalquivir tras Guadiana Menor	305
Guadalquivir tras Campillo	200
Guadalquivir tras Yeguas	184
Guadalquivir tras Guadajoz	495
Guadalquivir tras Genil	160
Guadalquivir tras Viar	489
Guadalquivir tras Rivera de Huelva	95
Guadalquivir en Coria del Río	194
Guadalquivir completo	263
Guarrizas en emb. Fernandina	81
Guadalentín en emb. La Bolera	48
Guadiato en emb. Sierra Boyera	47
Guadiato en emb. Puente Nuevo	69
Guadiato en emb. La Breña	109
Huesna en emb. Huesna	119
Jándula en emb. Jándula	145
Montoro en emb. Alisillo	45
Quiebrajano en emb. Quiebrajano	18
Retortillo en emb. Retortillo	70
Rivera de Cala en emb. Cala	104
Rivera de Huelva en emb. La Minilla	226
Rumblar en emb. Rumblar	93
Salado en emb. Torre del Aguila	68
Viar en emb. Pintado	176
Yeguas en emb. Yeguas	160
	6.758

Tabla 40. Aportaciones hídricas consideradas en el sistema

Las aportaciones de esta cuenca se caracterizan por una muy marcada irregularidad, como puede apreciarse en la serie de salidas al mar en régimen natural que se muestra en la siguiente figura. Esta irregularidad, mucho más acusada en las subcuencas parciales que en el conjunto de la cuenca representada en la figura, se muestra en una serie de rachas secas relativamente frecuentes y con valores de aportación excepcionalmente bajos en algunas ocasiones, como en el periodo 1990-1995, en que las aportaciones llegaron a situarse algún año en un 5% de la media del periodo de análisis. Todo ello da lugar a las situaciones de riesgo de escasez coyuntural identificadas en el Libro Blanco del Agua para algunos de los sistemas de explotación de la cuenca.

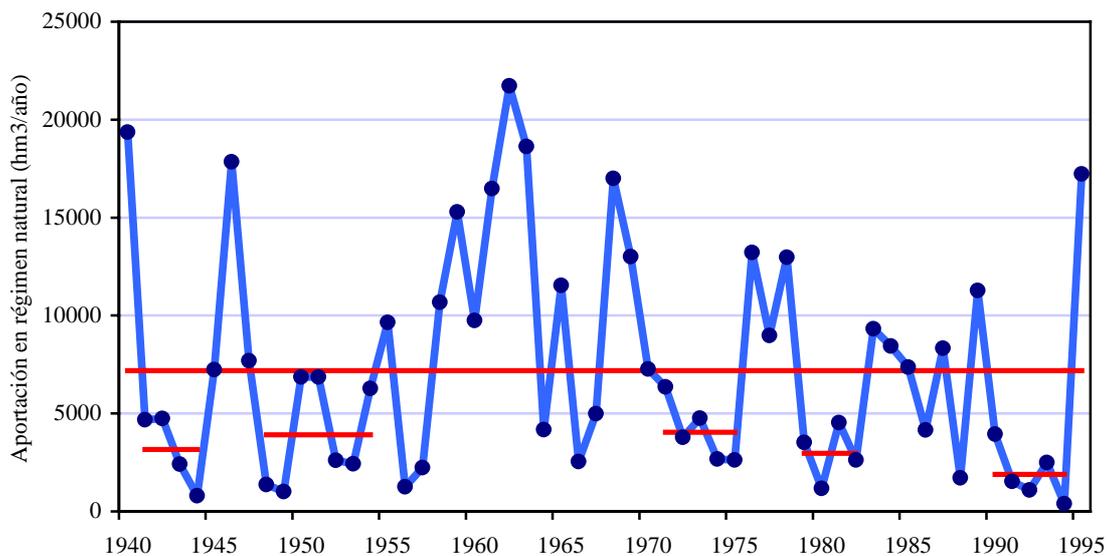


Figura 119. Aportaciones naturales anuales en desembocadura del Guadalquivir

Además de estas aportaciones propias de la cuenca, se incluyen dos posibles aportes externos que, sin perjuicio de que el origen del agua pueda ser cualquiera de los previstos en este Plan Hidrológico Nacional, entrarían físicamente a la cuenca por el río Guadiato o por el río Guadalmena, según el esquema que se presenta posteriormente. Obviamente, la cuantía de tales posibles aportes no es un dato previo, sino que será un resultado del presente análisis.

7.2.2. DEMANDAS

Bajo los supuestos básicos de este Plan Hidrológico Nacional de garantía para los abastecimientos actuales y futuros, de eliminación de la infradotación y sobreexplotación de acuíferos, y de no incremento de las superficies de riego, se han calculado las demandas básicas futuras a considerar en la cuenca del Guadalquivir, conforme a las determinaciones de asignación de recursos establecidas en su Plan Hidrológico y en la normativa vigente. Los resultados obtenidos se exponen seguidamente para los distintos sistemas de explotación básicos definidos en el Plan de cuenca.

La siguiente figura muestra las principales poblaciones y zonas de riego en el ámbito geográfico del Plan Hidrológico del Guadalquivir, lo que permite obtener una aproximación visual de la distribución territorial de las demandas en este ámbito.

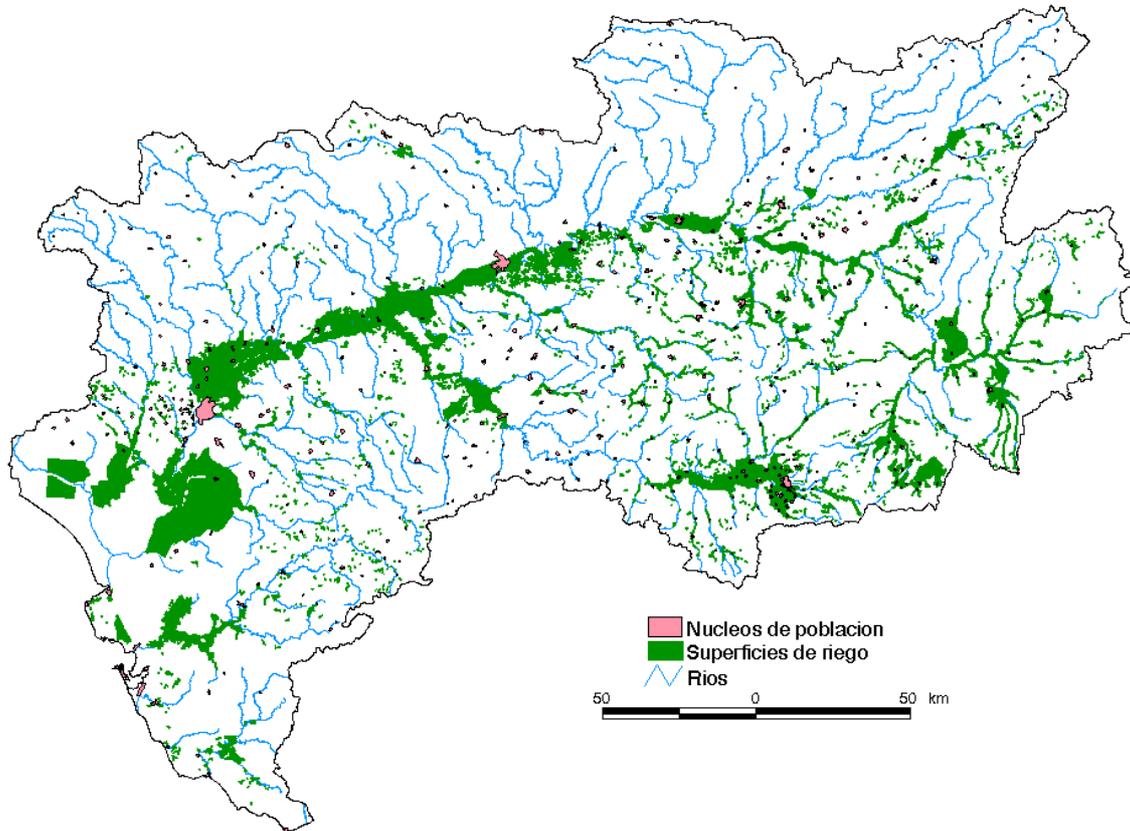


Figura 120. Principales poblaciones y zonas de riego en el ámbito del Plan Hidrológico del Guadalquivir

Con vistas a su inclusión en el esquema general del sistema de explotación de la cuenca, las unidades de demanda se han agregado siguiendo un criterio territorial y buscando la máxima simplicidad. En la mayor parte de los casos, la agregación realizada sigue la división en sistemas y subsistemas de explotación propuesta en el Plan de cuenca.

No se han considerado en el esquema general las demandas atendidas exclusivamente con recursos subterráneos. Esta diferenciación se ha llevado a cabo tomando como referencia las asignaciones realizadas en el Plan de cuenca, en las que se distingue el origen del agua. El aprovechamiento de las aguas subterráneas en la cuenca y las posibilidades de uso conjunto con las aguas superficiales son analizadas en un epígrafe posterior.

Para los abastecimientos urbanos e industriales, se han considerado las demandas propuestas en el Plan para el segundo horizonte, agregadas por sistemas o subsistemas de explotación tal y como se muestra en la tabla adjunta.

Unidad de demanda	Descripción	Demanda (hm ³ /año)	Origen superficial	Origen subterráneo
Alto Genil	Abastecimiento e industria sistema explotación Alto Genil	78	38	40
Córdoba	Abast. e industria sistema explotación Guadalquivir	43	43	-
Guadiana Menor	Abastecimiento e industria sistemas explotación Hoya de Guadix y Alto Guadiana Menor	13	1	12
Jaén	Abastecimiento e industria sistema explotación Jaén	33	22	11
Regulación General	Abast. e industria sistema explotación Regulación General (íntegra Guadajoz y Bembézar-Retortillo en 2º horizonte)	146	115	31
Rumblar	Abastecimiento e industria sistema explotación Rumblar	14	14	-
Sevilla	Abastecimiento e industria sistema explotación Sevilla	196	194	2
Resto Guadalquivir	Abastecimiento e industria sistemas explotación Salado del Morón, Campiña Sevillana, Rivera de Huesna, Viar y Almonte-Marismas	47	36	11
Total		570	463	107

Tabla 41. Demanda futura urbana e industrial prevista en el Plan de cuenca

En la figura siguiente se muestran las previsiones de evolución de población en la cuenca, así como las demandas urbanas e industriales previstas en el Plan de cuenca y las dotaciones medias resultantes.

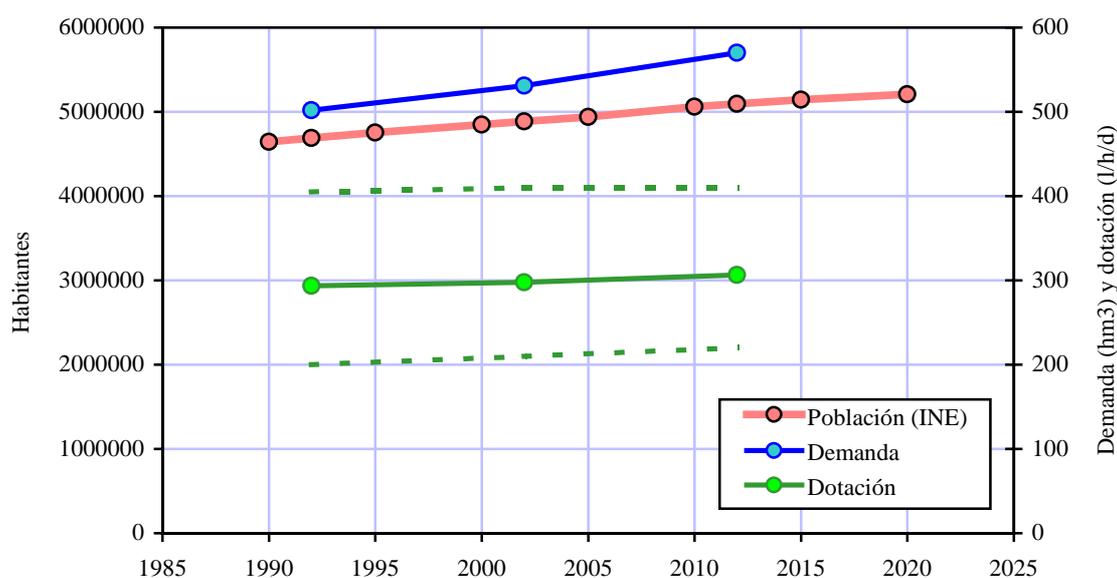


Figura 121. Previsiones de evolución de población, demanda urbana y dotación en la cuenca del Guadalquivir

Las previsiones de población corresponden a datos del INE, con la territorialización por ámbitos de planificación hidrológica realizada en el Libro Blanco del Agua. Según estos datos, el Guadalquivir es una de las cuatro cuencas más pobladas, junto con el Tago, Cuencas Internas de Cataluña y el Júcar, y es la única de ellas, según estos

mismos datos, en que se prevé un aumento de población. Este comportamiento es común a las otras cuencas meridionales (Guadiana, Segura y Sur) y a las cuencas insulares (Baleares y Canarias), en las que también se prevén incrementos de población.

Con la demanda prevista en el Plan de cuenca y las previsiones de población del INE resultan unas dotaciones medias que se mantienen en torno a los 300 l/h/d durante el periodo de 20 años que abarca el Plan. Esta cuantía es inferior a la media española, que se cifra actualmente en unos 327 l/h/d, y refleja el esfuerzo de contención realizado en el Plan de cuenca en lo relativo a la demanda urbana, habiendo tenido en cuenta, entre otras cosas, un ahorro del 6% en pérdidas en las redes de alta y de distribución.

La unidad de demanda urbana cuantitativamente más importante corresponde al sistema de abastecimiento de Sevilla y su zona de influencia, atendido por la Empresa Municipal de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de Sevilla (EMASESA). En esta unidad, y como consecuencia de la sequía del periodo 1992-1995, se ha producido una importante desviación respecto a las previsiones de consumo del Plan de cuenca, como se aprecia en la figura siguiente. Sin embargo, y como señala EMASESA, en la situación actual, los años previos no pueden considerarse normales. En efecto, la sequía del 92-95 ha inducido una reducción de los consumos y ha creado una serie de hábitos en el usuario que pueden ser más o menos permanentes. Por tanto, se estima más oportuno para la determinación actual de la demanda considerar únicamente el año 1997, en lugar de analizar los últimos años (EMASESA, 1998).

Tomando, pues, el año 97 como referencia para establecer la demanda base, EMASESA realiza la previsión hasta el 2001 que se indica en la tabla siguiente.

Año	Demanda base (hm ³)
1998	143
1999	146
2000	150
2001	154

Tabla 42. Previsión de demanda en el abastecimiento a Sevilla según EMASESA

Esta previsión se combina con la efectuada por el Plan para obtener, como se muestra en la figura siguiente, una proyección ajustada que mantenga la tendencia del Plan a largo plazo pero se ajuste a la tendencia a corto plazo prevista por la empresa de abastecimiento, más representativa de la evolución real reciente. Con ello, la demanda futura de cálculo que se obtiene para esta unidad es de 170 hm³/año, que sustituyen a los 196 hm³/año previstos en el Plan.

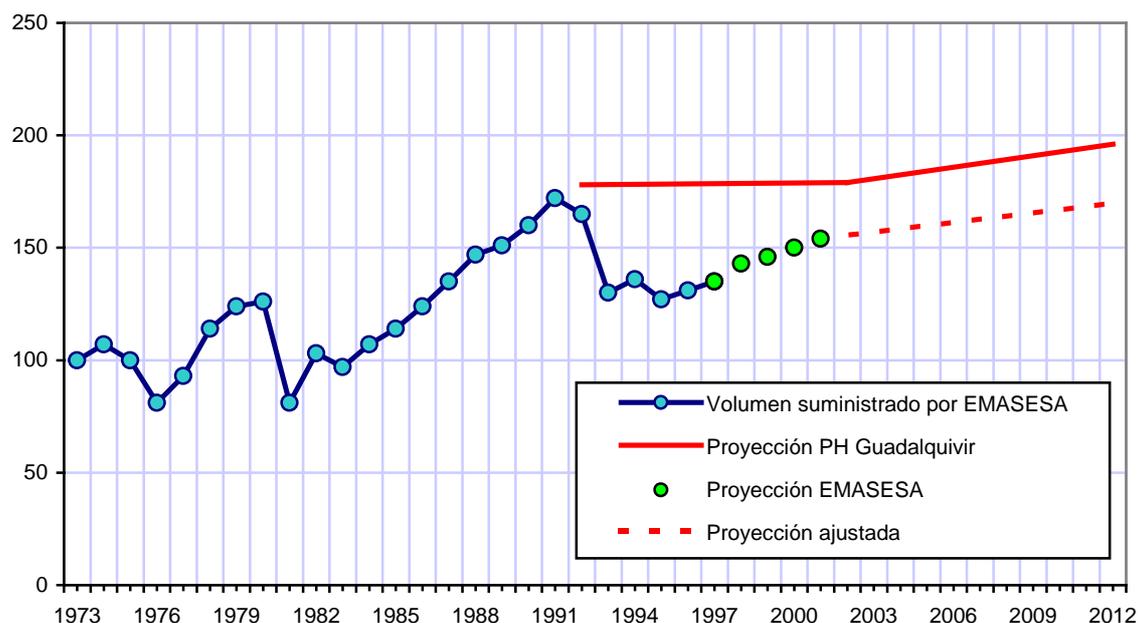


Figura 122. Evolución del volumen suministrado por EMASESA y proyecciones de demanda en el sistema Sevilla (hm^3)

En cuanto a los usos de regadío, la tabla adjunta muestra el detalle de las unidades básicas de demanda agraria (UDA) consideradas en el esquema general, las zonas de riego que comprenden, el sistema de explotación al que pertenecen según el Plan de cuenca y el valor de la demanda anual.

UDA	Zona de riego	Sistema de Explotación	Demanda ($\text{hm}^3/\text{año}$)
Salado de Morón	Zona regable Salado de Morón (Plan Coordinado)	Salado de Morón	7
Salado de Morón	Riegos provisionales en precario	Salado de Morón	7
Cacín	Cacín (Plan Coordinado)	Alto Genil	41
Alto Genil	Albolote (Plan Coordinado)	Alto Genil	12
Alto Genil	Riegos iniciativa privada	Alto Genil	88
Guadajoz	Riegos iniciativa privada	Guadajoz	24
Jaén	Riegos iniciativa privada	Jaén	49
Fardes	Riegos iniciativa privada Fardes y Guadahortuna	Hoya de Guadix	47
La Bolera	Zona regable La Bolera (Plan Coordinado)	Alto Guadiana Menor	42
Alto Guadiana Menor	Riegos iniciativa privada	Alto Guadiana Menor	44
Rumblar	Zona regable del Rumblar (Plan Coordinado)	Rumblar	39
Rumblar	Riegos iniciativa privada	Rumblar	1
Bembézar	Zona regable del Bembézar	Bembézar-Retortillo	130
Bembézar	Riegos iniciativa privada río Retortillo	Bembézar-Retortillo	3
Bembézar	Riegos iniciativa privada río Bembézar	Bembézar-Retortillo	3
Viar	Zona regable del Viar (Plan Coordinado)	Viar	99
Viar	Riegos iniciativa privada río Viar	Viar	2
Sierra Boyera	Riegos iniciativa privada (recursos regulados)	Regulación General	5

UDA	Zona de riego	Sistema de Explotación	Demanda (hm ³ /año)
Sierra Boyera	Riegos iniciativa privada (recursos no regulados)	Regulación General	2
Genil-Cabra	Zona regable Genil-Cabra (Plan Coordinado)	Regulación General	62
Genil-Cabra	Genil. Riegos iniciat. privada (recursos regulados)	Regulación General	34
Bajo Genil	Zona Regable Genil MD (Plan Coordinado)	Regulación General	19
Bajo Genil	Zona Regable Genil MI (Plan Coordinado)	Regulación General	44
Bajo Genil	Genil. Riegos iniciat. privada (recursos regulados)	Regulación General	99
Bajo Genil	Genil. Riegos iniciat. priv. (recursos no regulados)	Regulación General	4
Guadalmena	Zona Regable Guadalmena (Plan Coordinado)	Regulación General	16
Guadalimar	Zona Regable Guadalén (Plan Coordinado)	Regulación General	6
Guadalimar	Guadalimar. Iniciat. privada (recursos regulados)	Regulación General	21
Guadalimar	Guadalimar. Iniciat. priv. (recursos no regulados)	Regulación General	19
Bajo Guadalquivir	Zona Reg. Bajo Guadalquivir (Plan Coordinado)	Regulación General	408
Bajo Guadalquivir	Z. R. Bajo Guadalquivir. Arroz (Plan Coordinado)	Regulación General	87
Bajo Guadalquivir	Z. R. Sector B-XII (Plan Coordinado)	Regulación General	125
Bajo Guadalquivir	Z. R. Sector B-XI Sur (Plan Coordinado)	Regulación General	3
Bajo Guadalquivir	Guadalquivir. Inic. Priv. Arroz (rec. regulados)	Regulación General	308
Bajo Guadalquivir	Guadalquivir. Inic. privada (recursos regulados)	Regulación General	26
Guadiana Menor	Guadiana Menor. Inic. Priv. (recursos regulados)	Regulación General	8
Guadiana Menor	Guadiana Menor. Inic. Priv. (rec. no regulados)	Regulación General	5
Vegas Altas	Zona Regable Vegas Altas (Plan Coordinado)	Regulación General	20
Vegas Altas	Riegos iniciativa privada	Regulación General	22
Vegas Bajas	Zona Regable Vegas Bajas (Plan Coordinado)	Regulación General	30
Vegas Bajas	Riegos iniciativa privada	Regulación General	4
Vegas Medias	Zona Regable Vegas Medias (Plan Coordinado)	Regulación General	28
Vegas Medias	Zona Regable Jandulilla (Plan Coordinado)	Regulación General	8
Vegas Medias	Riegos iniciativa privada	Regulación General	12
Valle Inferior	Zona Regable Valle Inferior (Plan Coordinado)	Regulación General	159
Valle Inferior	Riegos iniciativa privada	Regulación General	29
Guadajoz-Genil	Riegos iniciativa privada	Regulación General	59
Jándula-Guadajoz	Riegos iniciativa privada	Regulación General	157
Guadalmellato	Zona Regable Guadalmellato (Plan Coordinado)	Regulación General	66
Guadalmellato	Riegos iniciativa privada	Guadalmellato	8
Afluentes Guadalquiv.	Riegos iniciativa privada Campiña Sevillana	Campiña Sevillana	22
Afluentes Guadalquiv.	Riegos iniciativa privada Rivera de Huesna	Rivera de Huesna	5
Afluentes Guadalquiv.	Riegos iniciativa privada Rivera de Huelva	Sevilla	6
Afluentes Guadalquiv.	Riegos iniciativa privada Guadiamar	Almonte Marismas	2
Afluentes Guadalquiv.	Riegos iniciativa privada Guadiamar (arroz)	Almonte Marismas	7
Total:			2.583

Tabla 43. Unidades de demanda agraria atendidas con recursos superficiales

Además de estas demandas, que el Plan considera atendidas con recursos de origen superficial, existen otras demandas atendidas con recursos subterráneos y cuya distribución por sistemas de explotación es la expresada en la siguiente tabla.

Sistema de Explotación	Demanda (hm ³ /año)
Salado de Morón	2
Campaña Sevillana	32
Alto Genil	52
Guadajoz	10
Jaén	25
Hoya de Guadix	24
Alto Guadiana Menor	17
Rumblar	-
Guadalmellato	-
Bembézar-Retortillo	4
Rivera de Huesna	-
Viar	-
Sevilla	-
Almonte Marismas	65
Regulación General	62
Total:	293

Tabla 44. Demandas de riego atendidas con recursos subterráneos en cada Sistema de Explotación

Con ello, la demanda total de riego en la cuenca es de 2.876 hm³/año, de los cuales, en el momento de realizar el Plan tan sólo un 10% se atendía con recursos de origen subterráneo y el resto con recursos superficiales. Esta distribución, como se comenta en un epígrafe posterior, ha permitido un importante margen en el incremento del aprovechamiento de los recursos subterráneos.

A pesar de que en este Plan Nacional no se consideran incrementos en la demanda de riegos en aquellas cuencas con riesgo de escasez en las que se puede plantear la necesidad y la oportunidad de un aporte externo, el caso de la cuenca del Guadalquivir es especial, por cuanto se trata de una cuenca muy dinámica que en los últimos años ha experimentado importantes cambios, algunos de los cuales, por la fecha de elaboración, no han podido ser contemplados en el Plan de cuenca. Sin que ello suponga la posterior consideración de futuras demandas de riego ni la alteración de los criterios generales adoptados, este Plan Nacional no puede ignorar la situación actual, fruto de la evolución real de la demanda de riego en la cuenca en los últimos años.

Para ello se cuenta con una excelente fuente de información, constituida por el *Inventario y caracterización de los regadíos de Andalucía*, elaborado por la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía (1999). En este Inventario se dispone de información sobre la evolución de la superficie regada en esta cuenca hasta 1997. Esta evolución se muestra en la figura siguiente, en la que puede apreciarse el muy rápido incremento experimentado en los últimos años, particularmente en 1991. Este veloz crecimiento, como se aprecia en la misma figura, presenta la particularidad de haber superado en 1997 la previsión del Plan de cuenca para el año 2012, lo que cuestiona, en opinión de algunos especialistas, la fiabilidad prospectiva de las planificaciones de regadíos y refleja su carácter voluntarista (Corominas, 2000b).

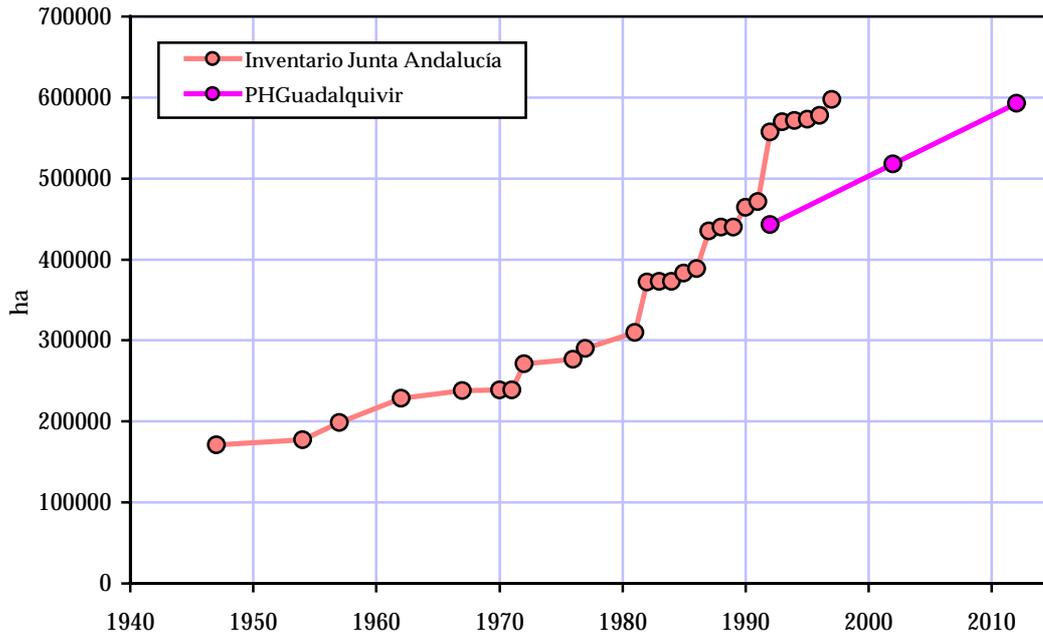


Figura 123. Evolución de la superficie regada en la cuenca del Guadalquivir

Sin embargo, y a pesar de esta importante y llamativa desviación en la evolución de superficies de riego, la evolución de los consumos y demandas no presenta estas rápidas variaciones. En la figura siguiente se muestra la evolución de consumos brutos según el mismo Inventario de la Junta de Andalucía y las demandas previstas en el Plan de cuenca. Como puede apreciarse, los consumos brutos en 1997 en la cuenca según el Inventario (2.678 hm^3) son algo inferiores a la demanda considerada como actual en el Plan de cuenca (2.874 hm^3) y a la demanda prevista a medio plazo (2.942 hm^3).

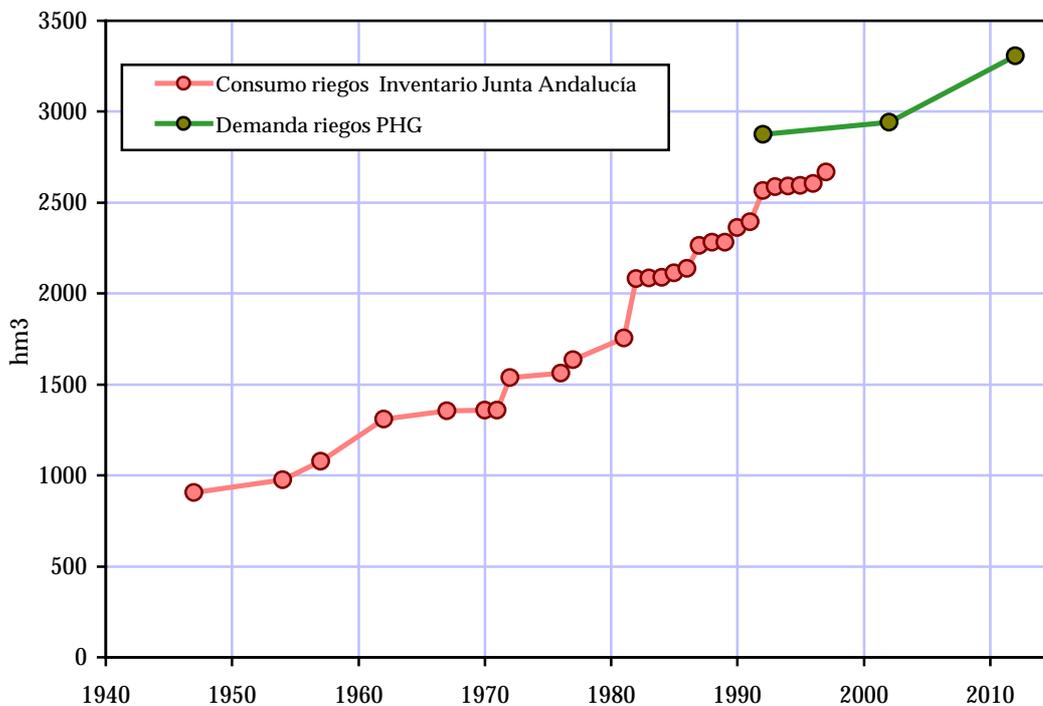


Figura 124. Evolución de los consumos y demandas de riego en la cuenca del Guadalquivir

Este diferente comportamiento de las superficies de riego y los consumos procede en buena medida, y como es lógico, de la propia evolución de las dotaciones y necesidades de riego. En los últimos años, la gran parte del incremento de superficie ha correspondido al olivar, como se aprecia en la siguiente figura, elaborada también a partir de la información del Inventario. En ella puede observarse que el espectacular incremento de superficie de riego en 1992 corresponde, casi por completo, al olivar, que prácticamente llegó a duplicar su superficie en ese año. Este cultivo es de bajo consumo, pudiendo llegar a duplicar su producción en secano con dotaciones entre 1.500 y 3.000 m³/ha/año. A ello debe añadirse que los nuevos regadíos de olivar de Jaén, debido a las importantes elevaciones (superiores a 150 m en muchos casos), utilizan aguas de alto coste, lo que ha dado lugar a la utilización de riegos localizados de alta eficiencia (Corominas, 2000a).

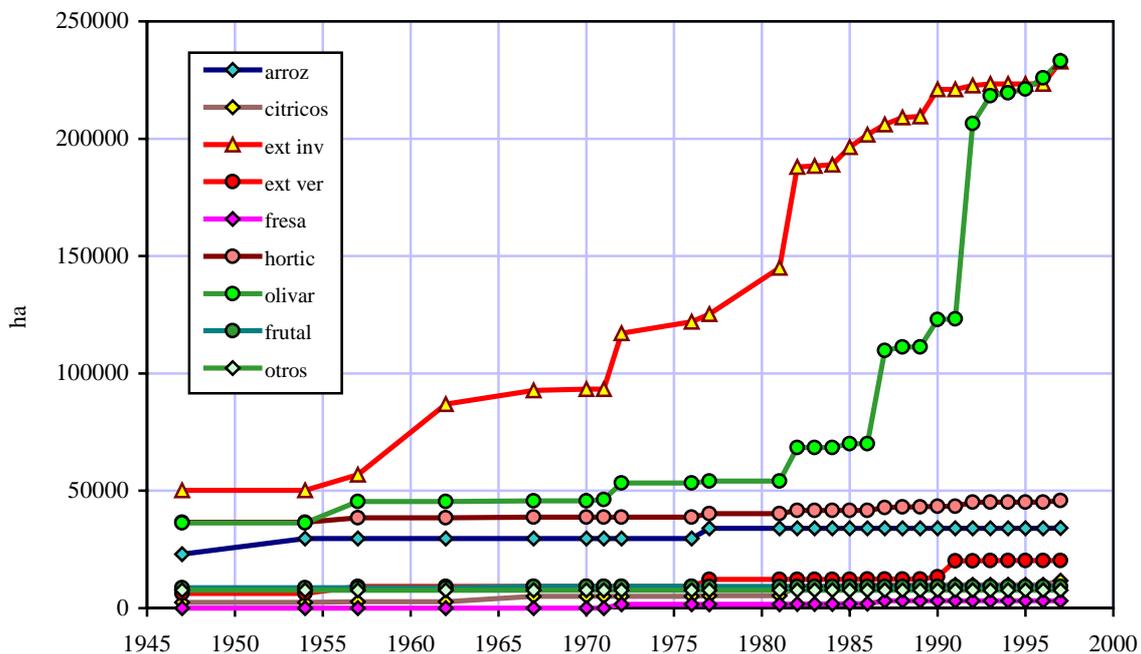


Figura 125. Evolución de la superficie de riego dedicada a cada cultivo en la cuenca del Guadalquivir

A las razones señaladas, algunos autores añaden otras causas que tienen como consecuencia un cambio en los consumos de riego en esta cuenca. Corominas señala que en las campañas de riego de 1996 a 1998 se ha reducido notablemente el consumo de agua en la cuenca del Guadalquivir, por un efecto combinado de varias causas ligadas a la suavidad climatológica de estos años y a los cambios de la Política Agraria Común (PAC) introducidos en 1992, que no se han evidenciado hasta estos años al no haberse regado prácticamente en el cuatrienio 1992-1995.

En la campaña del 96 se consumió el 77% de la demanda teórica, adaptada a las características climatológicas del año, y se efectuaron el 73% de los desembalses programados al inicio de la campaña. En las campañas 97 y 98 se han mantenido moderados los consumos, con demandas similares a la campaña anterior.

Aunque la explicación de estos descensos de las demandas de los regadíos debe responder a circunstancias complejas, Corominas apunta que una probable causa del menor consumo de agua puede encontrarse en el ahorro de costes de cultivo a que obliga el sistema de precios y ayudas a la renta de la PAC: el consumo disminuye fuertemente en los cultivos que más ayudas reciben: cereales, oleaginosas y proteaginosas, junto con el olivar, de por sí poco exigente en agua, como ya se ha señalado.

El coste del agua influye también en el ahorro, notándose este efecto sobre todo en los regadíos con aguas elevadas por encima de 50 m. No hay que descartar tampoco una cierta concienciación de los agricultores en la necesidad de prevenir la ocurrencia de sequías tan graves como la del cuatrienio 92-95. De continuar esta tónica, truncada en la campaña 99 por la extremada y anormal sequía primaveral, se podría corregir parcialmente el déficit de la cuenca por efecto de los cambios de la política agraria (Corominas, 2000b). En la tabla siguiente se muestran algunos datos que permiten sustentar estas ideas.

Campañas	Desarrollo de la campaña	Superf. total en riego (ha)	Índice de superficie 100 (campaña 90-91)	Desembalses medios netos (hm ³)	Índice de consumo 100 (campaña 90-91)
90-91	Antes de la reforma de la PAC	443.000	100	1.224	100
92-95	Sequía	500.000	113	362	26
96-98	3 primeras campañas de riego después de la reforma de la PAC	596.000	135	1.118	68
99	Intensa sequía en primavera: desembalse de 900 hm ³ antes del 15 de Junio	596.000	135	2.158	131

Tabla 45. Cambios en los consumos para riego en el Guadalquivir

Tras todas estas consideraciones cabe concluir que, por la interacción conjunta de distintas causas concurrentes, se puede mantener el criterio general de admitir como situación de referencia para este Plan Hidrológico Nacional la situación identificada en el Plan de cuenca como actual, sin que ello suponga importantes desviaciones respecto a la evolución real experimentada en la cuenca en los últimos años, tras la elaboración técnica del Plan.

En cuanto a los retornos solo se han considerado los de las principales demandas de riego y abastecimiento de la cuenca. A efectos computacionales los retornos se han concentrado en los siguientes puntos básicos: Pedro Marín, Mengíbar, El Carpio, Córdoba, Bajo Genil, Alto Genil y Valle Inferior. Para los retornos de regadíos, se admite el coeficiente general convencional del 20% de la demanda, excepto en las unidades del sistema de Regulación General, donde para adaptarse a las cifras de retorno global estimadas en el Plan de cuenca para este sistema se ha adoptado el 35%. Para el abastecimiento se ha admitido el coeficiente habitual del 80%.

La siguiente tabla resume las demandas finalmente consideradas en el esquema, indicando su cuantía total anual, su distribución estacional y el porcentaje de retorno aprovechable en el sistema.

	DEM. (hm ³)	DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA DEMANDA (%)												RET. (%)
		OC	NV	DC	EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG	ST	
Abast. Alto Genil	38	8	7	7	6	6	7	7	8	10	12	13	9	80
Abast. Córdoba	43	8	7	7	6	6	7	7	8	10	12	13	9	80
Abast. Guediana Menor	1	8	7	7	6	6	7	7	8	10	12	13	9	
Abast. Jaén	22	8	7	7	6	6	7	7	8	10	12	13	9	80
Abast. Regulación General	115	8	7	7	6	6	7	7	8	10	12	13	9	
Abast. Rumblar	14	8	7	7	6	6	7	7	8	10	12	13	9	
Abast. Sevilla	170	8	7	7	6	6	7	7	8	10	12	13	9	
Abast. Resto Guadalquivir	36	8	7	7	6	6	7	7	8	10	12	13	9	
Reg. Afluentes Guadalq.	42	2	1	0	0	0	0	1	4	14	38	29	11	
Reg. Alto Genil	100	2	0	0	0	0	0	2	6	13	39	29	9	20
Reg. Alto Guediana Menor	44	2	1	0	0	0	1	4	9	16	34	24	9	20
Reg. Bajo Genil	166	1	0	0	0	0	0	1	5	16	38	29	10	35
Reg. Bajo Guadalquivir	957	2	1	0	0	0	0	1	4	14	38	29	11	
Reg. Bembézar	136	1	0	0	0	0	0	0	2	13	45	31	8	20
Reg. Cacán	41	2	0	0	0	0	0	2	6	13	39	29	7	20
Reg. Fardes	47	2	1	0	0	0	1	4	9	16	34	24	9	20
Reg. Genil Cabra	96	1	0	0	0	0	0	1	5	16	38	29	10	20
Reg. Guadajoz	24	1	0	0	0	0	0	1	5	18	40	27	8	
Reg. Guadajoz-Genil	59	4	1	0	0	0	0	1	6	17	35	27	9	
Reg. La Bolera	42	2	1	0	0	0	1	4	9	16	34	24	9	20
Reg. Guadalimar	46	2	1	0	0	0	0	1	3	10	35	33	15	
Reg. Guadalquivir	74	1	0	0	0	0	0	1	4	19	42	27	6	
Reg. Guadalmena	16	7	0	0	0	0	0	0	3	9	29	32	20	
Reg. Guediana Menor	13	2	1	0	0	0	1	4	9	16	34	24	9	
Reg. Jaén	49	2	1	0	0	0	0	1	4	14	38	29	11	
Reg. Jándula-Guadajoz	157	2	0	0	0	0	0	0	3	13	38	32	12	35
Reg. Rumblar	40	6	0	0	0	0	0	0	2	11	33	33	15	
Reg. Salado de Morón	14	4	1	0	0	0	0	1	1	10	36	34	13	
Reg. Sierra Boyera	7	4	1	0	0	0	0	1	6	17	35	27	9	
Reg. Valle Inferior	188	2	1	0	0	0	0	1	4	14	38	29	11	35
Reg. Vegas Altas	42	3	0	0	0	0	0	0	2	6	32	40	17	35
Reg. Vegas Bajas	34	3	0	0	0	0	0	0	2	11	41	33	10	
Reg. Vegas Medias	48	4	0	0	0	0	0	1	2	12	36	30	15	
Reg. Viar	101	2	1	0	0	0	0	1	4	14	38	29	11	
Total:	3.022	3	2	1	1	1	2	2	5	13	34	26	10	

Tabla 46. Síntesis global de demandas consuntivas consideradas

En cuanto a niveles de garantía y prioridades de suministro, se adoptan los criterios estándares de la planificación nacional cifrados en déficit anuales acumulados de cuantías porcentuales [2,3,10] para abastecimientos urbanos e industriales, y [50,75,100] para demandas de riego.

7.2.3. CAUDALES MÍNIMOS

Siguiendo lo establecido en el Plan Hidrológico de la cuenca del Guadalquivir, y que se asume por este Plan Nacional, los caudales mínimos circulantes en los distintos tramos fluviales son los que se recogen en la siguiente tabla.

TRAMO	Ap. natural (hm ³ /año)	Caudal mín. (m ³ /s)	Caudal mín. (hm ³ /mes)
Guadalquivir en Pedro Marín	878	1,6	4,2
Guadalquivir en Mengibar	1.896	4,4	11,4
Guadalquivir en El Carpio	2.523	7,2	18,7
Guadalquivir en Alcalá del Río	6.314	12,1	31,4
Genil en Puente Genil	715	1,5	3,9

Tabla 47. Caudales mínimos

Estos caudales se introducirán, siguiendo los criterios conceptuales adoptados del Libro Blanco, como restricciones de funcionamiento al sistema global de explotación de recursos.

7.2.4. ELEMENTOS DE REGULACIÓN SUPERFICIAL

El cuadro resumen de volúmenes de todos los embalses considerados en este análisis, es el adjunto. En él se reflejan los volúmenes totales mensuales (hm³), considerando los resguardos previstos en el Plan de cuenca para el control de crecidas, y los volúmenes mínimos (hm³). En cuanto a estos últimos, en algunos casos los datos reflejados en el Plan se han ajustado, de acuerdo con los datos reales registrados.

Se han considerado los embalses más significativos desde el punto de vista de la regulación. En algunos casos se han agrupado en un único elemento de regulación varios embalses en serie o en paralelo, siempre que esta agrupación no afectara negativamente a los objetivos del presente estudio.

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	MIN
Bembézar	347	347	278	278	278	278	337	347	347	347	347	347	15
Bermejales	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	5
Bolera	53	53	44	44	44	44	53	53	53	53	53	53	1
Breña	100	100	82	82	82	82	100	100	100	100	100	100	20
Cala	58	58	52	52	52	52	58	58	58	58	58	58	5
Canales	71	71	58	58	58	58	71	71	71	71	71	71	1
Cubillas	19	19	15	15	15	19	19	19	19	19	19	19	5
Fernandina	245	245	206	203	201	213	238	245	245	245	245	245	10
Francisco Abellán	59	59	44	46	46	46	59	59	59	59	59	59	1
Gergal	35	35	24	24	26	29	35	35	35	35	35	35	5
Giribaile	475	475	404	404	404	404	475	475	475	475	475	475	24
Guadalén	163	163	121	121	130	130	163	163	163	163	163	163	10
Guadalmellato	147	147	122	121	119	116	147	147	147	147	147	147	5
Guadalmena	346	346	280	277	270	266	304	346	346	346	346	346	40
Huesna	135	135	111	115	115	115	135	135	135	135	135	135	5
Iznájar	981	981	804	785	765	834	942	981	981	981	981	981	40
Jándula	322	322	258	251	248	248	322	322	322	322	322	322	7
José Torán	101	101	83	83	83	83	101	101	101	101	101	101	5
Minilla+Aracena+Zufre	355	355	283	283	304	317	343	355	355	355	355	355	15
Montoro	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	5
Negratín	546	546	459	453	448	475	530	546	546	546	546	546	20
Pintado	202	202	172	172	172	178	202	202	202	202	202	202	7

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	MIN
Puente Nuevo	286	286	235	235	235	235	286	286	286	286	286	286	20
Quéntar	14	14	11	10	10	10	14	14	14	14	14	14	1
Quebrajano	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	1
Retortillo	73	73	60	60	60	60	70	73	73	73	73	73	5
Rumblar	126	126	106	106	106	106	126	126	126	126	126	126	5
San Clemente	120	120	102	102	102	102	120	120	120	120	120	120	2
S.Rafael Navallana	157	157	133	133	133	133	157	157	157	157	157	157	20
Sierra Boyera	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	1
Torre del Águila	64	64	35	35	35	43	60	64	64	64	64	64	1
Tranco	500	500	420	415	410	435	485	500	500	500	500	500	25
Vadomojón	165	165	140	140	140	140	165	165	165	165	165	165	8
Víboras	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	1
Yeguas	229	229	172	195	195	195	229	229	229	229	229	229	10
	6734	6734	5554	5538	5526	5686	6586	6734	6734	6734	6734	6734	351

Tabla 48. Embalses de regulación considerados

Como puede apreciarse en la tabla precedente y en la figura siguiente, la consideración de los resguardos para el control de avenidas supone una importante merma de la capacidad de almacenamiento total en el sistema, que en algunos meses llega a reducirse en más de 1.000 hm³, con el consiguiente efecto de reducción de los recursos disponibles.

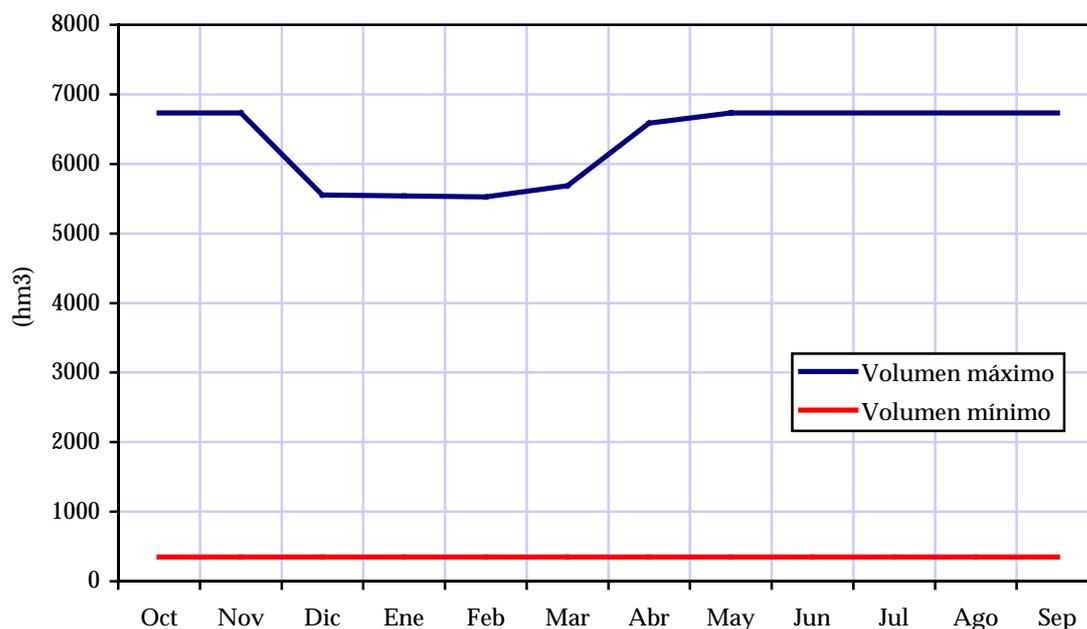


Figura 126. Capacidad de almacenamiento mensual en el sistema

Junto a los embalses actuales considerados, el Plan de cuenca cataloga un importante conjunto de posibles embalses futuros. En la tabla siguiente se muestran algunos de los más importantes, que llegarían a totalizar unos 1.400 hm³ de nueva capacidad. Su ejecución y puesta en explotación supondría un considerable incremento en comparación con la capacidad de almacenamiento actual.

Embalse	Capacidad (hm ³)	Río	Sistema de explotación
Breña II	800	Guadiato	Regulación general
Melonares	185	Viar	Sevilla
Arenoso	102	Arenoso	Regulación general
San Calixto	70	Genil	Regulación General
Velillos	62	Velillos	Alto Genil
El Cuervo	50	Guadamar	Almonte-Marisma
Solana del Peñón	40	Guadahortuna	Hoya de Guadix
Portillo	32	Castril	Alto Guadiana Menor
Guadalora	30	Guadalora	Regulación General
Los Angeles	14	Marbella	Regulación General
Gor	9	Gor	Hoya de Guadix
Total:	1.394		

Tabla 49. Principales embalses futuros catalogados en el Plan Hidrológico del Guadalquivir

La enumeración de este importante catálogo de embalses no presupone, como es obvio, ningún pronunciamiento por parte de este Plan Nacional sobre su viabilidad técnica, económica o ambiental, más allá de las consideraciones efectuadas en el propio Plan de cuenca, que es el competente a estos efectos.

Sin embargo revela con claridad que, a diferencia de otras cuencas, en la cuenca del Guadalquivir aún queda un importante margen de actuación en el desarrollo de infraestructuras de almacenamiento, lo que posibilitaría un apreciable incremento de sus recursos disponibles en el futuro.

7.2.5. ELEMENTOS DE REGULACIÓN SUBTERRÁNEA Y USO CONJUNTO

Las aguas subterráneas representan en la cuenca del Guadalquivir, incluyendo el sistema Guadalete-Barbate, una fracción algo superior al 25% de la aportación total de la cuenca. En la actualidad se estima que las extracciones son del orden de 500 hm³/año, lo que supone un porcentaje del 13% de las demandas totales de la cuenca. Estas extracciones representan un 10% del total de las aguas subterráneas extraídas en España.

El objetivo del presente epígrafe es presentar las posibilidades de incrementar las disponibilidades de recursos en la cuenca mediante las aguas subterráneas y la implantación de esquemas de gestión conjunta con las aguas superficiales, para lo que se ha realizado un análisis de los recursos subterráneos no utilizados en la actualidad en la cuenca. Este análisis tiene, como es lógico, un carácter simplificado y estimativo, pero su sencillez conceptual y homogeneidad de tratamiento con los otros sistemas estudiados permite acotar razonablemente las cifras básicas a los efectos de este Plan Hidrológico Nacional.

El análisis se ha centrado en los acuíferos situados aguas abajo de los principales embalses de regulación (figura siguiente), ya que los bombeos de acuíferos situados aguas arriba de éstos podrían disminuir las aportaciones entrantes y, en consecuencia, mermar la cifra de regulación superficial distorsionando las disponibilidades reales.

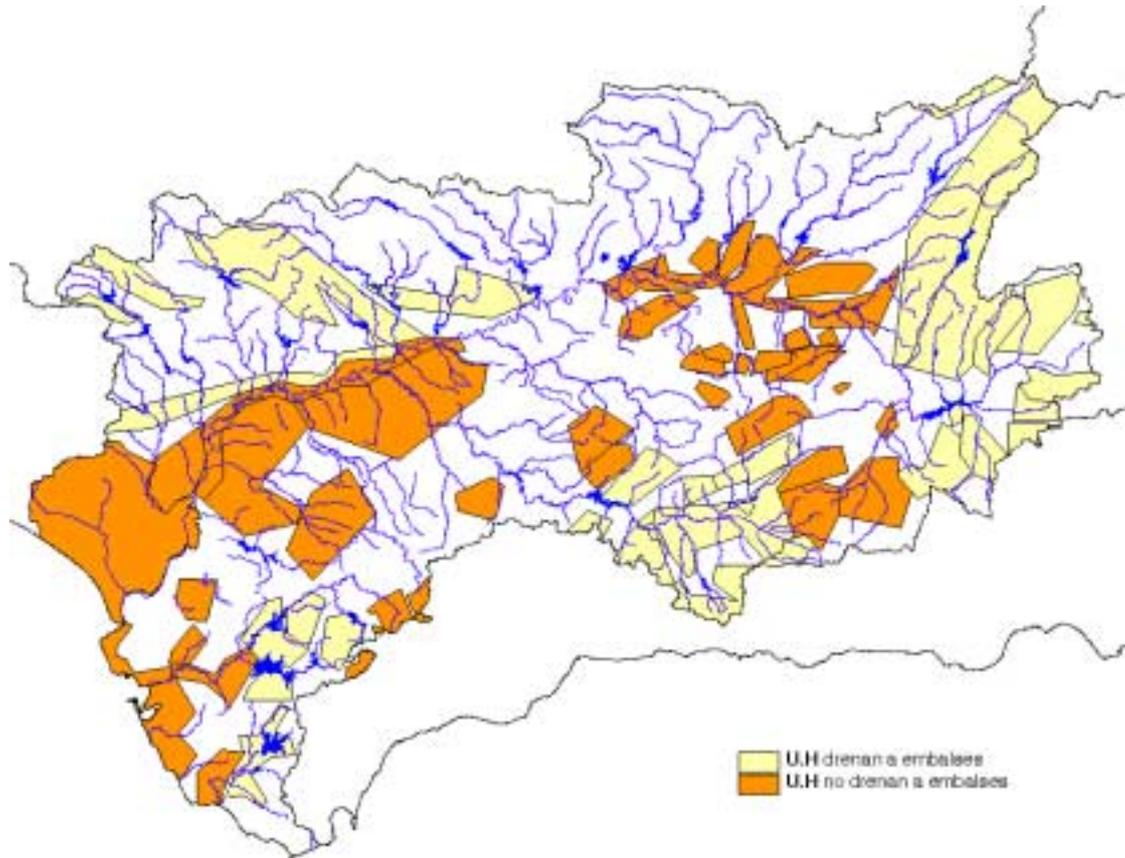


Figura 127. Selección de unidades hidrogeológicas en la cuenca del Guadalquivir

Para realizar este análisis se han considerado dos hipótesis, derivadas de asumir, o no, que parte de las extracciones de las aguas subterráneas se utilizan para reducir los problemas de sobreexplotación. En la primera hipótesis el recurso que todavía podría utilizarse sería como máximo igual al sumatorio de la diferencia entre las recargas y bombeos de todas las unidades hidrogeológicas consideradas. En la segunda hipótesis el recurso sería algo mayor al no considerar que las posibles extracciones adicionales pueden servir para atender en parte la sobreexplotación existente. En este caso el recurso todavía utilizable se ha obtenido como el sumatorio de la diferencia entre las recargas y bombeos en aquellas unidades donde los bombeos son inferiores a las recargas.

En la tabla adjunta, de elaboración propia a partir de información contenida en el Plan de cuenca, se muestra una estimación de los incrementos potenciales de esas extracciones en las unidades hidrogeológicas seleccionadas, observándose que el incremento sería muy similar en las dos hipótesis consideradas, lo que se explica por la escasa sobreexplotación de acuíferos. Este incremento, de valor aproximado 900 hm³/año, representaría en principio un 180% de aumento respecto a los bombeos actuales de toda la cuenca.

Infiltración por lluvia y cauces (hm ³ /año).	Infiltración por excedentes de riego (hm ³ /año).	Recarga (hm ³ /año).	Transferencias (hm ³ /año)	Bombeo actual (hm ³ /año)	Incremento potencial teórico de bombeo (considerando la sobreexplotación).	Incremento potencial teórico de bombeo (sin considerar la sobreexplotación)
1.275	16	1.291	-23	357	911	913

Tabla 50. Incremento en la explotación de las aguas subterráneas en los acuíferos localizados aguas abajo de los embalses

Las cifras globales reflejadas en la tabla anterior proceden de integrar los recursos adicionales estimados en las unidades hidrogeológicas. Conviene, sin embargo, analizar cómo se distribuyen esos recursos potenciales a través de la cuenca.

Para ello en la figura adjunta se muestran las cifras de infiltración debida a lluvia y cauces y los bombeos. También se ha representado la cifra de la diferencia entre las transferencias subterráneas que entran y salen de una determinada unidad hidrogeológica.

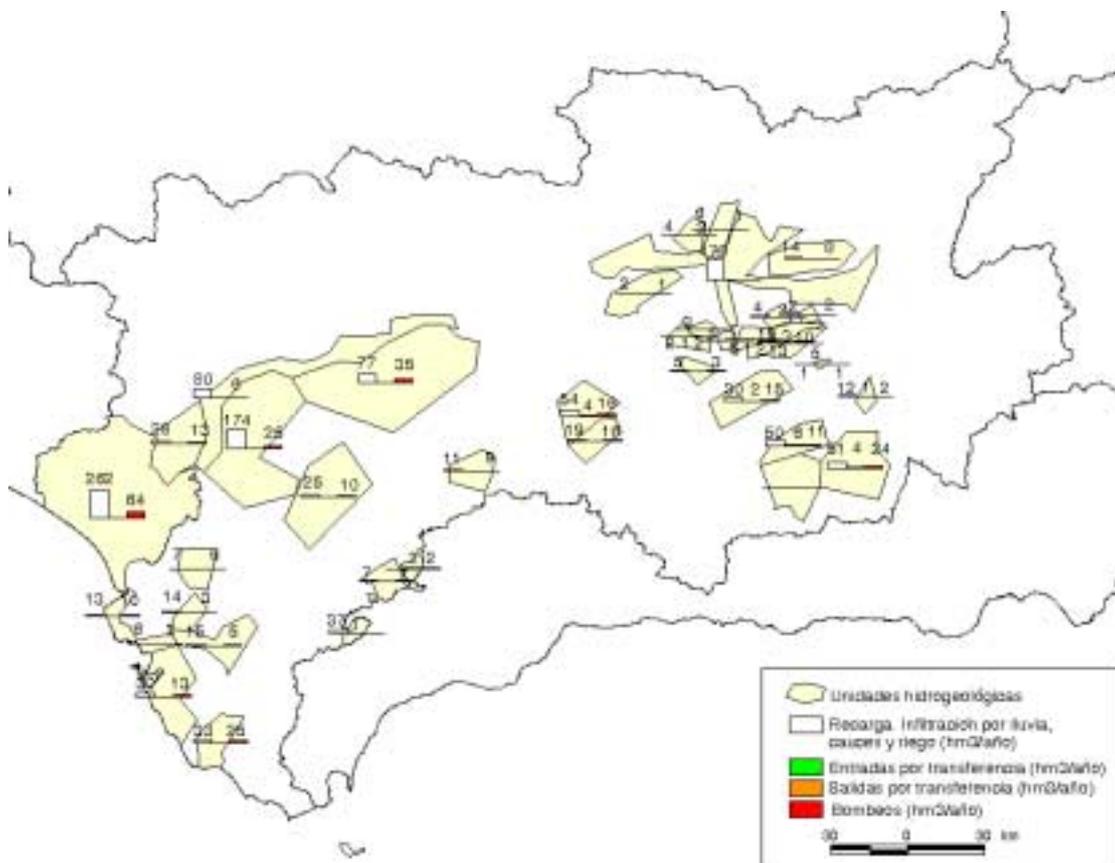


Figura 128. Recargas y bombeos en las unidades hidrogeológicas estudiadas de la cuenca del Guadalquivir

A partir de los datos anteriores se han obtenido las diferencias entre la suma de las recargas más las transferencias, y los bombeos, en las diferentes unidades hidrogeológicas consideradas, lo que se muestra en la figura siguiente.

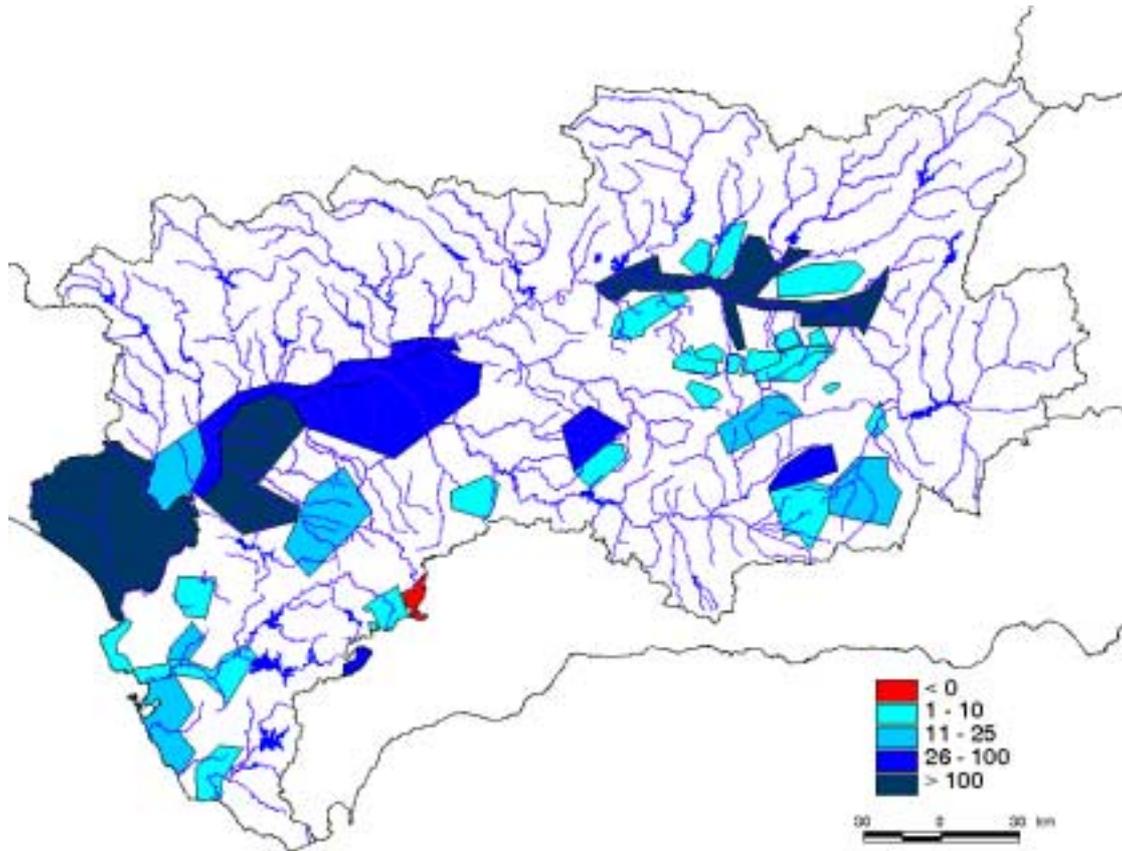


Figura 129. Diferencia entre recargas más transferencias y bombeos (en $\text{hm}^3/\text{año}$) en las unidades hidrogeológicas estudiadas de la cuenca del Guadalquivir

El análisis de las figuras anteriores muestra que en la mayoría de las unidades hidrogeológicas las recargas son superiores a los bombeos. En algunas unidades, como las de Almonte-Marismas, Sevilla-Carmona o el aluvial del Guadalquivir de Córdoba-Jaén, la diferencia entre las recargas y los bombeos es superior a $100 \text{ hm}^3/\text{año}$, en más de 10 unidades la diferencia está comprendida entre 10 y $100 \text{ hm}^3/\text{año}$, y en el resto es de unos pocos $\text{hm}^3/\text{año}$.

Conviene mencionar, sin embargo, que en algunas unidades, como la de Almonte-Marismas, la cifra de bombeo reflejada en el Plan de cuenca puede estar actualmente infraestimada, que otras unidades como las de Sevilla-Carmona o Aljarafe tienen iniciados expedientes de sobreexplotación, y que en otras unidades, como el Aluvial del Guadalquivir, el incremento de demandas ha obligado a limitar o denegar caudales.

Además, en unidades como las de Almonte-Marismas, los Aluviales del Guadalquivir y Guadalete, Sevilla-Carmona o Aljarafe, existen problemas con la calidad de las aguas, generalmente por contaminación difusa de nitratos. En la unidad de Almonte-Marismas también se producen problemas generalizados de intrusión marina.

Sin embargo, e incluso bajo la hipótesis conservadora de que no se pudiesen utilizar los recursos subterráneos de todas las unidades anteriores, es decir, Almonte-Marismas, Sevilla-Carmona, Aljarafe o los Aluviales del Guadalquivir (Córdoba-Jaén y Sevilla) y Guadalete, la cifra de recursos potenciales adicionales a los utilizados en el conjunto de

la cuenca del Guadalquivir seguiría siendo relativamente elevada, del orden de 300 hm³/año, sin perjuicio de posibles afecciones ambientales que pudieran reducirla.

Como medio de aumentar mediante una mejor gestión las disponibilidades de recursos en esta cuenca debe destacarse el papel que también puede tener la utilización conjunta de las aguas superficiales y subterráneas.

En un trabajo reciente del Ministerio de Medio Ambiente se han identificado 7 esquemas en la cuenca del Guadalquivir donde es posible incrementar el uso conjunto, tras valorar distintos condicionantes naturales, económicos o derivados de la infraestructura hidráulica existente. En el citado trabajo se definen los estudios y análisis de sistemas necesarios para determinar el incremento de recursos obtenibles en cada uno de los esquemas y la viabilidad de la integración de ambos tipos de recursos, tanto en el aspecto económico como en el de gestión y organización por parte de los usuarios.

Hasta tanto dichos estudios hayan sido concluidos, puede avanzarse que estos recursos adicionales estarían comprendidos entre 50 y 80 hm³/año, cifras muy preliminares que se ofrecen únicamente con objeto de centrar el orden de magnitud de los recursos adicionales que pueden conseguirse mediante una mejor gestión con la implantación de los esquemas de uso conjunto. Este aumento de disponibilidades afectaría básicamente al límite inferior de 300 hm³/año antes mencionado, que sería algo mayor. En la figura siguiente se muestran las unidades hidrogeológicas incluidas en esos esquemas.

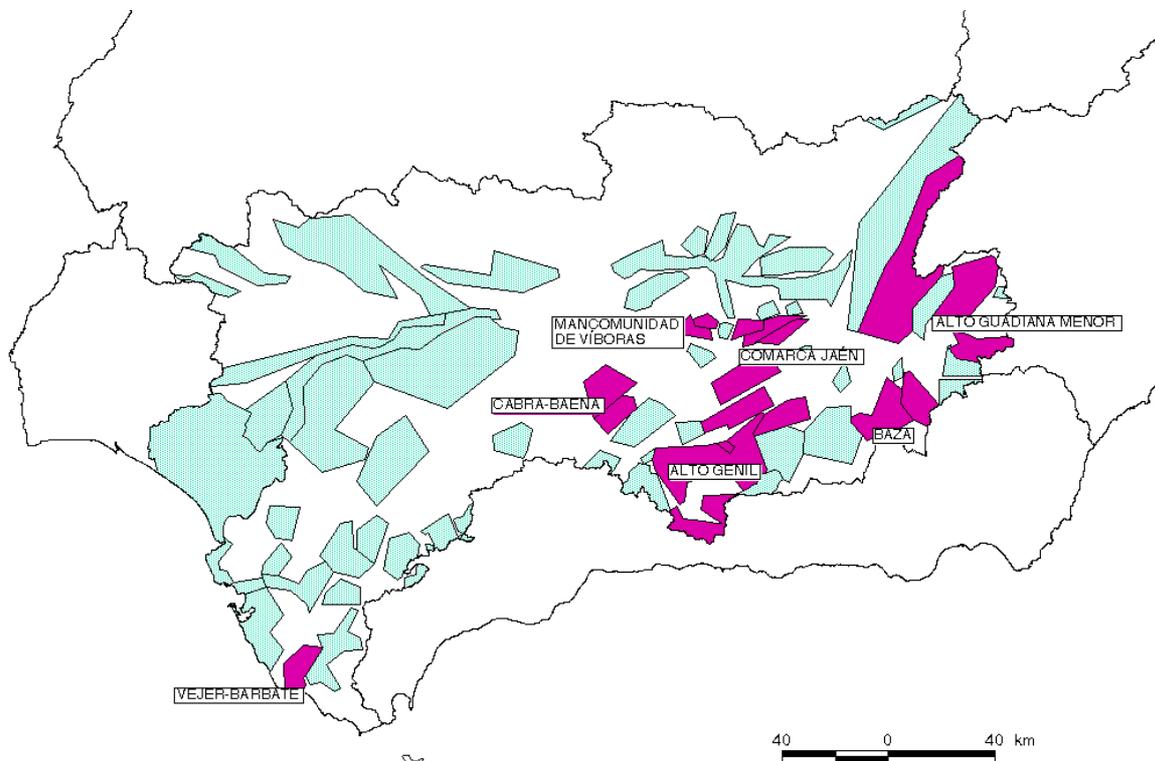


Figura 130. Acuíferos con potencialidad de incorporar en esquemas de uso conjunto en la cuenca del Guadalquivir

La principal conclusión del análisis realizado es que existe la posibilidad de aumentar significativamente las disponibilidades en la cuenca del Guadalquivir mediante recursos subterráneos, fundamentalmente utilizando los acuíferos de la margen izquierda del río Guadalquivir. Este posible incremento estaría comprendido entre 300 y 900 hm³/año, cifras que deben entenderse como límites superiores teóricos que sirven para acotar las máximas posibilidades de extracción de agua de los acuíferos de la cuenca, y que pueden ser afinadas en estudios de mayor detalle considerando impactos puntuales, afecciones ambientales, etc.

Debe hacerse constar, no obstante, que una parte apreciable de estos recursos potenciales puede estar ya siendo empleada en regadíos de olivar, aún no suficientemente caracterizados.

En cualquier caso son cifras significativas, que ponen de relieve la importancia de los recursos subterráneos y la necesidad evidente de estudiar con mayor detalle e incorporar los recursos que puedan proporcionar los acuíferos analizados en los sistemas de explotación de recursos hídricos, como fuente estratégica para obtener garantías suficientes en épocas de escasez o sequía, o como medio para incrementar el grado de regulación existente en una cuenca con una irregularidad temporal tan grande como la del Guadalquivir.

7.2.6. CONDUCCIONES

En el esquema general se han incluido las conducciones más significativas desde el punto de vista de la operación del sistema. Así, en la situación actual se ha incluido la conducción a Sevilla desde Gergal y la toma de emergencia desde el Guadalquivir, el canal del Viar y el bombeo desde el Guadalquivir a esta zona de riego, el canal del Bajo Guadalquivir y el bombeo desde el Guadalquivir al embalse de San Rafael de Navallana.

En la situación futura se han incluido diversas conducciones proyectadas en el Plan de cuenca, según se describe en un epígrafe posterior.

También se han introducido las conexiones correspondientes a los puntos de incorporación de aportes externos, según se describe también posteriormente, incluyendo la conducción que permitiría prolongar el trasvase al Guadiato desde el embalse de Sierra Boyera hasta el de Bembézar.

7.2.7. ESQUEMA GENERAL

Con los elementos descritos en epígrafes anteriores se ha construido el sistema básico de explotación general de la cuenca del Guadalquivir, tal y como se muestra en el gráfico adjunto.

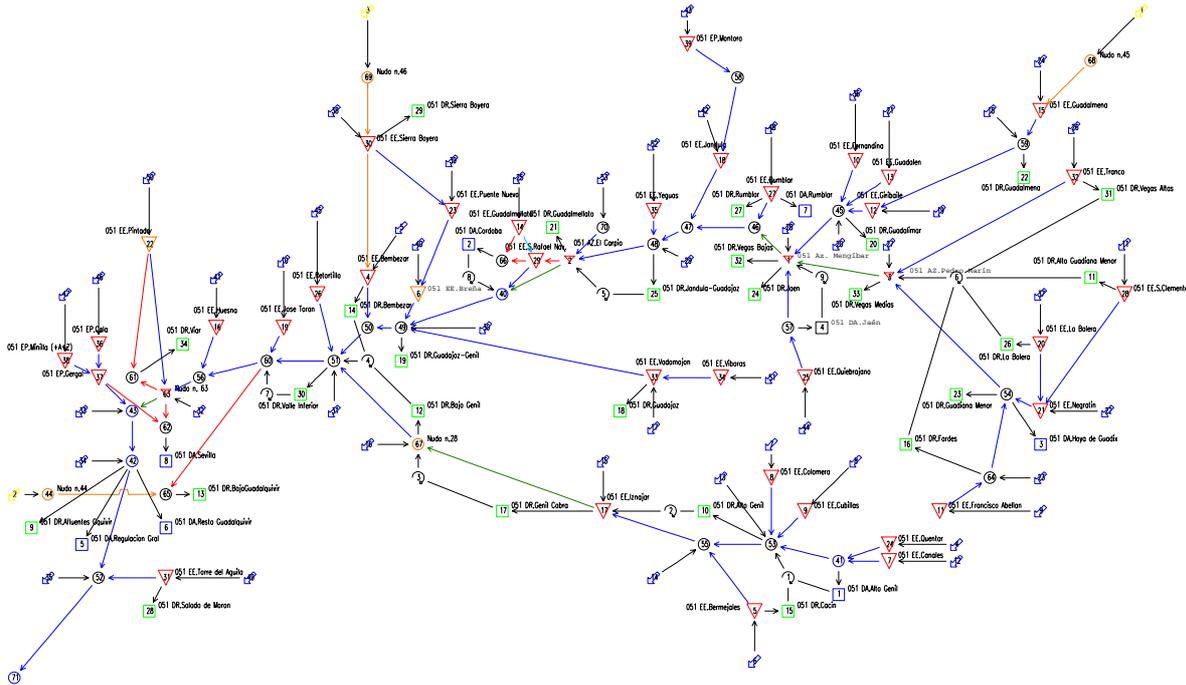


Figura 131. Sistema básico de explotación de la cuenca del Guadalquivir en la situación actual

Este sistema es el que se somete a optimización de la gestión y análisis de la regulación general, con los resultados que seguidamente se exponen.

7.3. RESULTADOS OBTENIDOS

7.3.1. LA SITUACIÓN DE REFERENCIA

La primera situación analizada, denominada de referencia, corresponde al parque de infraestructura hidráulica actual, a la demanda urbana e industrial prevista a largo plazo (segundo horizonte del Plan de cuenca) y a la demanda de riegos actual. Por tanto, se trataría de la situación actual, salvo en lo referente a la demanda de abastecimiento de poblaciones e industrias, donde se considera la situación futura.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que la cuenca dispone de una baja garantía (fallos frecuentes) y alta vulnerabilidad (fallos importantes), de modo que en el futuro no podrían afrontarse los incrementos de demanda urbana ni la demanda para regadíos, aunque ésta se mantuviera en su nivel actual y no se desarrollaran nuevas zonas de riego.

Considerando el periodo de análisis completo empleado en este Plan Hidrológico (1940/41-1995/96) fallarían 25 de las 34 unidades de demanda consideradas, con fallos de importante magnitud, incluso en las principales poblaciones. La garantía volumétrica conjunta obtenida globalmente para el sistema sería de un 92,0%. Las salidas al mar en este caso serían, sin embargo, de más de 4.100 hm³/año de media.

El análisis de los volúmenes de socorro, definidos como los mínimos necesarios para llegar a cumplir el criterio de garantía, pone de manifiesto la precaria situación de la cuenca. En el caso del abastecimiento urbano e industrial (figura siguiente) se aprecia la necesidad de movilizar importantes recursos extraordinarios en la crisis de los 80 y los 90, especialmente en el abastecimiento al sistema Sevilla.

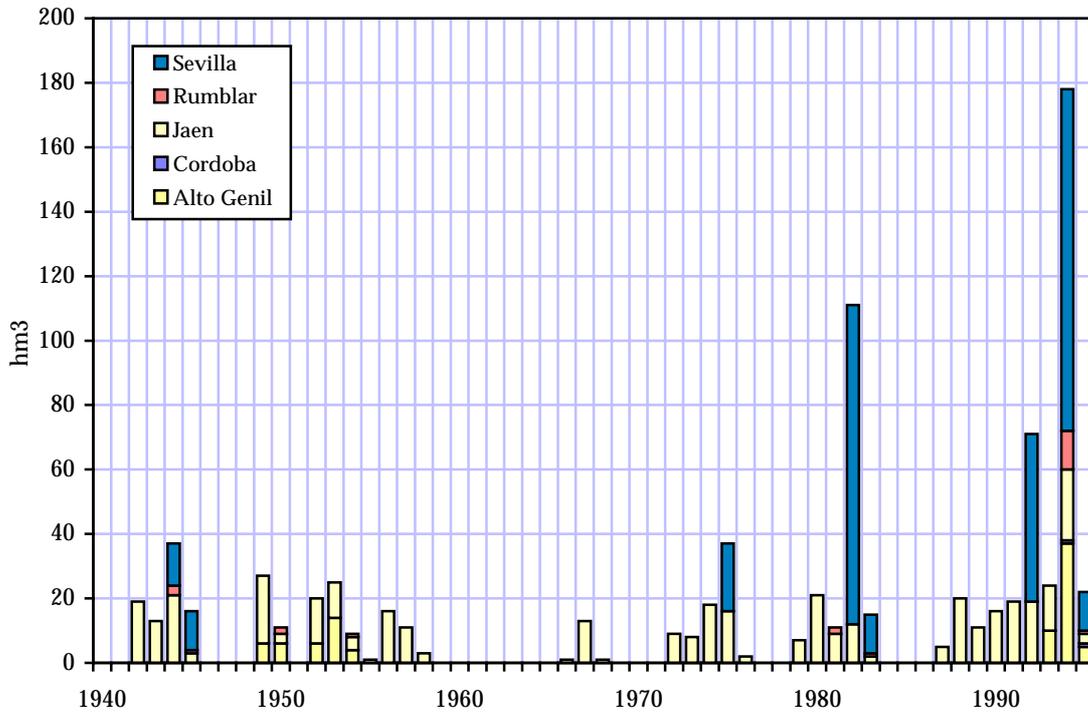


Figura 132. Volúmenes de socorro y tomas de emergencia para las unidades de demanda urbana e industrial en la situación de referencia

En la figura siguiente se muestra la enorme cuantía de los recursos extraordinarios que es preciso movilizar en la crisis de los 90, principalmente para riego. Como referencia, esta cuantía es tal que llegaría a sobrepasarse el límite superior absoluto de disponibilidad adicional de aguas subterráneas estimado anteriormente (900 hm³/año), lo que refleja las dificultades para alcanzar un suministro mínimamente satisfactorio.

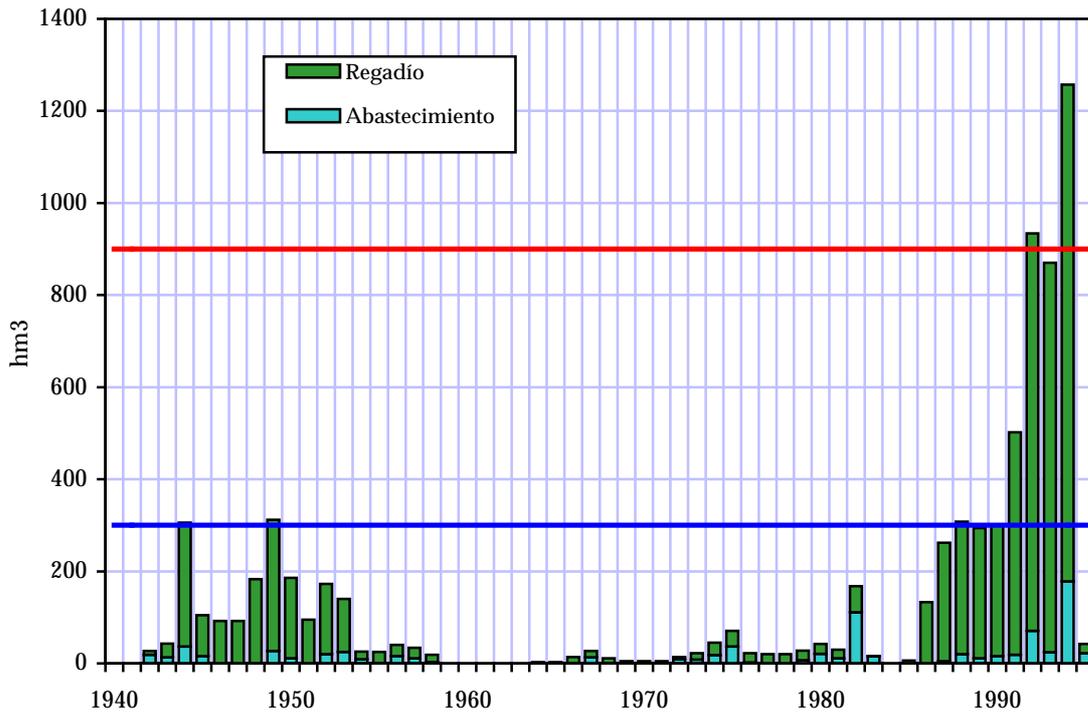


Figura 133. Volúmenes de socorro y tomas de emergencia para abastecimiento urbano e industrial y regadíos en la situación de referencia

Estas crisis se han acusado especialmente en la gran mayoría de los regadíos con agua superficial. Como se aprecia en la tabla siguiente, referida a las campañas de riego desde 1981 a 2000, que incluyen dos periodos de escasa pluviometría, en la mitad de las campañas los agricultores han dispuesto de una dotación inferior al 75% de la normal, y un tercio de los años prácticamente no se ha podido regar, lo que se traduce en una situación ciertamente insostenible (Corominas, 2000b)

Dotación suministrada (% respecto a la normal)	Campañas de riego	Impacto negativo sobre los cultivos
85-100	7	Escaso
65-85	6	Medio
35-65	2	Alto
0-35	5	Muy alto
Total	20	

Tabla 51. Impacto de las sequías en los regadíos con agua superficial del Guadalquivir

En la tabla siguiente, elaborada con datos de López Martos y Rodríguez Ferrero (1997), se muestran las reducidas dotaciones de que se dispuso en algunas zonas de riego durante la campaña del 93.

Denominación	Superficie ha	Dotación media período 88-92 m ³ /ha	Dotación año 93 m ³ /ha	Dotación media período 88-93 m ³ /ha
Bajo Guadalquivir	54.050	4.774	52	3.987
Guadalmellato	7.535	6.111	0	5.093
Vegas Altas Jaén	2.517	5.842	2.394	5.268
Bembézar	15.376	7.964	302	6.687
Rumblar	5.172	6.650	2.446	5.949
Viar	11.749	8.208	289	6.888
Salado Morón	1.823	6.785	2.946	6.145

Tabla 52. Suministro de agua a zonas regables del Guadalquivir

Todo ello pone de manifiesto la precariedad del sistema de explotación y la urgente necesidad de acometer actuaciones de corrección en esta cuenca tendentes a paliar esta irregularidad de suministro. A avanzar en este análisis se dedican los epígrafes que siguen.

7.3.2. EL EFECTO DE LA MEJORA Y MODERNIZACIÓN DE ZONAS REGABLES

Una primera posibilidad importante de actuación consiste en la modernización de zonas de riego. En la cuenca se han identificado diversas posibilidades de ahorro como consecuencia de programas de modernización y mejora de zonas regables identificados en el propio Plan de cuenca o en trabajos anteriores (MOPT, 1992).

En la siguiente tabla se reúnen algunas de las estimaciones disponibles sobre los posibles ahorros alcanzables en diversas zonas de riego.

Zona	UDA	Ahorro posible (hm ³ /año) (MOPT,1992))	Reducción de demanda (hm ³ /año) (PHG, Normas)	Ahorro bruto (hm ³ /año) (PHG, Anejo V)
Sector B-XII	Bajo Guadalquivir	2		39
Salado de Morón	Salado de Morón	1	6	3
Cacín	Cacín	6		
Guadalentín	La Bolera	6		11
Viar	Viar	19	16	16
Bembézar MD	Bembézar	24		19
Bembézar MI	Bembézar	7		6
Guadalmellato	Guadalmellato	15		14
Fuente Palmera		11		1
Rumblar	Rumblar	6	17	2
Jandulilla	Vegas Medias	1		
Genil MD	Bajo Genil	1		4
Genil MI	Bajo Genil	2		8
Bajo Guadalquivir	Bajo Guadalquivir	24		74
Vegas Altas				3
Vegas Medias	Vegas Medias	1		7
Vegas Bajas	Vegas Bajas			4
Guadalén	Guadalén			1
Guadalmena	Guadalmena			2
Valle Inferior	Valle Inferior			30

Tabla 53. Posibilidades de ahorro en zonas de riego del Guadalquivir según diversas fuentes

Eligiendo la envolvente de los máximos ahorros alcanzables, de acuerdo con el criterio general de este Plan Nacional para las cuencas con riesgo de escasez, se obtiene la siguiente tabla, donde se muestran los ahorros brutos de cálculo correspondientes a cada zona.

Zona	UDA	Ahorro bruto de cálculo (hm ³ /año)
Sector B-XII	Bajo Guadalquivir	39
Salado de Morón	Salado de Morón	6
Cacín	Cacín	6
Guadalentín	La Bolera	11
Viar	Viar	19
Bembézar MD	Bembézar	24
Bembézar MI	Bembézar	7
Guadalmellato	Guadalmellato	15
Fuente Palmera	Guadajoz-Genil	11
Rumblar	Rumblar	17
Jandulilla	Vegas Medias	1
Genil MD	Bajo Genil	4
Genil MI	Bajo Genil	8
Bajo Guadalquivir	Bajo Guadalquivir	74
Vegas Altas	Vegas Altas	3
Vegas Medias	Vegas Medias	7
Vegas Bajas	Vegas Bajas	4
Guadalén	Guadalimar	1
Guadalmena	Guadalmena	2
Valle Inferior	Valle Inferior	30
Total		289

Tabla 54. Ahorros brutos de cálculo en las zonas regables objeto de mejora

Con estos ahorros brutos se modifican los valores de demanda de cada UDA del modelo, como se muestra en la tabla siguiente.

UDA	Ahorro bruto de cálculo (hm ³ /año)	Demanda UDA actual (hm ³ /año)	Demanda UDA con ahorro (hm ³ /año)
Bajo Guadalquivir	113	957	844
Salado de Morón	6	14	8
Cacín	6	41	35
La Bolera	11	42	31
Viar	19	101	82
Bembézar	31	136	105
Guadalmellato	15	74	59
Guadajoz-Genil	11	59	48
Rumblar	17	40	23
Bajo Genil	12	166	154
Vegas Altas	3	42	39
Vegas Medias	8	48	40
Vegas Bajas	4	34	30
Guadalimar	1	46	45
Guadalmena	2	16	14
Valle Inferior	30	188	158
Total	289		

Tabla 55. Demanda resultante en las Unidades de Demanda Agraria (UDA) una vez considerado el ahorro bruto de cálculo

Los resultados correspondientes a esta nueva situación ponen de manifiesto que la garantía volumétrica mejoraría apreciablemente, alcanzando un 94,6%.

El análisis de los volúmenes de socorro refleja asimismo esta mejora, como se aprecia en la figura siguiente, aunque en la crisis de los 90 seguiría siendo precisa la movilización de cuantiosos recursos extraordinarios.

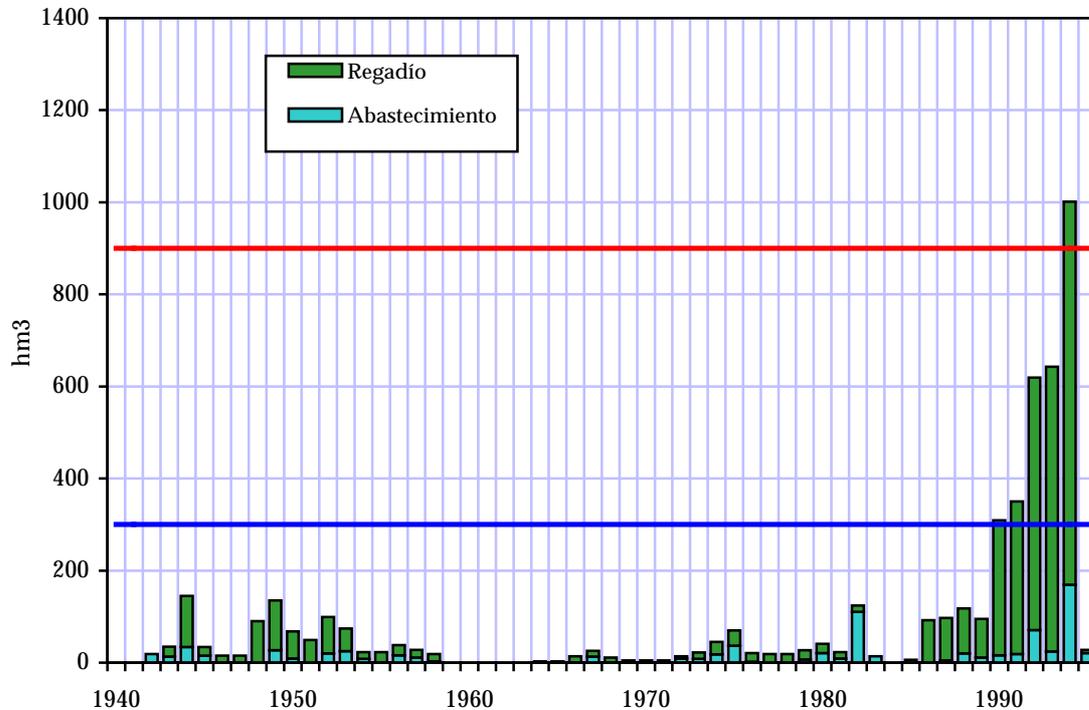


Figura 134. Volúmenes de socorro y tomas de emergencia para abastecimiento urbano e industrial y regadíos en la situación de mejora y modernización de regadíos

Respecto a la modernización y mejora de regadíos debe recordarse que, como señalan algunos especialistas, han de contemplarse desde la doble vertiente agronómica e hidráulica, pues el ahorro de agua que se obtiene no justifica *per se* la inversión necesaria, por lo que debe priorizarse la modernización de los regadíos que permitan la diversificación de cultivos y aumenten su competitividad (Corominas, 2000a).

7.3.3. EL EFECTO DE ALGUNAS ACTUACIONES EN INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA CATALOGADAS EN EL PLAN DE CUENCA

Continuando el estudio de posibles medidas para la mejora de la cuenca, en el análisis del sistema se han estudiado a continuación los efectos de algunas de las principales actuaciones en infraestructura hidráulica previstas en el Plan Hidrológico del Guadalquivir.

De todas las actuaciones catalogadas en el Plan se han incluido en el esquema de análisis las siguientes:

- **Intercambio de caudales entre el embalse del Pintado y Regulación general. Impulsión a cabecera del canal del Viar**
Consiste en una estación de bombeo y conducción de impulsión a la cabecera del canal del Viar. Permitirá el aprovechamiento de las aguas de gran calidad del embalse del Pintado, acualmente destinados a los riegos del Viar, para el abastecimiento de Sevilla, abasteciendo los riegos del Viar con aguas de la Regulación General, mediante bombeo desde el Guadalquivir.
- **Incremento de recursos abastecimiento a Sevilla y su zona de influencia**
Esta actuación consiste en la impulsión desde la estación del Viar al canal del Viar, la conexión del futuro embalse de Melonares con el embalse de Gergal, la impulsión del río Guadalquivir a la toma del canal del Viar, la conexión de la conducción de abastecimiento del Huesna con los depósitos de la cola del abastecimiento de Sevilla en Alcalá de Guadaíra y la reparación y adecuación del canal de La Minilla.
- **Incremento de regulación del río Viar. Presa de Los Melonares**
- **Regulación del río Genil aguas abajo del embalse de Iznájar. Embalse de San Calixto**
- **Regulación del río Arenoso. Presa del río Arenoso**
- **Regulación de la cuenca del río Guadiato. Nueva presa de La Breña y azud de derivación**
- **Regulación de la cuenca del río Guadiato. Estación de bombeo al nuevo embalse de la Breña**
Consiste en un bombeo para 50 m³/s y una altura de 110 m.
- **Mejora del abastecimiento del sistema Quiebrajano-Víboras**
Consiste en la mejora de las infraestructuras existentes, construcción de conducciones, estaciones de bombeo, dos estaciones de tratamiento de agua potable y depósitos. Permitirá cubrir la demanda de la población del sistema de explotación Jaén.

Desde el punto de vista de la modelación del sistema, estas actuaciones se traducen en la inclusión de cuatro nuevos embalses y un conjunto de nuevas conexiones.

Según el Plan de cuenca, la capacidad máxima mensual de los cuatro embalses para considerar el resguardo para control de avenidas y sus volúmenes mínimos son los indicados en la tabla siguiente.

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	MIN
San Calixto	70	70	57	56	55	59	67	70	70	70	70	70	5
Melonares	185	185	157	157	157	163	185	185	185	185	185	185	15
La Breña II	800	800	656	656	656	656	800	800	800	800	800	800	20
Arenoso	102	102	76	87	87	87	102	102	102	102	102	102	5

Tabla 56. Embalses de regulación futuros considerados en el esquema

El embalse de San Calixto se sitúa en un nuevo nudo aguas abajo del embalse de Iznájar, y el embalse de Arenoso en un nuevo nudo de este río, mientras que Melonares se sitúa en el mismo nudo del Pintado y la Breña II en el mismo emplazamiento de la Breña, sumando en estos dos últimos casos la capacidad de los nuevos embalses a las de los ya existentes.

En cuanto a las nuevas conexiones consideradas suponen introducir los siguientes elementos y modificaciones:

- Conducción desde el embalse del Víboras al nudo de abastecimiento del sistema Jaén
- Conducción desde el Guadalquivir al nuevo embalse de La Breña
- Conducción desde el Guadalquivir al nuevo embalse de Arenoso
- Conducción desde el embalse de Huesna al nudo de abastecimiento del sistema Sevilla
- Conducción desde el canal del Viar al embalse de Gergal
- Ampliación de la toma existente en el Guadalquivir para los riegos del Viar.

Con todos estos nuevos elementos, el esquema finalmente resultante es el indicado en la figura siguiente.

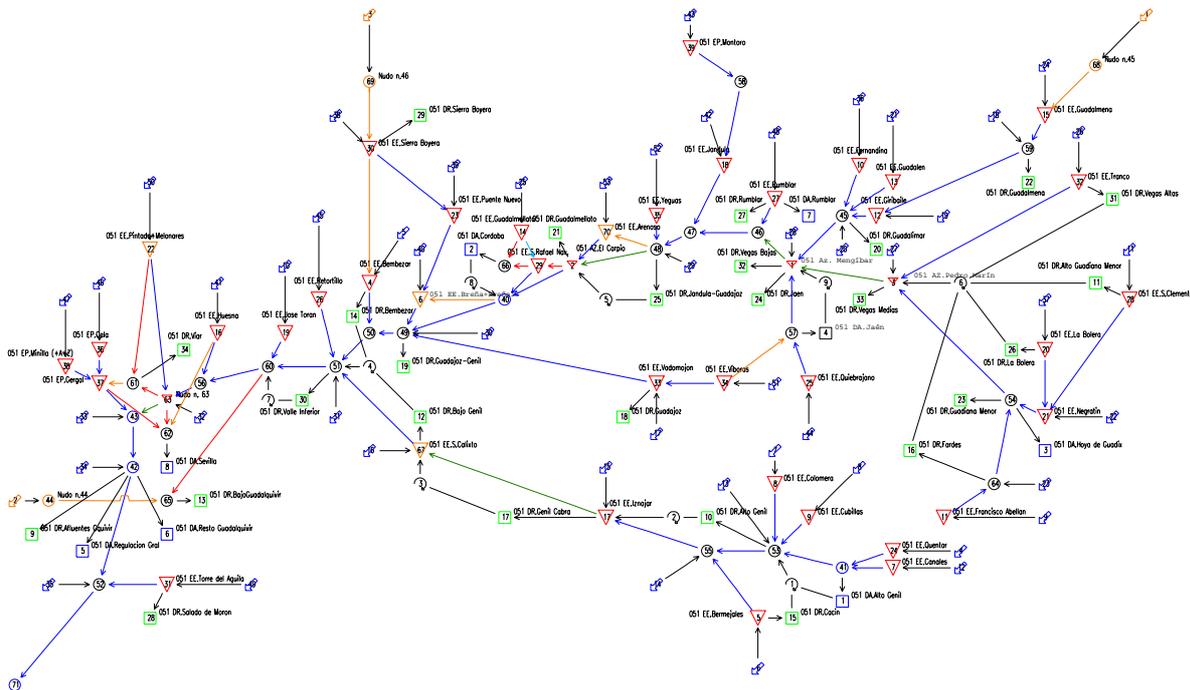


Figura 135. Sistema básico de explotación de la cuenca del Guadalquivir en situación futura con algunas de las actuaciones previstas en el Plan de cuenca

No se han incluido en el esquema algunas otras infraestructuras en principio no significativas en el esquema global pero que podrían tener una gran importancia local, principalmente en algunos de los sistemas más deficitarios, como el Alto Genil, la Hoya de Guadix o el Alto Guadiana Menor. Es el caso de las presas de Jesús del Valle y

Velillos (Alto Genil), Solana del Peñón y Gor (Hoya de Guadix) y Portillo (Alto Guadiana Menor).

Con las actuaciones incluidas en el esquema de cálculo la garantía volumétrica global del sistema alcanzaría el 95,2%. Las poblaciones más importantes cumplirían el criterio de garantía más estricto de este Plan Nacional (déficit acumulados del 2, 3 y 10%), con algunas mejoras muy sustanciales, como es el caso del abastecimiento al sistema Jaén. Todo esto supondría en definitiva, un muy importante aumento de la garantía o fiabilidad global del sistema, situándose en cifras más aceptables.

Esta situación se refleja en el análisis de los socorros que, en el caso del abastecimiento urbano, solo se requerirían puntualmente en algunas unidades si se repitiera una crisis como la de los 90, y con unos volúmenes cuya movilización técnica es en principio perfectamente viable.

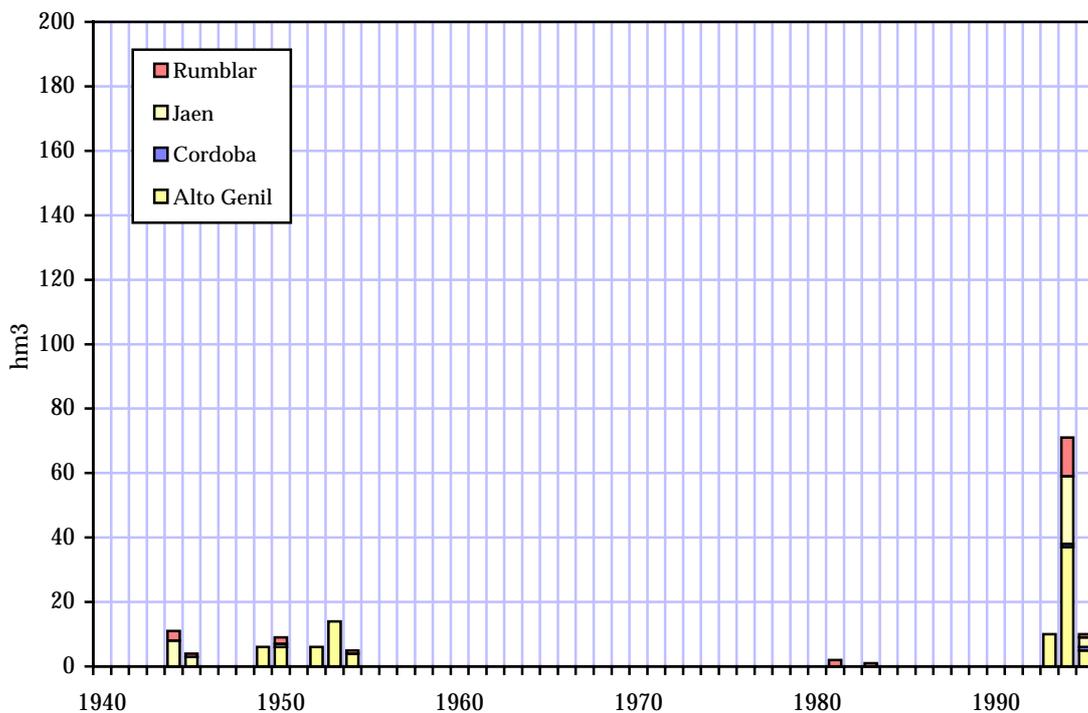


Figura 136. Volúmenes de socorro y tomas de emergencia para las unidades de demanda urbana e industrial en la situación de nuevas infraestructuras

En el caso de los regadíos se seguirían precisando importantes volúmenes si se repitiera una crisis como la de los 90, según puede apreciarse en la figura siguiente.

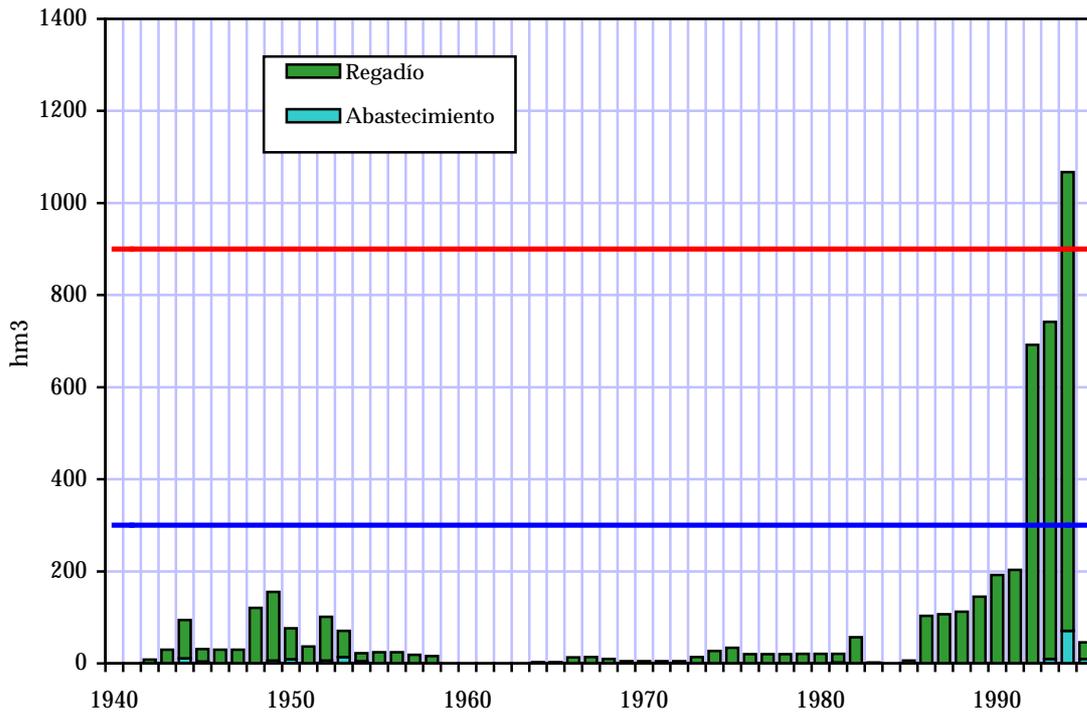


Figura 137. Volúmenes de socorro y tomas de emergencia para abastecimiento urbano e industrial y regadíos en la situación de nuevas infraestructuras

7.3.4. EL EFECTO DE POSIBLES APORTES EXTERNOS

Tras el análisis de las actuaciones propias del ámbito del Plan de cuenca, y las mejoras que estas actuaciones conllevarían, se ha procedido a analizar el efecto que posibles transferencias de otros ámbitos tendrían en la resolución de los problemas de escasez de esta cuenca. Para ello, el análisis efectuado consiste en la optimización de combinaciones de aportes externos que podrían incorporarse físicamente a la cuenca a través de dos posibles puntos.

El primero de ellos es el río Guadiato, aguas arriba del embalse de Sierra Boyera, donde podrían incorporarse recursos procedentes del Tajo medio, derivados desde el embalse de Azután. Esta incorporación también podría realizarse en el embalse de Bembézar, en el río Bembézar, prolongando la conducción desde el río Guadiato, tal y como se refleja en el esquema general.

El segundo punto de posible incorporación de recursos externos es el embalse de Guadalmena, en el río Guadalmena, donde podrían recibirse recursos derivados del Acueducto Tajo-Segura a la altura de La Herrera, aguas arriba del túnel de Talave.

En el esquema también se ha representado un posible punto de incorporación de recursos procedentes del ámbito del Plan Guadiana II. Dado que esta solución es topológicamente equivalente a los otros dos aportes externos, su impacto sobre las garantías está embebido en ellos, y no requiere de consideración específica a estos efectos.

La tabla de doble entrada adjunta muestra el número de demandas del sistema que presentarían fallos ordinarios, en función de que el aporte externo se reciba a través del río Guadiato o del río Guadalmena.

		Aporte Guadalmena (hm ³ /año)										
		0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Aporte Guadiato (hm ³ /año)	0	25	24	24	24	24	24	24	24	24	23	17
	100	23	23	23	23	23	23	23	23	22	16	16
	200	23	23	23	23	23	23	23	22	14	13	13
	300	23	23	23	23	23	23	15	13	13	13	13
	400	23	23	23	23	23	19	13	13	13	13	13
	500	23	23	23	23	23	13	13	13	13	13	13
	600	23	23	23	23	21	13	13	13	13	13	13
	700	22	22	22	23	19	13	13	13	13	13	13
	800	22	22	23	22	16	13	13	13	13	13	13
	900	22	22	23	22	16	13	13	13	13	13	13
	1000	22	22	23	22	16	13	13	13	13	13	13

Tabla 57. Número de fallos ordinarios del sistema

Como ya se ha señalado, si no se dispone de ningún aporte externo el sistema se hallaría en una situación de fallo prácticamente generalizado, con crisis de suministro de la mayoría de las demandas (25 de un total de 34). Ello significa que en el futuro no podrían afrontarse los incrementos de demanda urbana ni la demanda para regadíos, aunque ésta se mantuviera en su nivel actual y no se desarrollaran nuevas zonas de riego. El valor de la garantía volumétrica global que se obtendría para el sistema en tales circunstancias sería de un 92,0%, valor que se manifiesta claramente insuficiente.

La tabla siguiente muestra las salidas del sistema al mar, pudiendo apreciarse que, en esta situación de aporte externo nulo, se alcanzan paradójicamente valores medios de más de 4100 hm³/año, lo que representa más del 60% de las aportaciones totales del sistema y refleja un nivel de consumo relativamente bajo si se compara con otras cuencas.

		Aporte Guadalmena (hm ³ /año)										
		0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Aporte Guadiato (hm ³ /año)	0	4133	4190	4267	4350	4435	4522	4608	4698	4792	4888	4985
	100	4184	4258	4339	4424	4509	4598	4691	4785	4880	4975	5073
	200	4255	4332	4415	4503	4594	4687	4780	4873	4969	5065	5162
	300	4333	4412	4500	4593	4685	4776	4869	4965	5061	5157	5257
	400	4418	4501	4592	4685	4777	4869	4964	5061	5157	5254	5354
	500	4515	4597	4689	4783	4874	4966	5062	5159	5255	5353	5453
	600	4612	4695	4788	4880	4972	5064	5161	5257	5354	5453	5553
	700	4710	4794	4886	4978	5070	5162	5260	5357	5453	5553	5653
	800	4810	4893	4986	5078	5169	5262	5360	5457	5553	5653	5753
	900	4910	4993	5086	5178	5269	5362	5459	5557	5653	5753	5853
	1000	5010	5093	5186	5278	5369	5462	5559	5656	5753	5853	5953

Tabla 58. Salidas del sistema al mar (hm³/año)

También puede apreciarse que los aportes externos, aún llegando a ser de muy elevada cuantía, presentan un mínimo efecto en la reducción de fallos del sistema. Incluso alcanzando cifras de 1.000 hm³ anuales por cada una de las posibles vías de incorporación de aportes externos, es decir, con una transferencia total de 2.000 hm³/año, seguirían presentándose fallos ordinarios en diversas unidades de demanda (13 de 34).

En esta situación, la garantía volumétrica global del sistema alcanzaría un valor de 97,1%. Al mismo tiempo se registrarían unas salidas del sistema al mar de cerca de 6.000 hm³/año, lo que supone más de un 88% de la aportación natural y refleja el escasísimo grado de aprovechamiento que se haría de los recursos transferidos, que en su mayor parte pasarían a constituir salidas directas del sistema al mar. Como puede verse, a partir de cierta cuantía de aportes los nuevos volúmenes entrantes son directamente transportados al mar en su totalidad, sin aprovechamiento alguno.

Avanzando más en la investigación, se han calculado los volúmenes anuales de socorro (definidos como los mínimos necesarios para llegar a cumplir el criterio de garantía) para todas las demandas del sistema, y su suma, considerada el socorro anual. Las tablas adjuntas muestran la cuantía máxima de socorros anuales y su cuantía media.

		Aporte Guadalmena (hm ³ /año)										
		0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Aporte Guadiato (hm ³ / año)	0	1257	1256	1249	1180	1076	970	863	765	652	539	526
	100	1183	1169	1169	1087	985	874	776	662	568	522	514
	200	1073	1073	1073	987	875	777	664	526	404	403	403
	300	966	966	967	881	777	664	408	403	403	403	403
	400	884	869	869	782	666	432	403	403	403	403	403
	500	855	828	828	748	630	403	403	403	403	403	403
	600	812	790	790	668	553	403	403	403	403	403	403
	700	762	727	709	583	517	403	403	403	403	403	403
	800	751	714	694	570	514	403	403	403	403	403	403
	900	751	714	694	570	515	403	403	403	403	403	403
	1000	751	714	694	570	514	403	403	403	403	403	403

Tabla 59. Volúmen máximo anual de socorro (hm³/año)

		Aporte Guadalmena (hm ³ /año)										
		0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Aporte Guadiato (hm ³ / año)	0	338	291	288	258	234	182	149	137	106	89	82
	100	309	288	253	226	175	147	138	106	93	83	78
	200	272	250	221	172	147	138	106	85	73	66	66
	300	219	191	169	147	138	103	77	66	66	66	66
	400	182	158	148	138	106	77	66	66	66	66	66
	500	169	149	141	128	100	73	66	66	66	66	66
	600	163	145	138	109	91	66	66	66	66	66	66
	700	144	129	116	99	84	66	66	66	66	66	66
	800	135	121	116	94	84	66	66	66	66	66	66
	900	135	121	116	94	84	66	66	66	66	66	66
	1000	135	121	116	94	84	66	66	66	66	66	66

Tabla 60. Volúmen medio anual de socorro (hm³/año)

Como se observa, el socorro máximo anual requerido en situación de aporte externo nulo es del orden de 1.300 hm³/año, y no puede reducirse por debajo de 400 por más que aumenten indefinidamente los trasvases.

Avanzando otro paso en el análisis del sistema, se ha estudiado su comportamiento bajo el supuesto de que no haya unos suministros anuales permanentes, sino permitiendo que el sistema tome lo que necesite en cada momento, sin limitación inicial alguna, como si estuviese conectado en cada origen de aportación externa a un embalse infinito, y bajo los dos supuestos de aportes a 12 y a 8 meses. La figura siguiente muestra el resultado obtenido.

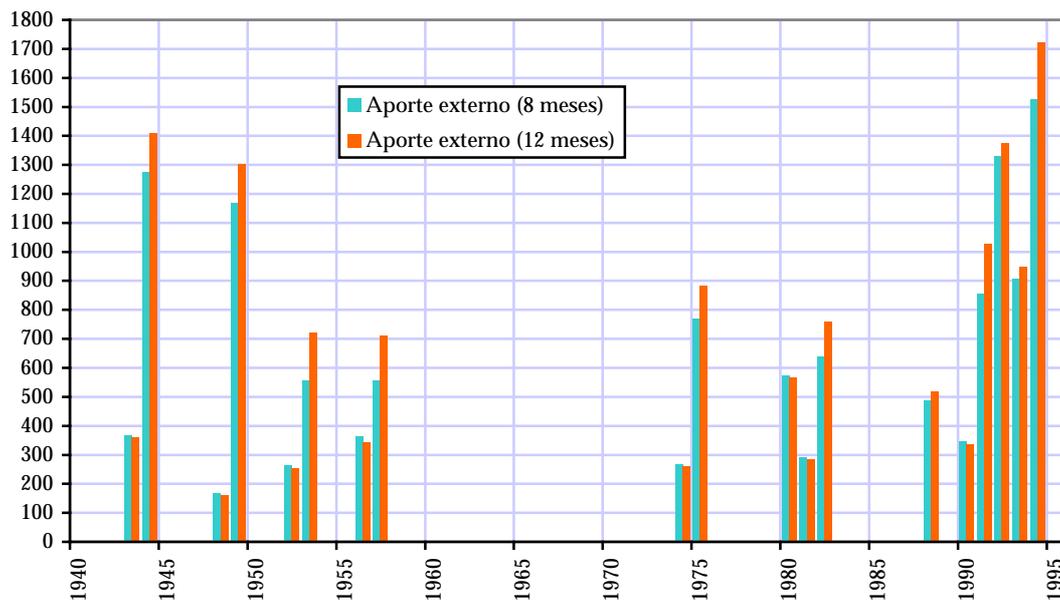


Figura 138. Volúmenes anuales tomados por el sistema en la situación de referencia y no limitación en aporte externo

Como se observa, los resultados en ambos supuestos de régimen a 12 y a 8 meses son similares. Puede verse, asimismo, que la mayor parte de los años no se requiere captar nada, y solo en 19 años sería necesaria la derivación, que en algunos años alcanzaría valores extraordinariamente elevados (del orden de 1.500-1.700 hm³)

Es interesante comparar estos resultados con los obtenidos realizando el mismo análisis para las cuencas del Segura-Almería, Júcar y Cataluña. La inspección conjunta de los gráficos permite apreciar nítidamente modos de comportamiento diferentes, ilustrativos de las distintas situaciones de requerimientos externos.

El análisis efectuado no hace, en definitiva, sino poner de manifiesto con absoluta claridad un resultado muy importante, que es el de la muy escasa eficacia que presentaría la transferencia de recursos externos para la resolución de los serios problemas de escasez de la cuenca del Guadalquivir. Y ello incluso para cuantías de los aportes muy elevadas, cuya propia viabilidad técnica, en cuanto a la disponibilidad de dichos recursos, sería más que dudosa.

Esta falta de eficacia es consecuencia, entre otras cosas, de la propia configuración topológica del sistema, con la situación relativa de las unidades de demanda, de las infraestructuras de regulación existentes, y de los puntos de posible incorporación de aportes externos.

Además, tal ineficacia de las posibles transferencias coexistiría con un relativamente bajo nivel de utilización de los recursos generados en la cuenca, como pone de manifiesto la elevada cuantía relativa de las salidas del sistema al mar.

En relación con esto, se dispone en principio de un importante margen de incremento de la capacidad de regulación del sistema, de acuerdo con la relación de embalses futuros catalogados en el Plan Hidrológico de cuenca. Este catálogo, que totaliza unos 1.400 hm³ de capacidad, representa un 20% de la capacidad actual considerada en el esquema (6.734 hm³) y revela que, aún no desarrollándose en su integridad por razones ambientales o económicas, se dispone de posibilidades ciertas de actuación en la regulación de la cuenca, con el consiguiente incremento de las disponibilidades propias. Los estudios de viabilidad económico-ambiental de estas regulaciones determinarán finalmente cuáles son las posibilidades reales de actuación.

Por otra parte, el hecho de que coexistan en la misma cuenca grandes aportaciones con déficit de suministro sugiere también la posibilidad cierta de desarrollar conexiones internas, entre subsistemas, que permitan incrementar las garantías de servicio.

A ello debe añadirse otro posible margen de incremento en el aprovechamiento de las aguas subterráneas, estimado en este Plan Nacional en un máximo teórico entre 300 y 900 hm³/año por encima de los volúmenes actualmente aplicados, sin perjuicio de las correcciones a la baja que puedan introducirse en estas cifras por razones medioambientales o de bombeos no identificados. Una parte de estos bombeos actuales no catalogados puede estar contribuyendo significativamente a equilibrar el balance, paliando los fallos extremos de suministro resultantes en el modelo.

7.3.5. EL EFECTO DE LAS ACTUACIONES COMBINADAS

Una vez analizadas las distintas posibilidades de actuación por separado se analizan seguidamente los efectos de acometerlas de forma conjunta. Ello proporciona una imagen encajada de las posibilidades reales de mejora actuando dentro de la propia cuenca, y el papel que jugaría un trasvase al Guadalquivir desde otro ámbito externo.

En primer lugar se analizan los efectos de combinar las actuaciones de mejora y modernización de regadíos con la realización de las nuevas infraestructuras seleccionadas. En tal caso, la garantía volumétrica obtenida es de un 96,4% para el conjunto del sistema, con un 99,4% para las demandas de abastecimiento urbano e industrial y un 95,8% para las demandas de riego, cifras que se pueden considerar muy aceptables.

El análisis de los socorros pone de manifiesto que estos serían más reducidos, limitándose a tres unidades de demanda urbana en una situación tan grave como la de los años 90.

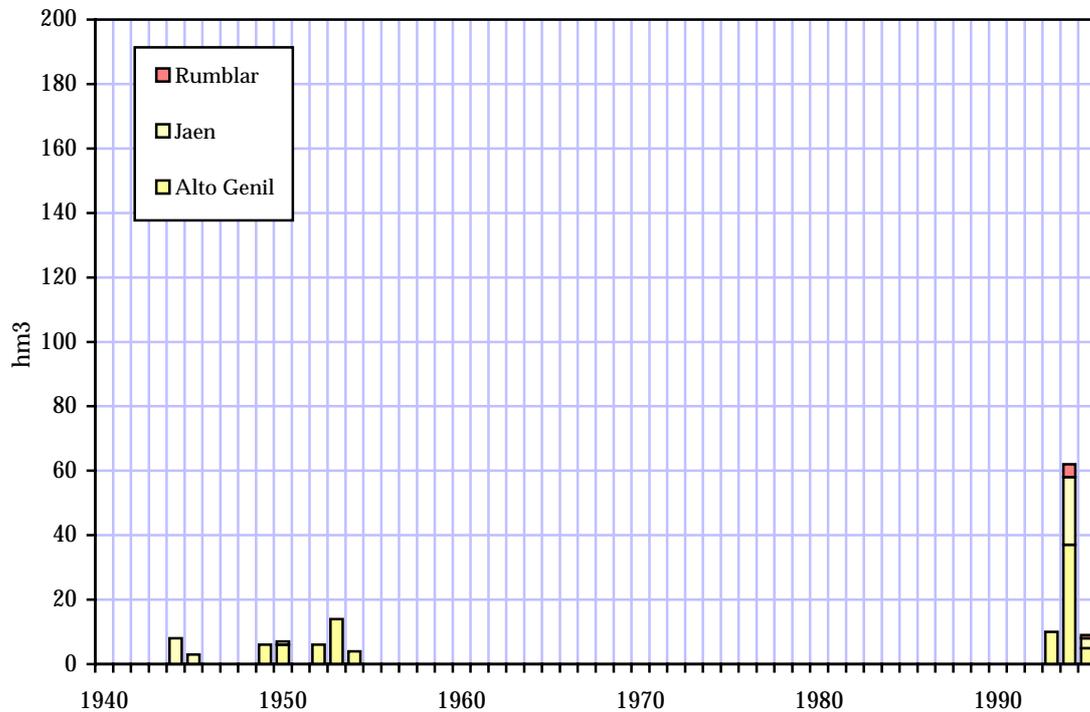


Figura 139. Volúmenes de socorro y tomas de emergencia para las unidades de demanda urbana e industrial en la situación de mejora de regadíos y nuevas infraestructuras

Como se aprecia en la figura siguiente, los socorros precisos para el riego serían la mayor parte del tiempo bastante inferiores a la disponibilidad mínima teórica adicional de aguas subterráneas (300 hm³), y tan solo superarían esta cifra en dos de los años de la crisis de los 90, situándose, en todo caso, por debajo de la máxima disponibilidad teórica (900 hm³).

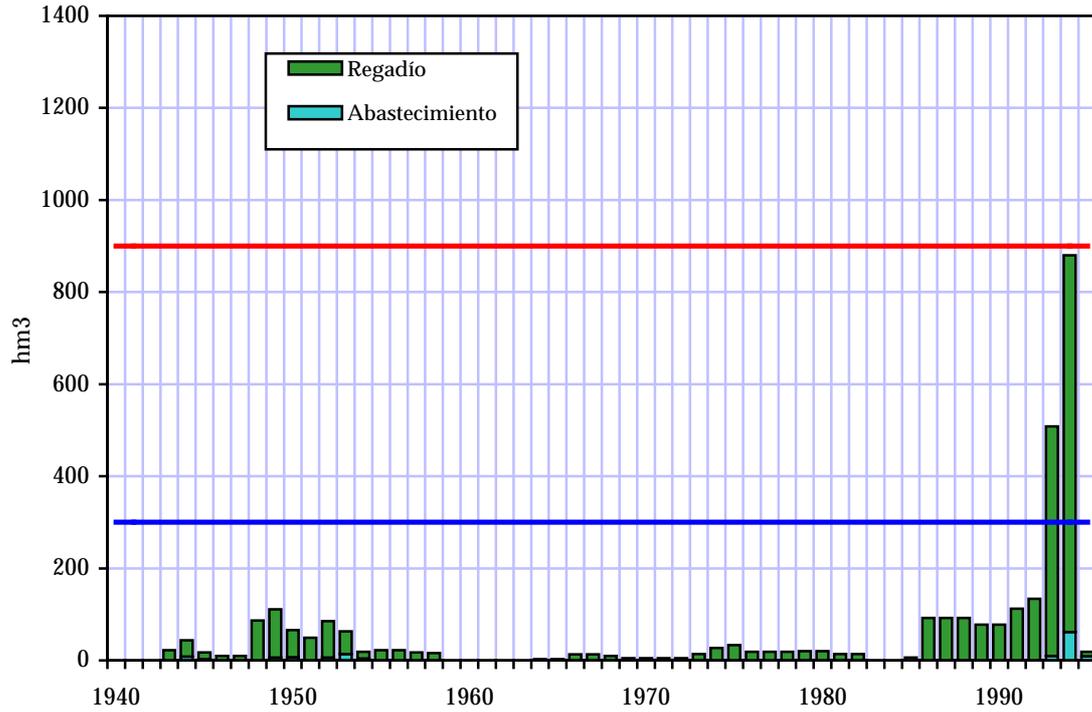


Figura 140. Volúmenes de socorro y tomas de emergencia para abastecimiento urbano e industrial y regadíos en la situación de mejora de regadíos y nuevas infraestructuras

Si en estas condiciones, una vez llevadas a cabo las mejoras de los regadíos y ejecutadas las nuevas infraestructuras hidráulicas, se planteara una transferencia externa sin limitaciones de toma, el resultado sería el que se presenta en la figura siguiente, para el supuesto de aporte en 8 meses.

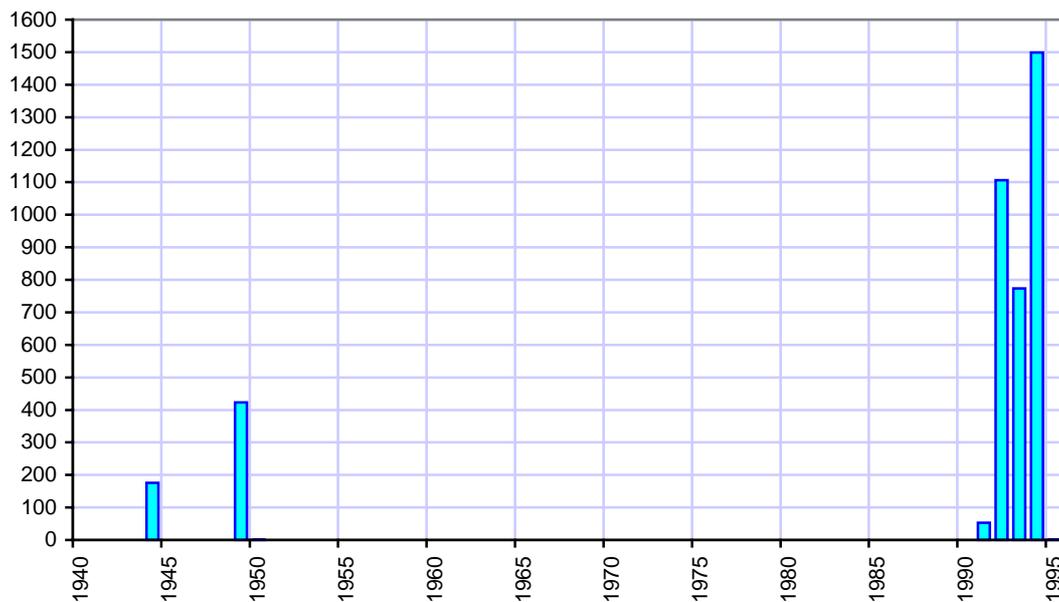


Figura 141. Volúmenes anuales tomados por el sistema en la situación de mejora de regadíos y nuevas infraestructuras y no limitación en aporte externo

Como puede apreciarse, la hipotética transferencia operaría tan solo esporádicamente, permaneciendo inactiva la mayor parte del tiempo. Además, en algunos de los pocos años en que se necesitara, se precisarían volúmenes muy elevados (hasta 1.500 hm³). Es decir, se requeriría una infraestructura de muy grandes dimensiones que solo operaría de forma excepcional, lo que resultaría económicamente injustificable.

Si a ello se añade la viabilidad técnica de la movilización de los volúmenes de socorro, la opción de transferencia de recursos externos, una vez acometidos los programas de modernización y mejora de regadíos y ejecutadas las nuevas infraestructuras hidráulicas requeridas, resulta claramente descartable, por cuanto no supondría importantes mejoras y requeriría una gran infraestructura infrutilizada de forma casi permanente.

Finalmente, si se opta por un aporte continuo anual fijo, de moderada cuantía, el ineficiente resultado sería el mostrado en las tablas de fallos y socorros anteriormente ofrecidas.

7.3.6. CONCLUSIONES

En definitiva, y de acuerdo con las consideraciones expuestas, en este Plan Hidrológico Nacional se considera que los importantes problemas derivados de la escasez de disponibilidades en la cuenca del Guadalquivir, se resuelven en primera instancia, de modo más eficaz, en el ámbito del propio Plan Hidrológico de cuenca, que ofrece posibilidades ciertas de actuación y mejora a corto y medio plazo.

La transferencia de recursos procedentes de otros ámbitos se muestra en principio –y a diferencia de los otros sistemas deficitarios estudiados en este Plan Hidrológico Nacional- como una medida no eficaz para la resolución de tales problemas, pues aunque resultaría paliativa de las situaciones de crisis, no las puede superar enteramente con criterios de diseño racionales.

Por esta razón, en este Plan Nacional se recomienda en primera instancia el más puntual desarrollo y la rigurosa aplicación de las medidas de actuación propuestas en el Plan Hidrológico de la cuenca del Guadalquivir, y las actuaciones internas, de distintas tipologías (modernización y mejora de regadíos, aumento de la regulación, interconexión de subsistemas, y uso conjunto), en la línea de lo indicado en epígrafes anteriores.

Con ello se mejorará sustancialmente la actual falta de garantía y precariedad de suministro hidráulico a que se encuentra sometida esta cuenca.

8. CUENCA DEL SEGURA-ALMERÍA

8.1. INTRODUCCIÓN

En el marco del Plan Hidrológico de la cuenca del Segura se llevó a cabo un exhaustivo análisis técnico y jurídico del complejo sistema de explotación de esta cuenca, que resulta plenamente vigente y útil a los efectos del presente nuevo análisis para la planificación hidrológica nacional. Nos remitimos, pues, a esta referencia fundamental, que se asume básicamente, incorporando ahora algunas modificaciones puntuales correspondientes, por ejemplo, a detalles de homogeneización técnica con los otros sistemas estudiados, o a la actualización de series hidrológicas, tal y como se indicará en su momento.

Además, y por las razones que se expondrán, se ha incluido en este análisis un área de la cuenca del Sur, conjuntamente con la del Segura, configurando así un sistema conjunto que se denomina Segura-Almería.

En síntesis, los elementos y magnitudes fundamentales de este sistema de explotación son los que se describen seguidamente.

8.2. ELEMENTOS DEL SISTEMA

8.2.1. APORTACIONES

Los criterios y puntos de las aportaciones hídricas consideradas son los mismos que se tomaron en el sistema global del Plan Hidrológico de la cuenca del Segura, pero extendiéndose ahora las nuevas series mensuales hasta el año hidrológico 1995/96 mediante el modelo de evaluación de recursos desarrollado para el Libro Blanco del Agua en España.

La figura adjunta muestra la situación de los puntos básicos simulados en la cuenca del Segura, junto con los del área de Almería.

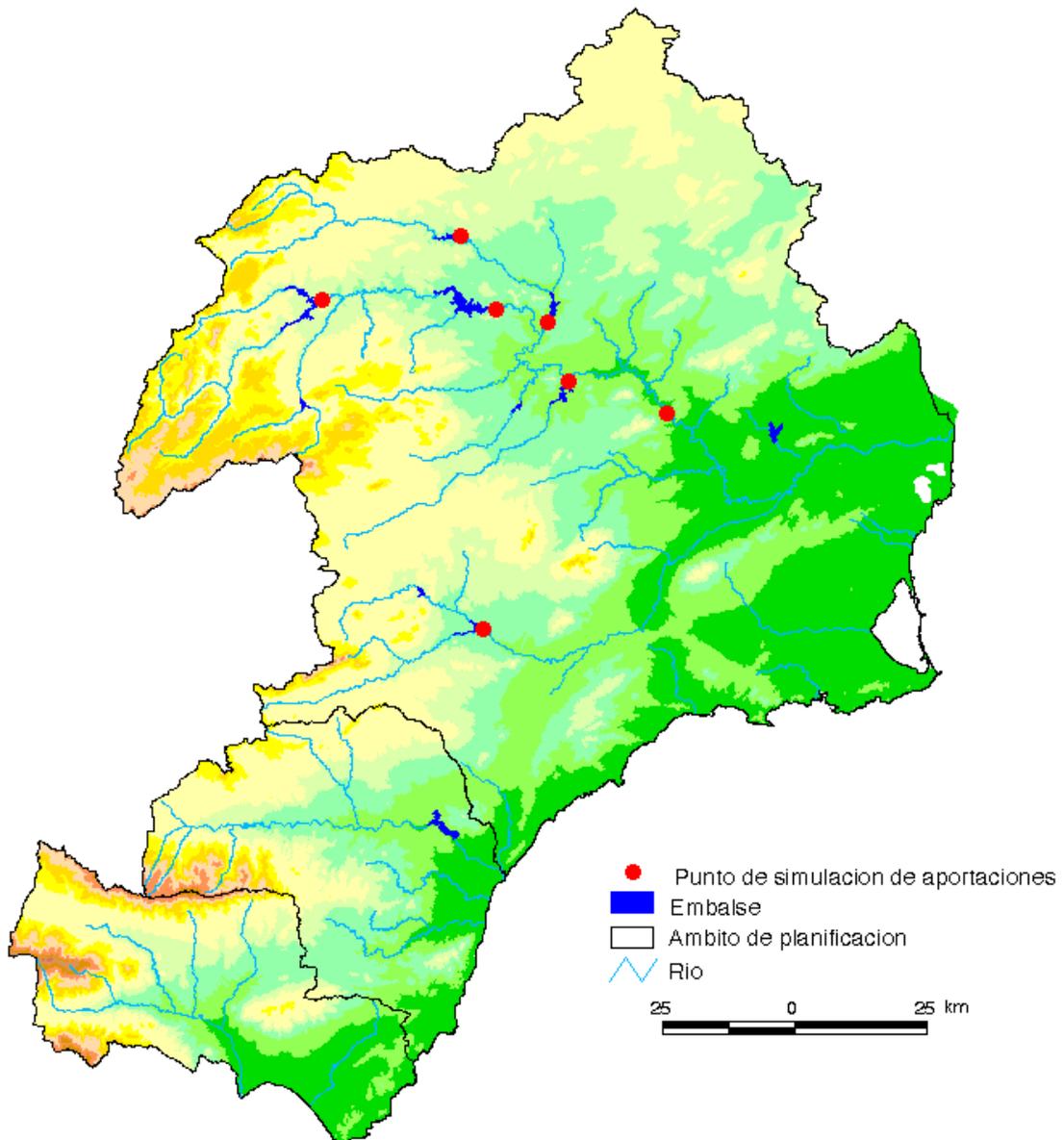


Figura 142. Puntos básicos de evaluación de recursos hídricos

Las detracciones netas son también las mismas que se evaluaron en el Plan Hidrológico de cuenca, incluyéndose las correspondientes a regadíos y abastecimientos (p.e. 8 hm³/año de regadíos y 3 de abastecimientos en cabecera del Guadalentín), pero las pérdidas por evaporación se introducen ahora de forma explícita en el modelo, y deben deducirse del coeficiente reductor. Asimismo, y a falta de estimaciones más precisas, se supone que la detracción neta correspondiente a Ojós mantiene la misma proporción respecto a sus recursos en régimen natural (que se han visto ahora reducidos con respecto a la estimación del Plan), que la estimada en el Plan Hidrológico. No existen aportes del Guadalentín al Segura, ni ganancia neta entre Ojós y Guardamar.

Con todo ello, se obtiene en definitiva el siguiente cuadro resumen.

Aportación	Aport. anual (hm ³)	Detr. neta (hm ³)	Aport. neta (hm ³)	Coef. red.
Fuensanta	275	14+2	259	0.94
Cenajo	75 (132-57)	15	60	0.45
Talave	116	7+3	106	0.91
Camarillas	43	40	0	0.00
Alfonso XIII	21	27	0	0.00
Ojós	94	71	23	0.24
Valdeinfierno	-	-	-	
Puentes	(23)	(8+3)	-	
Vald.-Puentes	23	8+3	12	0.52
	647	190	460	0.71

Tabla 61. Aportaciones hídricas consideradas en el sistema

Además de estas aportaciones propias de la cuenca, se incluyen dos posibles aportes externos que, sin perjuicio de que el origen del agua pueda ser cualquiera de los previstos en este Plan Hidrológico Nacional, entrarían físicamente a la cuenca o bien por el actual ATS, o bien por una nueva conducción procedente de Villena. Obviamente, la cuantía de tales aportes no es un dato previo, sino que será un resultado del presente análisis.

8.2.2. DEMANDAS

Bajo los supuestos básicos de este Plan Hidrológico Nacional de garantía para los abastecimientos actuales y futuros, de eliminación de la infradotación y sobreexplotación de acuíferos, y de no incremento de las superficies de riego, se han calculado las demandas básicas futuras a considerar en el sistema de explotación de la cuenca del Segura, conforme a las determinaciones de asignación de recursos establecidas en su Plan Hidrológico y en la normativa vigente. La figura adjunta ilustra sobre la situación de poblaciones y regadíos (principales demandantes de agua), y permite apreciar la fuerte concentración de las manchas de riego, su importancia territorial, y el efecto de diseminación de las huertas distribuidas por todo el territorio.

Los resultados obtenidos en el análisis de demandas se exponen seguidamente para los distintos usos.

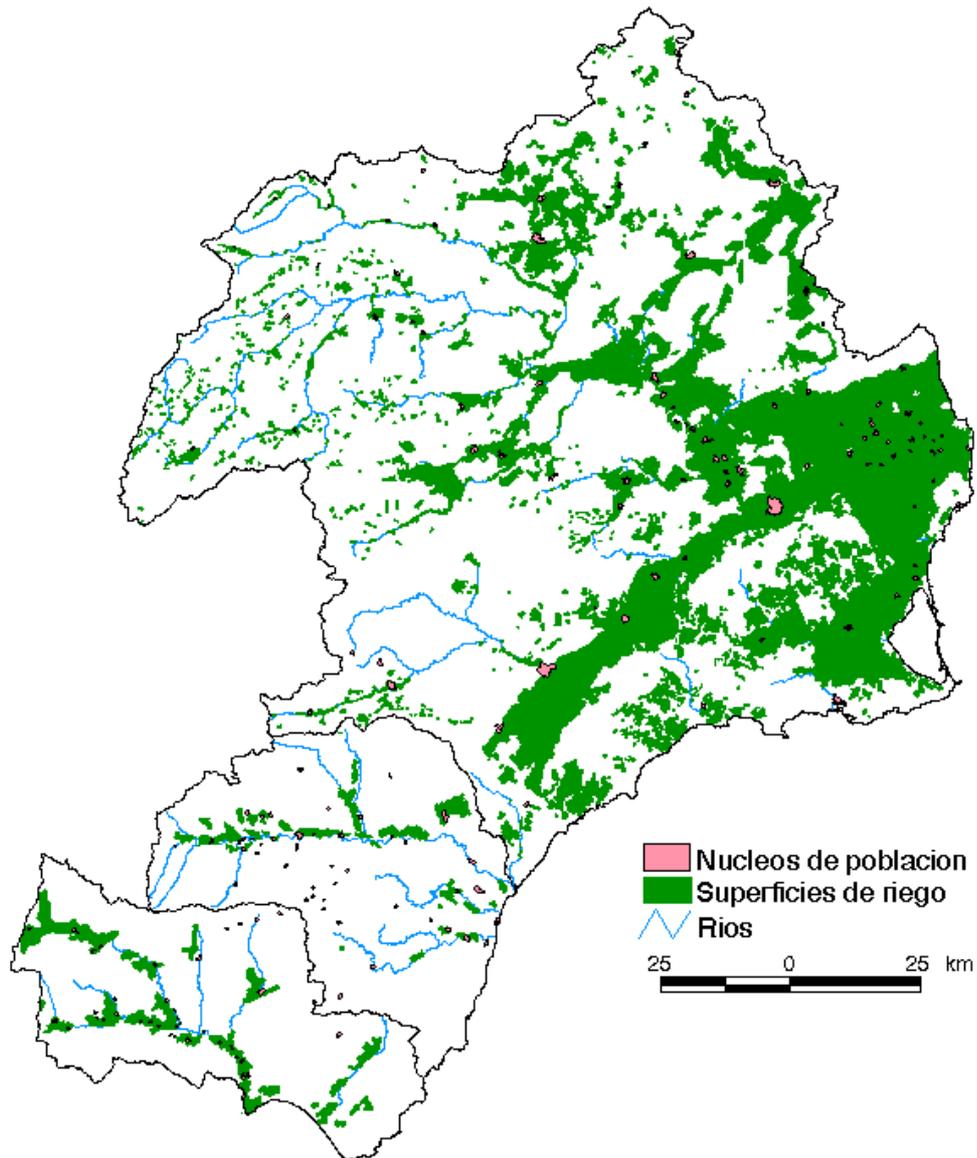


Figura 143. Mapa de situación de poblaciones y regadíos

8.2.2.1. ABASTECIMIENTOS URBANOS

Para los abastecimientos urbanos, se han considerado las unidades de demanda urbana (UDU) básicas propuestas en el Plan, agregadas en las nuevas unidades tal y como se muestra en la tabla adjunta.

UDU	DESCRIPCION	DEM	Demandas urbanas agregadas									
			1	2	3	4	5	6	Hellín	Altipl.	Detr.	
1	MCT-TAIBILLA	58	10									48
2	MCT-SIERRA ESP.	35	35									
3	MCT-CAMPOTEJAR	19		19								
4	MCT-TORREALTA	59			59							
5	MCT-PEDRERA	50				50						
6	MCT-LORCA	10					10					
7	HELLIN	3							3			
8	CABEC. SEGURA	2										2
9	CABEC. MUNDO	3										3
10	CABEC. GUADAL.	3										3
11	JUMILLA-YECLA	6									6	
12	CREVILL-ORIHUELA	2							2			
13	MURCIA- SEGURA	10							10			
	Industrial no conectada								3			
TOTAL:		245	45	19	59	50	10	15	3	6		56

Tabla 62. Unidades básicas y agregadas de demanda urbana

Como puede verse, se han definido 6 unidades agregadas (1 MCT-Sierra Espada, 2 MCT-Campotéjar, 3 MCT-Torrealta, 4 MCT-Pedrera, 5 MCT-Lorca, 6 Río Segura), no incluyéndose la UDU MCT-Taibilla por detraerse del sistema tal y como se propuso en el Plan, e imputándose sus aumentos futuros a la unidad agregada 1, de Sierra de la Espada.

Asimismo, y dada su escasa cuantía como para constituirse en unidades propias, se imputarán los requerimientos de Hellín y del Altiplano como incrementos de sus correspondientes unidades de demanda agraria, y se consideran las demandas de cabeceras como detracciones de los recursos del sistema, tal y como se vió en la tabla de aportaciones.

Por otra parte, a estas demandas urbanas debe incorporarse una demanda industrial complementaria que corresponde a la fracción de suministros industriales y de servicios no conectados a las redes. Su cuantía futura total se ha estimado en 35 hm³/año, en principio externa -por su propio concepto- a los elementos del sistema. No obstante, y en previsión de posibles incorporaciones, integraremos en este análisis una pequeña fracción del 10%, suponiendo que el resto se atiende efectivamente con incrementos de reciclaje interno y autoabastecimiento fuera del sistema de explotación. Esta demanda puede considerarse a efectos del modelo como añadida a la de los abastecimientos del Segura, que se incrementaría así hasta un total de 15 hm³/año.

8.2.2.2. REGADÍOS

En cuanto a los usos de regadío, constituyen, sin duda, el principal consumidor de recursos de la cuenca, y la variable básica que controla su balance hídrico. Es por ello que en este Plan Hidrológico Nacional nos detendremos brevemente en el análisis de su evolución pues, como en el caso similar y también estudiado de las demandas urbanas del área metropolitana de Barcelona, resulta de gran interés para la comprensión de la situación actual y las perspectivas de futuro de estos requerimientos.

Dadas las singulares aptitudes y tradición histórica de los territorios del sureste, el desarrollo de los regadíos ha ido siempre parejo al de las disponibilidades hídricas existentes para su atención, experimentando la evolución temporal mostrada en la figura adjunta. En esta figura se incluye la evolución de las superficies regadas en la cuenca, de las superficies regables y regadas en la provincia de Murcia, y de las superficies regadas en la provincia de Almería, series todas, sin perjuicio de su distinta precisión relativa y significado, bien representativas de la evolución global del proceso.

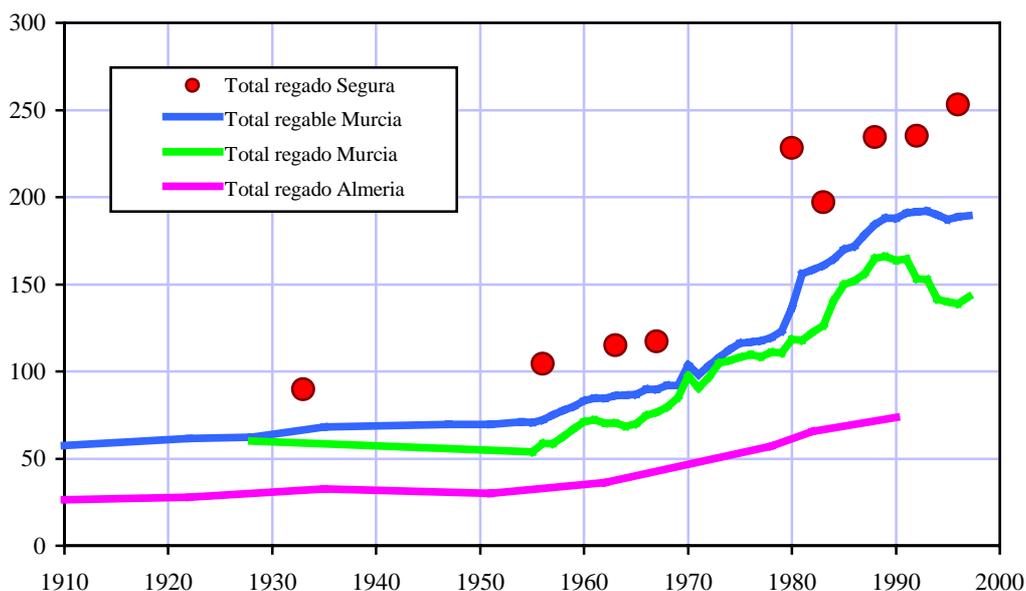


Figura 144. Evolución de las superficies de regadío

Como puede verse, tras un ligero aumento a comienzos de la década de los 30, la situación permanece relativamente estable hasta mediados de los 50, en que comienza a aumentar sensiblemente de forma sostenida durante 25 años, hasta comienzos de los 80. Desde esa fecha se produce un aumento del ritmo de transformación durante toda la década, que parece remitir completamente al final. Desde entonces –comienzos de los 90- las superficies regables no han aumentado apreciablemente, y las regadas incluso han disminuido en la primera mitad de los 90.

Todo el proceso descrito es lógicamente explicable en términos de los hitos básicos y transformaciones experimentadas por los sistemas hidráulicos de la cuenca. Así, a comienzos de los años 30 se culmina la construcción y puesta en servicio del importante embalse de Fuensanta.

El desarrollo desde mediados de los 50 es explicable por diversas razones: la fuerte demanda europea de productos hortofrutícolas junto con la reapertura del país en 1957 incentiva el desarrollo de los regadíos, y estimula la búsqueda de los recursos hídricos necesarios para este desarrollo. Son los años en que se impulsa la construcción de Cenajo y Camarillas, que entrarían en servicio poco después, y se promulga el conocido Decreto de 1953, que legalizaba aprovechamientos anteriores y reservaba los nuevos caudales regulados por estos embalses para redotaciones y ampliaciones en las Vegas del Segura. Además, son los años en que se dispara el uso de las aguas subterráneas que, empleadas a pequeña escala desde muy antiguo, comienzan a explotarse masivamente a comienzos de los 60 transformando los secanos del Campo de Cartagena, el valle del Guadalentín, el litoral de Mazarrón y Águilas, o los perímetros de Yecla y Jumilla. El ritmo de la transformación es tan intenso que en pocos años comienzan a aparecer signos de una sobrexplotación de acuíferos que hoy es estructural.

A finales de los 70 se comienza a tocar el techo de desarrollo de los recursos propios mientras se va desarrollando el trasvase Tajo-Segura, cuyas aguas llegarían a la cuenca en 1979. Este hito marca otro gran impulso del regadío durante la década de los 80, que remite al final de esta década.

Los años 90 se caracterizan por un estancamiento de las superficies regadas (el ligero aumento observado en el total del Segura obedece a la culminación de transformaciones asociadas al trasvase), debido al empleo extremo de los recursos propios superficiales y subterráneos, y al final de las nuevas transformaciones con recursos externos.

Atendiendo a las superficies regadas en la provincia de Murcia, se observa incluso una clara disminución, debida sin duda al efecto combinado de agotamiento de las fuentes de nuevos recursos, junto con la sequía de los 90.

Una vez estabilizado el aporte de recursos del Tajo (con sus incertidumbres hidrológicas asociadas) y agotadas las posibilidades propias de la cuenca, el diagnóstico a corto y medio plazo es necesariamente, sin perjuicio de movimientos coyunturales, el de estancamiento de las superficies regables, y progresiva merma de las regadas debida al empeoramiento de la calidad, el abandono de tierras, y el agotamiento o salinización de las aguas subterráneas. El mantenimiento de las superficies actuales de referencia, impidiendo su degradación y abandono, es uno de los objetivos de este Plan Hidrológico Nacional.

Considerando, pues, la situación actual, la tabla adjunta muestra el detalle de las unidades básicas de demanda agraria (UDA) consideradas en el Plan Hidrológico de la cuenca del Segura, y sus correspondientes datos de Superficie bruta SBR (has), Superficie neta SNT (has), Demanda bruta VB ($\text{hm}^3/\text{año}$), Retornos RET ($\text{hm}^3/\text{año}$), y Dotaciones neta y bruta DOTN, DOTB ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{año}$).

UDA	Denominación	SBR	SNT	VB	RET	DOTN	DOTB
17	Tradicional Vega Alta, Calasparra	694	501	5,19	1,04	7.483	10.357
18	Tradicional Vega Alta, Abarán-Blanca	2.799	2.022	15,22	2,32	5.437	7.525
20	Tradicional Vega Alta, Ojós-Contraparada	5.574	4.027	30,84	5,11	5.533	7.658
21	Tradicional Vega Alta, Cieza	1.549	1.119	7,22	0,53	4.664	6.455
22	Vega Alta, post, al 33 y ampl, del 53	8.005	5.784	44,16	7,22	5.517	7.636
32	Tradicional Vega Media	14.254	9.693	76,50	14,48	5.367	7.893
34	Vega Media, post, al 33 y ampl, del 53	2.055	1.397	9,49	0,85	4.616	6.789
46	Tradicional Vega Baja	20.464	14.785	98,45	8,16	4.811	6.658
48	Vega Baja, post, al 33 y ampl, del 53	13.310	9.616	62,50	4,68	4.696	6.499
52	Riegos de Levante Margen Derecha	3.785	2.896	18,18	1,16	4.803	6.279
25	Regadíos de acuíferos en la Vega Alta	2.672	1.931	14,99	2,65	5.610	7.765
36	Regadíos de acuíferos en la Vega Media	2.813	1.913	15,38	3,08	5.468	8.041
51	Regadíos de acuíferos en la Vega Baja	219	158	1,28	0,26	5.824	8.061
71	Nuevos regadíos R.L. Margen Derecha	2.176	1.017	6,39	0,41	2.935	6.279
3	Regadíos sobre Ascoy-Sopalmo	9.350	4.769	30,75	2,23	3.289	6.448
4	Reg. Ascoy-Sopalmo sobre Sincl. de Calasparra	4.077	2.599	18,67	2,21	4.580	7.185
6	Acuífero de Quibas	3.222	2.054	8,56	0,04	2.656	4.167
26	Nuevos regadíos Zona I Vega Alta-Media	3.973	2.702	19,67	2,52	4.952	7.282
37	Nuevos regadíos Zona II Vega Alta-Media	5.378	3.200	24,50	4,06	4.555	7.656
38	Nuevos regadíos Zona III Vega Alta-Media	1.583	1.278	9,86	1,69	6.229	7.714
39	Nuevos regadíos Zona IV Vega Alta-Media	8.233	4.899	31,87	2,40	3.871	6.506
40	Nuevos regadíos Zona V Vega Alta-Media	4.329	3.128	24,08	4,09	5.562	7.699
41	Nuevos regadíos Yéchar	980	750	5,79	1,00	5.907	7.721
42	Tradicionales de Mula	2.650	1.802	13,00	1,58	4.904	7.212
73	Nuevos regadíos Mula y Pliego	221	150	1,08	0,13	4.904	7.212
43	Mula, manantial de los Baños	1.296	661	5,35	1,07	4.130	8.099
44	Pliego	2.067	1.406	10,65	1,68	5.154	7.579
45	Reg. Ascoy-Sopalmo, Fortuna-Abanilla-Molina	15.083	3.846	22,05	0,96	1.462	5.734
53	Riegos de Levante Margen Izquierda-Segura	12.063	7.690	54,49	5,91	4.517	7.085
54	Riegos de Levante Margen Izquierda-Júcar	20.341	12.967	67,57	2,05	3.322	5.210
74	Nuevos regadíos R.L.Margen Izquierda-Júcar	1	1	0,00	0,00	3.321	5.210
72	Nuevos regadíos R.L. Margen Izquierda-Segura	8.343	5.319	37,68	4,09	4.517	7.085
55	Acuífero de Crevillente	2.655	1.580	5,96	0,00	2.245	3.773
56	Nuevos regadíos La Pedrera	21.287	7.238	49,80	4,68	2.339	6.880
61	Regadío de Lorca	11.782	9.013	54,10	2,71	4.592	6.002
63	Acuífero del Alto Guadalentín	21.266	9.942	55,37	2,17	2.604	5.569
64	Mixtos del Bajo Guadalentín	7.885	5.027	30,87	1,76	3.915	6.141
65	Subterráneas zona del Bajo Guadalentín	21.362	12.710	73,43	3,26	3.437	5.777
66	Nuevos regadíos Lorca y Valle del Guadalentín	10.798	7.802	50,05	3,54	4.635	6.415
57	Acuíferos del Campo de Cartagena	28.332	7.225	46,34	3,28	1.636	6.415
58	Campo de Cartagena redotado con trasvase	20.989	15.165	97,70	7,05	4.655	6.442
59	Nuevos regadíos Campo de Cartagena	16.523	11.938	79,09	6,43	4.787	6.625
67	Mazarrón	5.096	3.898	26,44	2,36	5.188	6.782
68	Aguilas	9.405	4.397	27,04	1,55	2.875	6.150
69	Almería-Segura	1.363	579	4,15	0,48	3.044	7.162
70	Nuevos regadíos Almería-Sur	4.000	3.060	22,70	3,22	5.675	7.418
8	Regadíos aguas arriba de Talave	1.364	1.043	6,33	0,34	4.642	6.068
13	Regadíos aguas arriba de Fuensanta	3.829	2.766	16,00	0,71	4.179	5.784
14	Regadíos aguas arriba de Taibilla	890	643	3,50	0,13	3.929	5.439
15	Regadíos aguas arriba de Cenajo	4.093	2.957	16,57	0,66	4.048	5.602
16	Moratalla	2.778	1.535	6,55	0,04	2.356	4.264
27	Cabecera del Argos, pozos	1.475	1.066	5,38	0,14	3.647	5.048
28	Cabecera del Argos, mixto	7.183	4.579	28,89	1,89	4.022	6.309
29	Embalse del Argos	1.209	976	4,58	0,08	3.789	4.692
30	Cabecera del Quípar, pozos	838	641	3,22	0,08	3.841	5.021
31	Cabecera del Quípar, mixto	5.287	3.595	24,80	2,36	4.691	6.899
60	Regadíos aguas arriba de Puentes	2.411	1.742	7,53	0,06	3.122	4.322
1	Yecla-Corral Rubio	16.376	6.960	24,78	0,00	1.513	3.560
2	Jumilla	8.303	4.587	14,65	0,00	1.765	3.194
5	Acuífero de Serral-Salinas	10.069	5.135	9,45	0,00	938	1.839
7	Subterráneas Hellín-Tobarra	14.445	7.367	30,31	0,09	2.098	4.114
9	Vega del Mundo, entre Talave y Camarillas	789	637	4,83	0,77	6.125	7.586
10	Canal de Hellín	4.767	3.849	22,48	1,04	4.716	5.841
12	Superficiales Tobarra-Albatana-Agramón	5.542	3.297	17,27	0,53	3.116	5.237
TOTAL:				1661,55	141,04		

Tabla 63. Unidades de demanda agraria de la cuenca del Segura

Asimismo, la siguiente tabla muestra, para cada UDA y en hm³/año, los orígenes actuales del agua aplicada a la unidad y su correspondiente balance, expresando la aplicación de recursos superficiales (ASUP), aplicación de trasvase Tajo-Segura (ATRV), aplicación de azarbes (AAZR), aplicación de residuales (ARES), otras aplicaciones de recursos (AOTR), bombeos renovables (BORE), bombeos no renovables (BNOR), aplicación total (ATOT), déficit de aplicación (DFAD), déficit total (DFTOT) y demanda de agua (DEM).

UDA	ASUP	ATRV	AAZR	ARES	AOTR	BORE	BNOR	ATOT	DFAD	DFTOT	DEM
17	5.2	0	0	0	0	0	0	5.2	0	0	5.2
18	15.2	0	0	0	0	0	0	15.2	0	0	15.2
20	30.8	0	0	0	0	0	0	30.8	0	0	30.8
21	7.2	0	0	0	0	0	0	7.2	0	0	7.2
22	36.5	0.1	0	0.7	0	6.6	0.1	44	0.2	0.3	44.2
32	76.5	0	0	0	0	0	0	76.5	0	0	76.5
34	9.5	0	0	0	0	0	0	9.5	0	0	9.5
46	98.4	0	0	0	0	0	0	98.4	0	0	98.4
48	35	0.5	21.5	1.4	3.3	0	0	61.7	0.8	0.8	62.5
52	16	0.4	0	1.6	0	0	0	18	0.2	0.2	18.2
25	0	1.5	0	0	0	4.6	0.3	6.4	8.6	8.9	15
36	0	0	0	0	0	15.3	0	15.3	0.1	0.1	15.4
51	0	0	0	0.1	0	1.2	0	1.3	0	0	1.3
71	0	5.1	0	0	0	0	0	5.1	1.3	1.3	6.4
3	0	0.1	0	0	0	0.9	19.4	20.4	10.3	29.7	30.7
4	0	0	0	0	0	0.5	11.3	11.8	6.9	18.2	18.7
6	1.7	0.1	0	0.1	0	3.8	2.5	8.2	0.4	2.9	8.6
26	0	11.9	0	0	0	0	0	11.9	7.8	7.8	19.7
37	0	7.9	0	0	0	0	0	7.9	16.6	16.6	24.5
38	0	9.1	0	0	0	0	0	9.1	0.8	0.8	9.9
39	0	24.7	0	0	0	0	0	24.7	7.2	7.2	31.9
40	0	9.2	0	0	0	0	0	9.2	14.9	14.9	24.1
41	0	3.9	0	0	0	0	0	3.9	1.9	1.9	5.8
42	4.2	1	0	2.1	0	5.3	0	12.6	0.4	0.4	13
73	0	0.9	0	0	0	0	0	0.9	0.2	0.2	1.1
43	3.3	0.1	0	0.2	0	0.3	0	3.9	1.5	1.5	5.4
44	0.6	2.1	0	0.2	0	5.4	0	8.3	2.4	2.4	10.7
45	0	0.3	0	0.2	0	0.6	12.4	13.5	8.6	21	22.1
53	0	30.9	9	3	1.5	0	0	44.4	10.1	10.1	54.5
54	0	50	6	9.3	1.8	0	0	67.1	0.5	0.5	67.6
74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	0	23.9	7	0	0	0	0	30.9	6.8	6.8	37.7
55	0	0.1	0	0	0	0.7	5	5.8	0.2	0.2	6
56	0	14.1	0	1.8	15	7.9	0.1	38.9	10.9	11	49.8
61	14	30	0	4.4	0	1.5	4.2	54.1	0	4.2	54.1
63	0	0.9	0	0.3	0	9.4	27.6	38.2	17.2	44.8	55.4
64	4.1	5.1	0	0.5	0	5.8	7.6	23.1	7.8	15.4	30.9
65	1.1	6.2	0	0.5	0	16.6	20.5	44.9	28.5	49	73.4
66	0	22.7	0	0	0	0	0	22.7	27.3	27.3	50
57	0	0	0	0.9	1	41.3	1.7	44.9	1.4	3.1	46.3
58	0	46	0	20.2	3	23.2	4.2	96.6	1.1	5.3	97.7
59	0	76	0	0	3	0	0	79	0.1	0.1	79.1
67	0	0	0	1.5	0	3	11.5	16	10.4	21.9	26.4
68	0	0	0	1.3	0	8.6	11.6	21.5	5.5	17.1	27
69	0	0	0	0.3	0	2.2	1.4	3.9	0.2	1.6	4.1
70	0	15	0	0	0	0	0	15	7.7	7.7	22.7
8	6.2	0	0	0.1	0	0	0	6.3	0	0	6.3
13	15.9	0	0	0	0	0	0	15.9	0.1	0.1	16
14	3.3	0	0	0	0	0	0	3.3	0.2	0.2	3.5
15	16.3	0	0	0.2	0	0	0	16.5	0.1	0.1	16.6
16	4.8	0	0	0.3	0	1.4	0	6.5	0	0	6.5
27	1	0	0	0	0	4.2	0	5.2	0.2	0.2	5.4
28	23.6	0	0	1.3	0	4	0	28.9	0	0	28.9
29	4.6	0	0	0	0	0	0	4.6	0	0	4.6
30	1.2	0	0	0	0	1.4	0	2.6	0.6	0.6	3.2
31	18.3	0	0	0.7	0	5.3	0.4	24.7	0.1	0.5	24.8
60	2.6	0	0	0	0	2.7	2.1	7.4	0.1	2.2	7.5
1	0	0	0	0	0	14.6	10.1	24.7	0.1	10.2	24.8
2	0	0	0	0	0	7.2	6.4	13.6	1.1	7.5	14.7
5	0	0	0	0.3	0	2.4	6.8	9.5	-0.1	6.7	9.4
7	0	0	0	0.1	0	24.9	5.3	30.3	0	5.3	30.3
9	4.8	0	0	0	0	0	0	4.8	0	0	4.8
10	22.5	0	0	0	0	0	0	22.5	0	0	22.5
12	10.7	0	0	0	0	5.4	1.1	17.2	0.1	1.2	17.3
TOTAL:	495	400	44	54	29	238	174	1432	229	403	1662

Tabla 64. Aplicaciones y balances de recursos de las unidades de demanda agraria

Procediendo, conforme a los criterios del Plan Hidrológico del Segura, a la agregación geográfica de estas unidades de demanda con un criterio territorial y orientado a su caracterización en el modelo de sistema de explotación de la cuenca, se obtienen las nuevas unidades agregadas que se propone considerar en este modelo de análisis para la planificación nacional.

Como únicas modificaciones con respecto a las determinaciones del Plan de cuenca, se ha procedido a incrementar la demanda correspondiente a Almería, de forma que incluya no solo la asociada al trasvase Tajo-Segura, que es la que contempla el Plan del Segura, sino toda la demanda existente, contemplada en el Plan del Sur, y susceptible de consideración por el Plan Hidrológico Nacional.

A estos efectos, las áreas de déficit identificadas en el Libro Blanco del Agua en España se corresponden con los tres sistemas definidos en el Plan Hidrológico del Sur como III-Sierra Nevada -que incluye el muy deficitario subsistema III-4 (Campo de Dalías) en su parte oriental-, IV-Sierra Gádor-Filabres, y V-Sierra Filabres-Estancias. Conforme a este Plan Hidrológico, los déficit totales actuales –sin incrementos de demanda- de estos tres sistemas se elevan a 288 hm³/año (138+75+75 respectivamente).

Este déficit total identificado en el Plan procede de sobreexplotación de acuíferos (120 hm³/año, de los que destacan Dalías con 82, Níjar con 19, Andarax con 12 y Bedar-Alcornia y Ballabona con 5), e infradotación de regadíos (168 hm³/año, distribuidos por todos los sistemas).

En su supuesto más exigente, que es el que se adopta en este Plan Nacional, el Plan del Sur prevé unas hipótesis de actuaciones internas de reequilibrio a medio plazo –hoy englobadas básicamente en el denominado Plan Almería- que podrían reducir tal cuantía hasta unos 155 hm³/año. Si se considera la transferencia externa del Negratín-Almanzora (50 hm³/año), el resto de 105 hm³/año es el que se propone introducir en este esquema como demanda global de Almería vinculada a su conexión hidráulica con el Segura a los efectos de la planificación hidrológica nacional. Ello requiere, como se ha dicho, desarrollar el supuesto más exigente de los previstos en el Plan del Sur, de forma que el déficit total actual de 288 hm³/año se resuelva internamente, con un aporte externo total para Almería (además del Negratín-Almanzora) de únicamente 105.

Nótese que, como se ha indicado, la aproximación adoptada no incluye en el sistema la demanda vinculada a la transferencia del Negratín, que se supone servida por su propio trasvase, y, a efectos computacionales, agrega todos los otros requerimientos de Almería (tanto en el área del Levante -río Almanzora- como en el Poniente) en una demanda única virtual conectada al embalse del Almanzora, y atendible, a través de la infraestructura de transporte de la cuenca del Segura, desde cualquiera de las fuentes externas de aportaciones que contempla este Plan Nacional.

Por otra parte, se han realizado algunas reasignaciones de las unidades de demanda básicas para componer las unidades agregadas que intervienen en el modelo, tal y como se muestra en la tabla de coeficientes de las agregaciones.

Cabe también indicar que aunque el Plan del Segura postula que los actuales recursos desalados de acuíferos no se consideren con carácter permanente y sostenible, y tengan

el carácter de un bombeo complementario movilizable únicamente en situaciones críticas -como de hecho ha sucedido en los últimos años-, con la misma consideración que los pozos de sequía, en este Plan Nacional se estima conveniente exigir a esta cuenca, a los efectos del cálculo de sus déficit de transferencias, un esfuerzo permanente de desalación futura similar al indicado en el Plan como existente. Solamente en las zonas litorales, donde el recurso extraído acabará siendo de origen enteramente marino por efectos de intrusión, es admisible suponer su no razonabilidad económica frente a otras posibles fuentes alternativas, por lo que se considera una opción puente sustituible a medio y largo plazo, como elemento de reserva y emergencia de suministro, y según determinen las condiciones económicas en el futuro. Igualmente sucede con las actuales previsiones de desalación de agua marina destinada a abastecimientos.

8.2.2.3. ESPACIOS NATURALES

Por último, la estimación preliminar de reserva de recursos necesarios para el sostenimiento de humedales, descrita en el correspondiente epígrafe del Plan, asciende a la cuantía bruta de unos 50 hm³/año, de los que 30 serían la fracción consuntiva.

Dado el carácter muy disperso de estos espacios, se supone a efectos de cálculo como una demanda agrupada virtual, topológicamente atendible desde los puntos de aporte, y con retornos locales no reincorporados al sistema.

8.2.2.4. SINTESIS DE DEMANDAS CONSIDERADAS

Con todo ello, en definitiva, la relación de las 22 unidades consideradas, la tabla de coeficientes de las agregaciones, y las demandas finalmente resultantes son las mostradas.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
17		1.00																							
18		1.00																							
20			1.00																						
21		1.00																							
22		0.55	0.45																						
32			1.00																						
34			1.00																						
46			0.15	0.50	0.35																				
48			0.15	0.50	0.35																				
52					0.90																				
25																0.69								0.10	
36																									0.31
51																									1.00
71					0.80																				1.00
3																0.68		0.29				0.20			0.03
4																0.97									0.03
6																0.35									0.65
26						0.60																			0.40
37						0.32																			0.68
38										0.92															0.08
39										0.77															0.23
40						0.25					0.13														0.62
41											0.67														0.33
42																0.11									0.89
73											0.82														0.18
43																0.30									0.70
44																0.42									0.58
45																0.96									0.04
53														0.81		0.19									

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
54														0.99		0.01								
74														1										
72														0.82									0.18	
55																0.88								0.12
56							0.28															0.22		0.50
61															0.84									0.16
63											0.02						0.81							0.18
64											0.17					0.50								0.34
65											0.08					0.67								0.25
66											0.14	0.32										0.55		
57																0.07								0.93
58								0.39	0.08							0.05								0.47
59								0.80	0.16															0.04
67																		0.83						0.17
68																		0.63						0.37
69																		0.39						0.61
70													0.66									0.34		
8																								1.00
13																								1.00
14																								1.00
15																								1.00
16																								1.00
27																								1.00
28																								1.00
29																								1.00
30																								1.00
31																								1.00
60																								1.00
1																			0.41					0.59
2																			0.51					0.49
5																			0.71					0.29
7																0.17			0.01					0.83
9																								1.00
10	1.00																							
12																								1.00

Tabla 65. Coeficientes de agregación de las demandas agrarias

Unidad	Denominación	Demanda
1	Hellin	23
2	Vega Alta antes de Ojós	52
3	Vegas alta(parcial), media y baja(parcial)	161
4	Vega Baja (parcial)	80
5	Vega Baja(parcial) y RLMD	78
6	Trasvase antes de Ojós	26
7	La Pedrera	14
8	Campo de Cartagena Oriental	102
9	Campo de Cartagena Occidental	20
10	Margen Izq. antes del partidior	34
11	Margen Der. antes de Algeciras	26
12	Guadalentín despues de Algeciras	17
13	Almería	15
14	RLMI	142
15	Lorca	46
16	Def. M.Izquierda	111
17	Def. Guadalentín	109
18	Def. Mazarrón-Aguilas	41
19	Def. Altiplano	34
20	Def. ZRT Vegas-Mula	49
21	Def. ZRT Guadalentín	35
22	Def. ZRT Alicante	19
-	Reg. propios autoabast. (no incl. en sistema)	436

Tabla 66. Unidades agrarias agregadas consideradas en el modelo

Sintetizando todo lo expuesto, la consideración conjunta de abastecimientos, regadíos y humedales da lugar al cuadro resumen total de demandas consuntivas siguiente.

Unidad	Tipo	Denominación	Dem.inic.	Otros	Demanda
1	Abast.	MCT-Sierra Espada	45		45
2	Abast.	MCT-Campotéjar	19		19
3	Abast.	MCT-Torrealta	59		59
4	Abast.	MCT-Pedrera	50		50
5	Abast.	MCT-Lorca	10		10
6	Abast.	Río Segura y varios	15		15
7	Reg.	Hellin	23	3 (1)	26
8	Reg.	Vega Alta antes de Ojós	52		52
9	Reg.	Vegas alta(parcial), media y baja(parcial)	161		161
10	Reg.	Vega Baja (parcial)	80		80
11	Reg.	Vega Baja(parcial) y RLMD	78		78
12	Reg.	Trasvase antes de Ojós	26		26
13	Reg.	La Pedrera	14		14
14	Reg.	Campo de Cartagena Oriental	102		102
15	Reg.	Campo de Cartagena Occidental	20		20
16	Reg.	Margen Izq. antes del partidior	34		34
17	Reg.	Margen Der. antes de Algeciras	26		26
18	Reg.	Guadalentín despues de Algeciras	17		17
19	Reg.	Almería	15	90 (2)	105
20	Reg.	RLMI	142		142
21	Reg.	Lorca	46		46
22	Reg.	Def. M.Izquierda	111		111
23	Reg.	Def. Guadalentín	109		109
24	Reg.	Def. Mazarrón-Aguilas	41		41
25	Reg.	Def. Altiplano	34	6 (1)	40
26	Reg.	Def. ZRT Vegas-Mula	49		49
27	Reg.	Def. ZRT Guadalentín	35		35
28	Reg.	Def. ZRT Alicante	19		19
29	Z.Hum.	Conserv. humedales	30		30
TOTAL:			1462	99	1561

(1) Incremento debido a la incorporación a la unidad de las necesidades de abastecimiento

(2) Incremento debido a la consideración de todas las demandas externas de Almería

Tabla 67. Síntesis global de demandas consuntivas consideradas en el sistema

Resalta en estas cifras la importancia del déficit global del valle del Guadalentín, explicable si se observa que existe un total de unas 45.000 has, en gran medida precarias y eventuales, que requieren para su satisfacción del orden de 260 hm³/año, y que cuentan de hecho con unos 180, de los que 60 son no renovables. Asimismo es importante el déficit agregado de margen izquierda y otros, que corresponde fundamentalmente a la fuerte sobreexplotación de los acuíferos en la margen izquierda del Segura.

La modulación estacional de estas demandas es la misma que se estimó en el Plan, asimilando la mixta a regadíos, y que se ofrece en la tabla adjunta.

Mes	O	N	D	E	F	M	A	Y	J	L	A	S
Abast.	8	8	8	7	6	8	8	8	9	10	11	9
Reg.	4	4	3	3	6	8	10	11	12	14	14	11

Tabla 68. Distribución estacional de las demandas

En cuanto a niveles de garantía y prioridades de suministro, se adoptan los criterios estándares de la planificación nacional cifrados en déficit anuales acumulados de cuantías porcentuales [2,3,10] y [50,75,100] para abastecimientos y riegos respectivamente. Además de estos criterios de caracterización del fallo ordinario, el coeficiente de fallo absoluto (umbral de fallo) se fija en un 1'5 considerando el carácter dominante de los regadíos.

Nótese que con las demandas virtuales añadidas se agregan y resumen los déficits totales existentes en la cuenca, y satisfacerlas equivale a eliminar esos déficits y consolidar los regadíos que ahora los soportan, sin ninguna nueva transformación, lo que constituye estrictamente el principio general adoptado en este Plan Hidrológico Nacional.

8.2.3. REUTILIZACIÓN DE RETORNOS

Una vez definidas las demandas, cabe considerar sus retornos producidos, susceptibles de reintroducción en el sistema, como nuevas aportaciones que incrementan los recursos propios.

Considerando los retornos del abastecimiento urbano-industrial, se examinan los producidos por las demandas de abastecimientos principales, y que se incorporan al sistema hidráulico en condiciones de ser reutilizados. Como es lógico, y se indica en el Plan Hidrológico de cuenca, estos se concentran en las áreas de mayor densidad urbana, que son el valle del Segura y, en mucha menor medida, Cartagena y Lorca. Por ello, a efectos computacionales se concentraron todos los retornos de abastecimiento en un nodo que sustancialmente domina los riegos de este valle. La cuantía total del retorno aprovechable en la cuenca se cifró en el Plan en un total de 99 hm³/año (57+42), por lo que, asumiendo que un 60% de este total de la cuenca es utilizable en las Vegas por retornos directos, el retorno anual útil se evaluó en 60 hm³/año, es decir, del orden de un 30% del total de suministro para abastecimientos.

Ha de notarse que 99 hm³/año reutilizados supone del orden del 50% del total demandado para abastecimientos, incluyendo este total tanto las pérdidas como el agua no depurada, lo que constituye un valor muy elevado ya en la situación actual.

Estudios específicos realizados para los municipios costeros de la cuenca del Segura, en los que no hay usuarios potenciales aguas abajo y existe por tanto la posibilidad de disponer de un nuevo recurso neto, han mostrado tasas de reutilización actual (para riego de zonas próximas) del orden del 71% del total depurado (MOPTMA, 1995). Es difícil elevar estas tasas en el futuro, pero aún suponiendo que se aumentase la tasa de depuración y se alcanzase idealmente el 100% de reutilización, la cuantía volumétrica neta de estos nuevos recursos sería muy moderada.

A los actuales efectos del Plan Hidrológico Nacional, considerando no solo la franja costera sino toda la cuenca, y en la misma línea de rigor ya planteada, se considera exigible el mayor esfuerzo posible de reutilización de los retornos de abastecimiento, por lo que, a efectos del modelo, se propone incrementar en más de un 50% el retorno útil actual aprovechable en las Vegas, hasta alcanzar los 100 hm³/año, es decir, casi un 45% del total bruto demandado, lo que se traducirá, a efectos de cómputo, en coeficientes del 45% para todas las unidades de demanda urbana. Los nudos de incorporación elegidos son en cada caso los que se han estimado más idóneos desde el punto de vista topológico.

Aunque parezcan valores relativamente moderados, esta exigencia de cuantías de reutilización es ciertamente muy elevada, y sin parangón en ninguna otra cuenca peninsular, requiriendo que las pérdidas en redes sean reducidas, y la práctica totalidad de los retornos de las unidades de demanda urbana sean tratados, vuelvan al sistema, y sean de nuevo reutilizados por el mismo.

Por otra parte, dadas las singulares características del sistema de riegos de las vegas, con derivación, aplicación, drenaje, retorno y reusos sucesivos, se ha considerado también oportuno introducir expresamente este efecto en el modelo como otra forma análoga de reutilización del agua. Los posibles retornos de otras zonas de riego son inexistentes o despreciables (se riega con eficiencias muy altas, sin avenamientos), y no llegan a incorporarse al sistema.

En consecuencia, se considera a efectos de cómputo la introducción de un único retorno agregado globalmente significativo, que es el correspondiente al drenaje de las vegas media y baja, y que se introduce en el modelo como el 18% (30/161) de la unidad de demanda agregada de la Vega alta (p), media y baja(p).

8.2.4. CAUDALES MÍNIMOS

Siguiendo lo establecido en el Plan Hidrológico de la cuenca del Segura, y que se recoge por este Plan Nacional, los caudales mínimos circulantes en los distintos tramos fluviales son los mostrados en el cuadro adjunto.

TRAMO	Ap. reg. natural (hm ³ /año)	Caudal mín. (m ³ /s)	Caudal mín. (hm ³ /mes)
Fuensanta-Cenajo	282	0.90	2.3
Cenajo-Confl. Mundo	433	1.37	3.6
Talave-Camarillas	138	0.44	1.1
Camarillas-Confl. Segura	182	0.58	1.5
Ojós-Contraparada	-	3.00	7.9
Contraparada-San Antonio	-	4.00	10.4

Tabla 69. Caudales mínimos

Estos caudales se introducirán, siguiendo los criterios conceptuales propuestos en el Libro Blanco, como restricciones de funcionamiento al sistema global de explotación de recursos.

8.2.5. ELEMENTOS DE REGULACIÓN SUPERFICIAL

El cuadro resumen de volúmenes (hm³) de todos los embalses considerados en el Plan de cuenca, y que se adopta en este análisis, es el adjunto. Se consideran de forma expresa, por su singularidad, los volúmenes mínimos de la Pedrera y el Hondo, y se añade únicamente el embalse de Almanzora, ya que, tal y como se explicó, los requerimientos agregados de Almería se han incorporado explícitamente a este esquema.

Embalse	Volumen total	Volumen útil	Volumen mínimo	Resguardo propuesto	Volumen útil estac.	Periodo
Fuensanta	210	199		30	169	sep-nov
Cenajo	437	415		25	390	sep-nov
Talave	35	33		15	18	sep-nov
Camarillas	36	34		25	9	sep-nov
Alfonso XIII	22	21		10	11	sep-nov
Algeciras	50	47		10	37	sep-nov
La Pedrera	246	240	40		200	
Crevillente	13	12		1	11	sep-nov
El Hondo	16	14	10		4	todo el año
Vald-Puentes	47	37		25	12	sep-nov
Almanzora	160	140			140	

Tabla 70. Embalses considerados

En los horizontes de la planificación de la cuenca del Segura no se prevé la construcción de ninguna nueva presa de regulación que pueda afectar significativamente al sistema, con la única excepción del posible recrecimiento de Camarillas. Asimismo, cabe suponer que el área del Altiplano dispone de almacenamientos propios para admitir un régimen de llegadas a 8 meses, lo que puede simularse mediante un cierto embalse agregado ficticio para esta demanda.

En aras a optimizar desde el punto de vista técnico y económico la explotación de la cuenca, se permite la regulación de recursos en cualquier embalse del sistema, con independencia de la tipificación jurídica de los destinos del agua.

Este óptimo funcionamiento hidráulico conllevará su correspondiente imputación de costes mediante los adecuados cánones de regulación, cuyo análisis queda, obviamente, fuera del alcance de este Plan Nacional.

Agotada la regulación superficial de los recursos propios, quedaría por evaluar únicamente las posibilidades de nuevos bombeos de aguas subterráneas y de uso conjunto. Tal y como fué dilucidado en trabajos previos para la planificación hidrológica del Segura, no cabe esperar aumentos apreciables de regulación por el uso conjunto o posibles bombeos de aguas subterráneas en las áreas de cabecera, pues la situación de agotamiento de la cuenca tiene su origen en el extremo aprovechamiento de sus escasos recursos, y no en carencias significativas de infraestructuras o modos de explotación que pudieran incrementar sensiblemente la disponibilidad hídrica.

No obstante, y con objeto de revisar y acotar tal posibilidad en el marco de este Plan Hidrológico Nacional, se ha procedido a realizar una nueva investigación específica tal y como se describe en el siguiente epígrafe.

8.2.6. ELEMENTOS DE REGULACIÓN SUBTERRÁNEA Y USO CONJUNTO

En este epígrafe se procede a estudiar de forma simplificada y homogénea las posibilidades de incrementar las disponibilidades de recursos en la cuenca del Segura y en la zona de Almería mediante las aguas subterráneas, para lo que se ha realizado un estudio de los recursos subterráneos no utilizados en la actualidad. Tras ello, se contrastará este análisis con los resultados obtenidos en otros estudios disponibles.

Un análisis preliminar podría consistir en hallar las diferencias entre las recargas y bombeos a la escala global del área considerada. Sin embargo esta estimación sencilla no sería rigurosa, pues parte del aumento de disponibilidades debidas a los bombeos podría quedar embebida en las correspondientes a los embalses, dado que estos bombeos podrían disminuir las aportaciones entrantes a los embalses si se sitúan en acuíferos que drenan hacia ellos, y, en consecuencia, mermar considerablemente la cifra de regulación superficial. En teoría, otra parte sí que serviría para aumentar las disponibilidades ya que significaría mejorar la regulación del sistema mediante la utilización de los acuíferos que drenan a las cuencas vertientes a los embalses.

Sin embargo, puede admitirse en la práctica que la utilización de los acuíferos situados aguas arriba de los embalses no mejoraría significativamente las disponibilidades, tal y como se deduce al analizar los recursos naturales y disponibles en las subcuencas vertientes a dos de los principales embalses de la cuenca del Segura, controladores de las cabeceras del Segura y del río Mundo, y cuya ubicación, subcuencas, y datos básicos se muestran en la figura y tabla adjuntas.

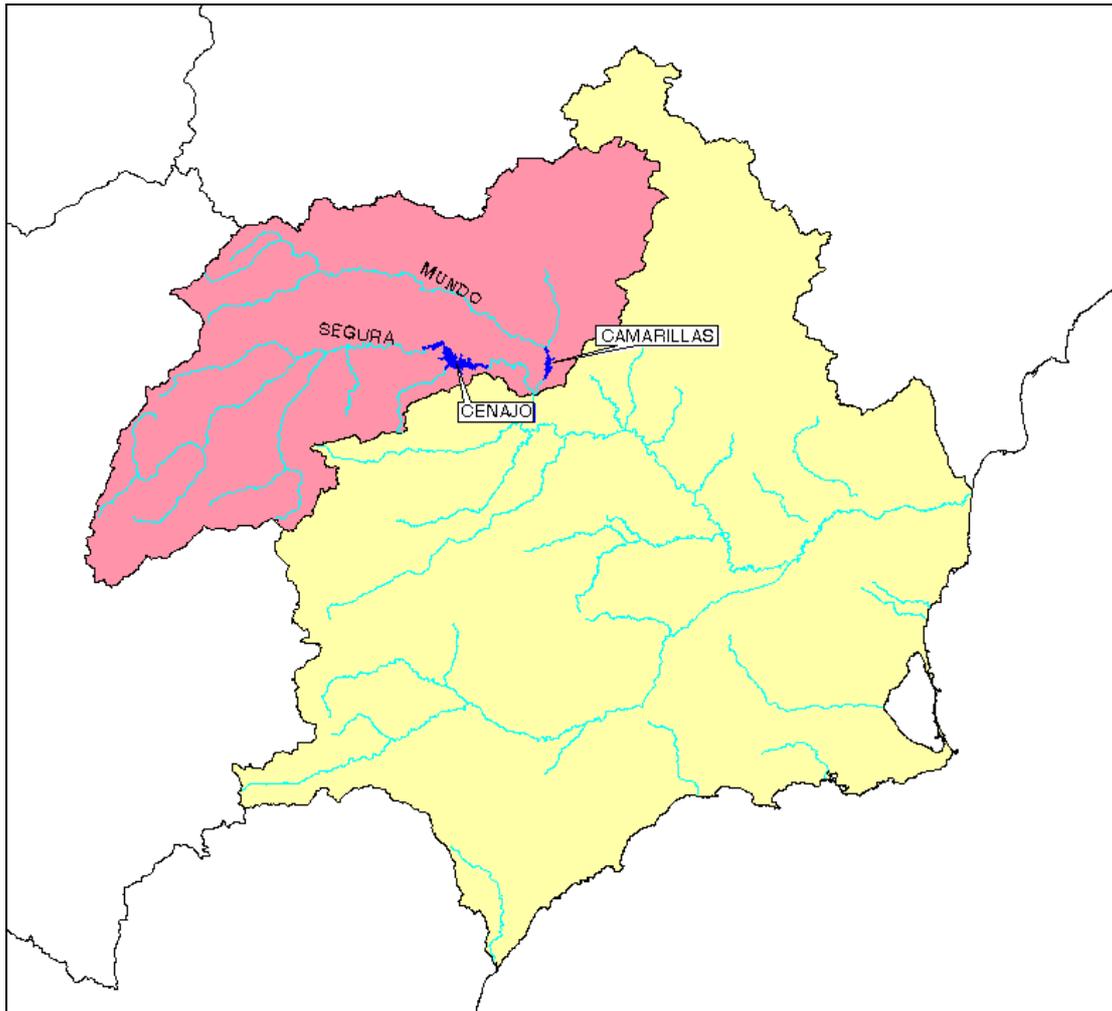


Figura 145. Cuencas vertientes a los embalses de Cenajo y Camarillas

Ámbito de planificación	Cuenca del río	Embalse	Rec. natural (hm ³ /año)	Rec. disponible (hm ³ /año)	Porcentaje de regulación
Segura	Segura	Cenajo	410	340	83
Segura	Mundo	Camarillas	170	150	88

Tabla 71. Porcentajes de regulación en las cuencas vertientes a dos de los principales embalses de la cuenca del Segura

Según estas cifras las cuencas vertientes a esos embalses se encuentran ya muy reguladas, con porcentajes teóricos de regulación aislada próximos al 90%. Los datos reflejados en la tabla anterior han sido obtenidos mediante los modelos de simulación de aportaciones naturales y de optimización de los sistemas de explotación de recursos utilizados en el Libro Blanco del Agua en España, y con los cuales ya se estimaron las cifras globales para cada uno de los ámbitos de planificación. El recurso disponible se ha estimado bajo el supuesto de una distribución de demanda variable con el criterio

de garantía utilizado en el LBAE de déficit anuales acumulados del 50, 75 y 100% de la demanda anual para 1, 2 y 10 años, respectivamente. El hecho de que no se hayan producido más que muy excepcionalmente vertidos no deseados (y sólo en el río Mundo), confirma la extrema regulación de estas cabeceras. Si además se tiene en cuenta que la superficie indicada produce cerca del 70% de todos los recursos naturales de la cuenca, puede intuirse ya que no cabe esperar resultados espectaculares de mejora de la regulación por el uso conjunto.

En cualquier caso, procede continuar el análisis centrando la atención en los acuíferos más significativos localizados aguas abajo de los principales embalses de regulación, tal y como se muestra en la siguiente figura.

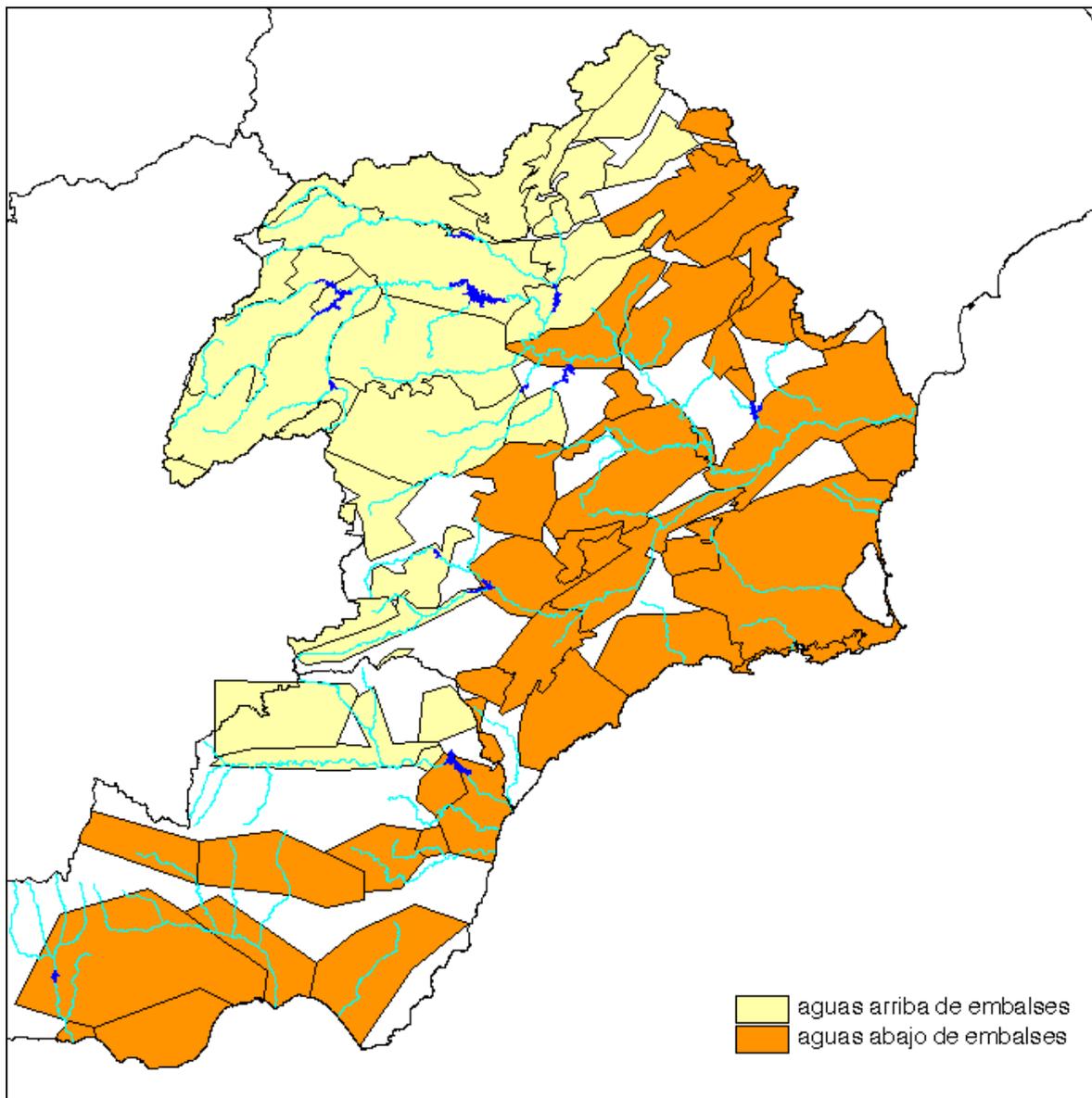


Figura 146. Selección de unidades hidrogeológicas en las cuencas del Segura y Almería

Se han considerado dos hipótesis, las derivadas de asumir, o no, que parte de las extracciones de las aguas subterráneas se utilizan para reducir los problemas de sobreexplotación. En la primera hipótesis el recurso que todavía podría utilizarse sería como máximo igual al sumatorio de la diferencia entre las recargas y bombeos de todas las unidades hidrogeológicas consideradas. En la segunda hipótesis el recurso sería mayor al no considerar que las posibles extracciones adicionales pueden servir para atender en parte la sobreexplotación existente. En este caso el recurso todavía utilizable se ha obtenido como el sumatorio de la diferencia entre las recargas y bombeos en aquellas unidades donde los bombeos son inferiores a las recargas.

Estos recursos potenciales adicionales deben entenderse como un límite superior que sirve para acotar las máximas posibilidades de extracción de agua de los acuíferos en la cuenca del Segura y Almería.

En la tabla adjunta, de elaboración propia a partir de información contenida en los Planes Hidrológicos de cuenca, se muestra una estimación de los incrementos potenciales de los bombeos en las unidades hidrogeológicas consideradas, observándose que los incrementos máximos absolutos en la cuenca del Segura y en la zona de Almería son prácticamente despreciables en las dos hipótesis adoptadas, y negativos si se considera la sobreexplotación y el posible reequilibrio interno.

Área de estudio	Infiltración por lluvia y cauces. (hm ³ /año).	Infiltración por excedentes de riego (hm ³ /año)	Recarga (hm ³ /año)	Transferencias (hm ³ /año)	Bombeo actual (hm ³ /año)	Incremento potencial teórico de bombeo (considerando la sobreexplotac.).	Incremento potencial teórico de bombeo (sin considerar la sobreexplotac.)
Segura	198	67	265	5	400	-130	86
Almería	83	27	110	10	181	-61	17

Tabla 72. Incrementos máximos en la explotación de las aguas subterráneas

Todas las cifras globales mencionadas en párrafos anteriores proceden de integrar los recursos adicionales estimados en las unidades hidrogeológicas. Conviene también analizar como se distribuyen esos recursos potenciales a través de las cuencas. Para ello, en la figura adjunta se muestran las cifras de infiltración debida a lluvia y cauces y los bombeos. También se ha representado la cifra de la diferencia entre las transferencias subterráneas que entran y salen de una determinada unidad hidrogeológica.

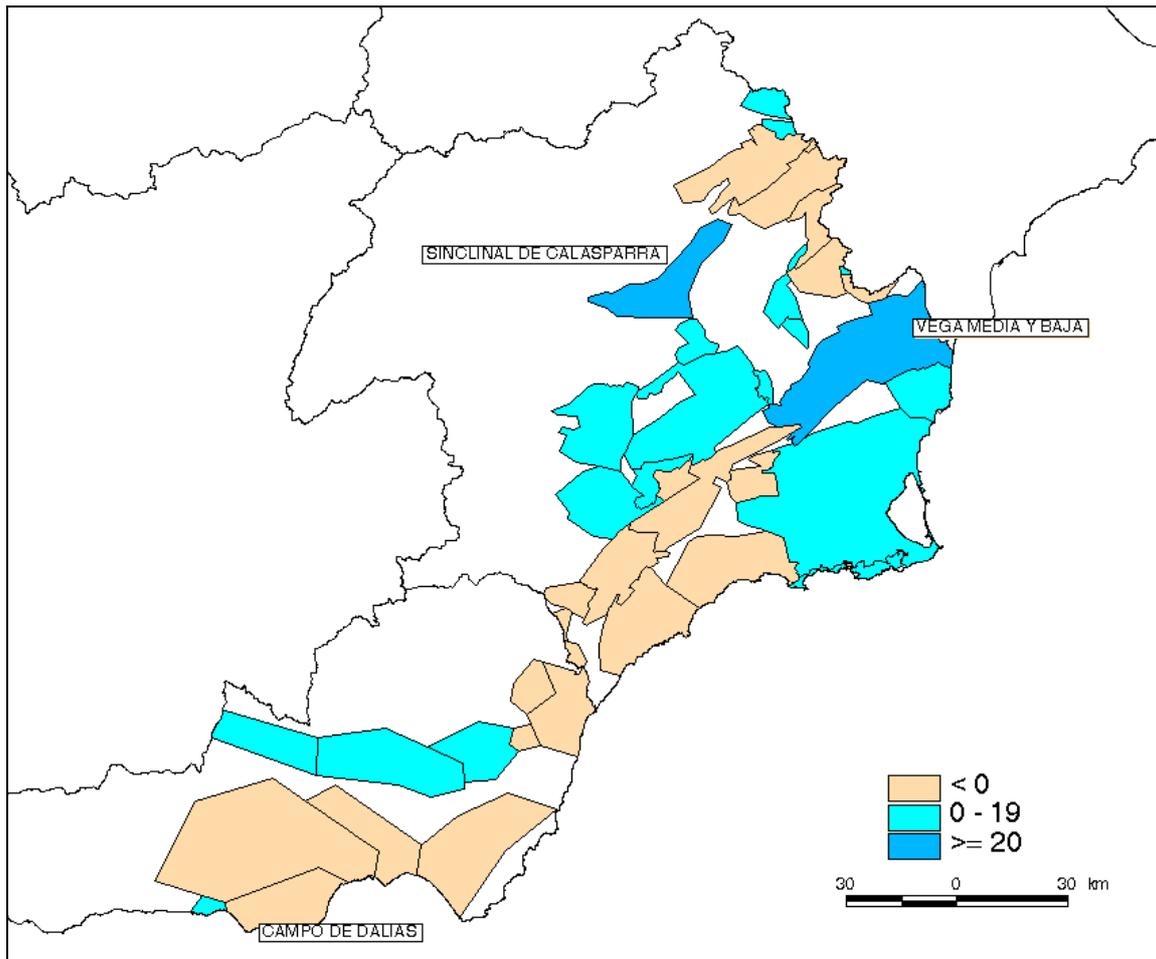


Figura 148. Diferencia entre recargas más transferencias y bombeos en las unidades hidrogeológicas estudiadas de la cuenca del Segura y de Almería

El análisis de las figuras anteriores muestra que en la cuenca del Segura y en la zona de Almería prácticamente no existen recursos subterráneos adicionales a los actuales. Únicamente en los acuíferos de la Vega Media y Baja del Segura podrían captarse teóricamente algunos recursos en torno a los 30 hm³/año, y en el Sinclinal de Calasparra unos 20 hm³/año. La captación de las Vegas viene planteándose de forma regular en situaciones de sequía, aunque, por lo general, y salvo sectores muy aislados, la elevada salinidad del agua la hace inservible para el regadío. El Sinclinal de Calasparra es también objeto, desde hace años, de aprovechamiento temporal mediante pozos de sequía, y no se considera adecuado incrementar su utilización. Más adelante se observará este modelo de funcionamiento contemplando la evolución piezométrica.

Existen algunos otros pocos acuíferos donde la diferencia entre recargas y bombeos es positiva, aunque sólo alcanza valores muy reducidos, de unos pocos hm³/año, y cuya regulación puede generar agotamiento de manantiales y efectos ambientales adversos, sin perjuicio de las dificultades sociales y administrativas que conllevaría esta nueva

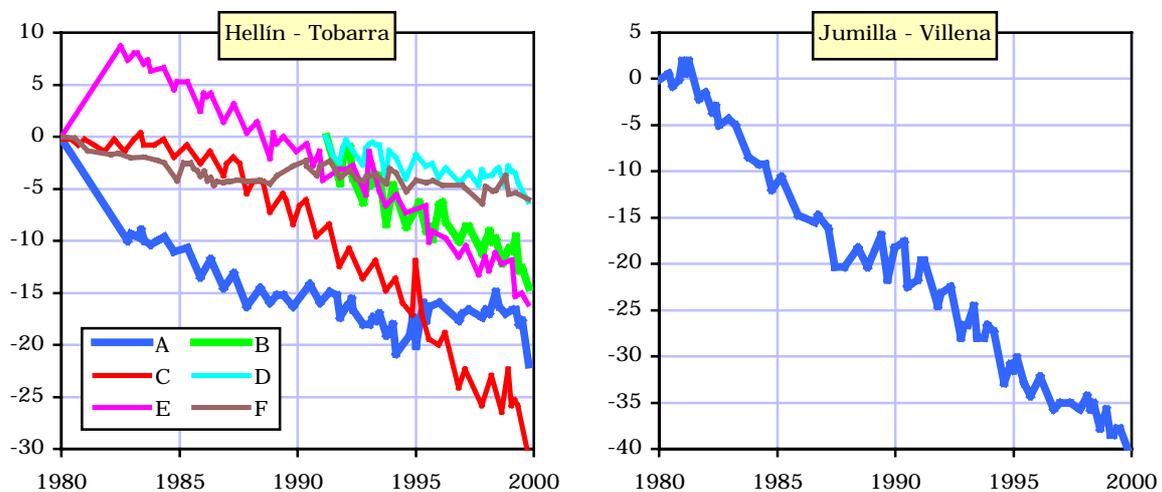
regulación, y que la hacen indeseable e inviable en la práctica. Es el caso de los acuíferos de la margen derecha, asociados a los ríos Argos, Quípar, Mula y Pliego.

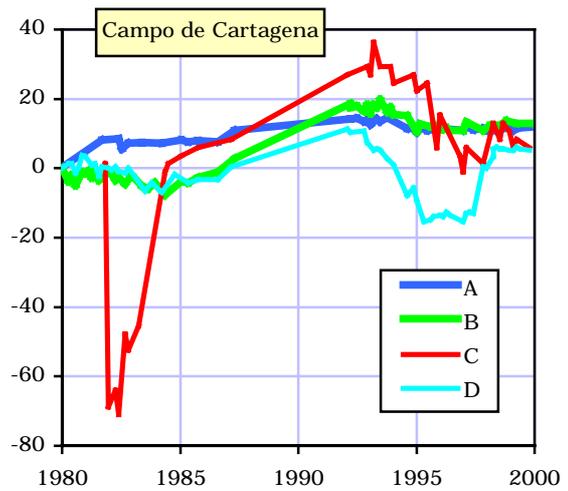
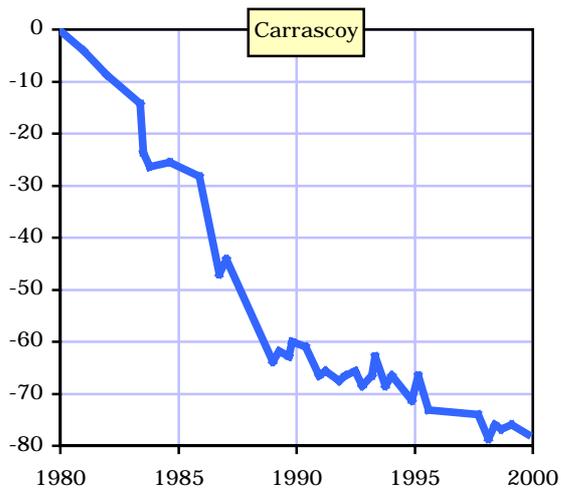
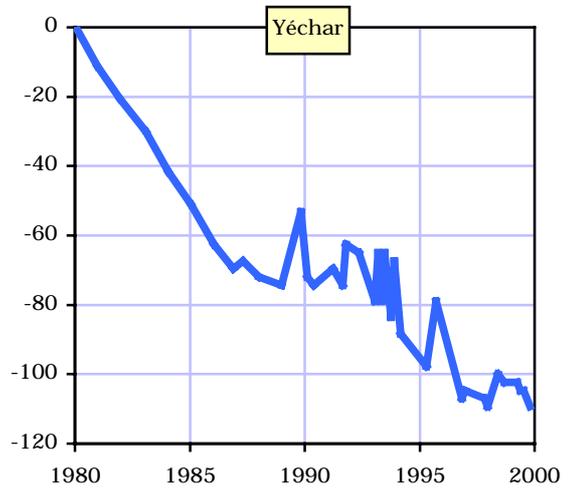
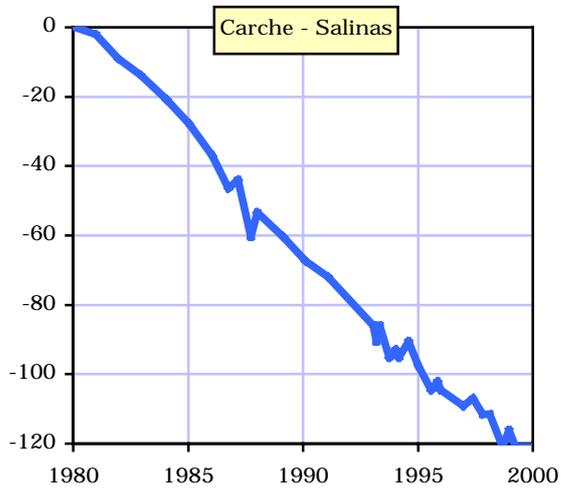
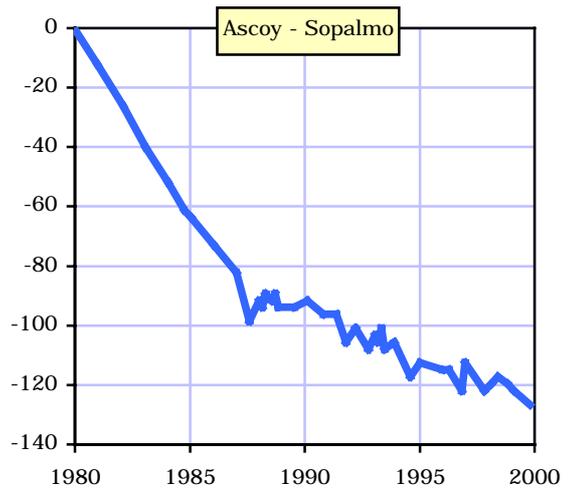
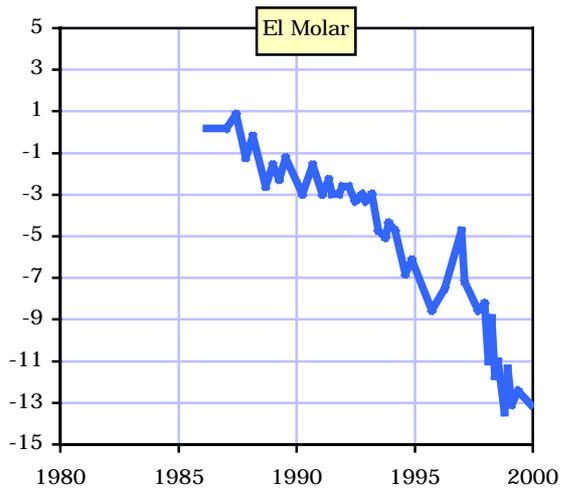
La integración de los recursos subterráneos y superficiales en esquemas de aprovechamiento mixto es, pues, una realidad fáctica en amplias zonas de las cuencas del Segura y en la zona de Almería, aunque no siempre obedeciendo a una optimizada programación conjunta. Puede afirmarse que una mayor implantación de estos esquemas no constituye una alternativa con impacto significativo en el incremento de las disponibilidades, dada la situación de uso intensivo, sobreexplotación y déficit generalizado existente.

Recientes trabajos de mayor detalle confirman estos resultados, concluyendo que esta posibilidad de incremento sería prácticamente nula en el caso del Segura, y escasa en la zona de Almería (MIMAM, 1998), donde se podrían extender los esquemas actuales a los acuíferos de Adra-Campo de Dalías y Andarax-Almería.

Otros estudios recientes (MOPTMA, 1995) orientados específicamente a investigar esta posibilidad de uso de las aguas subterráneas, han analizado las unidades hidrogeológicas considerando que los excedentes actuales sean o no utilizados, que se trate de unidades costeras, o que existan valores ecológicos de deseable conservación relacionados con la unidad. La conclusión para el Segura es que no cabe proponer ningún incremento de explotación por bombeo en ninguna unidad de la cuenca, y cabe, por el contrario, proponer una reducción de 282 hm³/año sobre las actuales extracciones, concentrada en el valle del Guadalentín, el Campo de Cartagena y los acuíferos de la margen izquierda.

Una muy expresiva visualización de esta situación es la proporcionada por las figuras adjuntas, en las que se muestra la evolución piezométrica media, en los últimos 20 años, de diferentes unidades hidrogeológicas de la cuenca (ITGE, 1999), para lo que se ha tomado como origen (ordenada 0) el nivel existente en 1980. Su inspección nos permitirá, además, ilustrar las tipologías básicas de funcionamiento de los acuíferos de la cuenca, lo que resulta relevante a los efectos de las posibles transferencias previstas en este Plan Hidrológico Nacional.





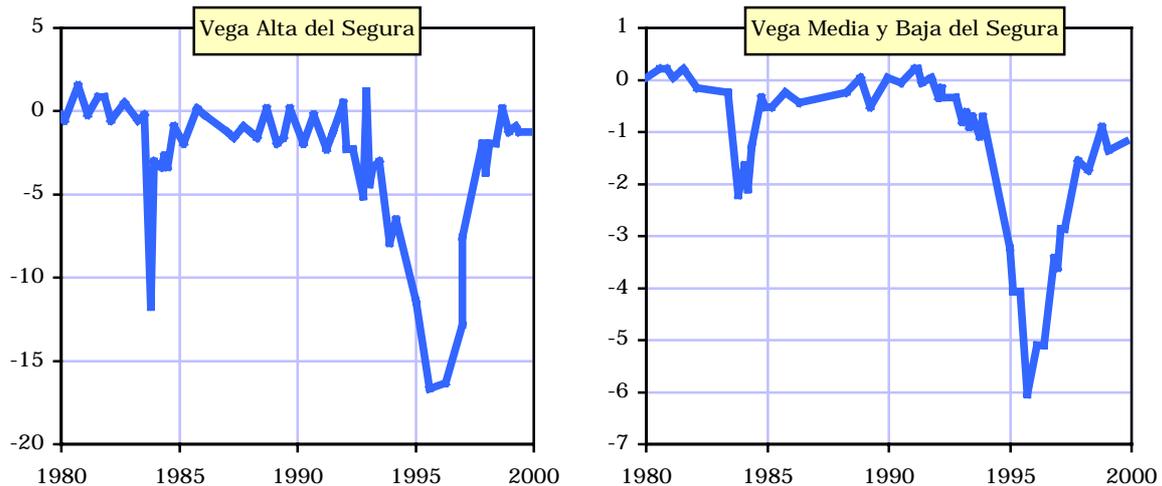


Figura 149. Evolución de niveles piezométricos medios en algunos acuíferos de la cuenca

Como se observa examinando las figuras, cabe distinguir tres situaciones representativas de la evolución de los acuíferos de la cuenca. Además de los importantes acuíferos de cabecera que, como se vió, drenan a los embalses y están, en consecuencia, plenamente regulados, existe un importante conjunto de unidades que viene presentando un continuo e ininterrumpido descenso de niveles, condicionante de la importante sobreexplotación y degradación de la calidad de las aguas subterráneas de la cuenca. Junto a ello, existen situaciones, como la del Campo de Cartagena, en las que el aporte de recursos procedentes del trasvase Tajo-Segura dio lugar –en la década de los 80 y hasta comienzos de los 90- a una importante recarga que elevó los niveles de forma casi generalizada. Tras ello, y una vez alcanzado el nuevo equilibrio, se observan descensos coincidentes con la sequía de mediados de los 90, y una situación actual relativamente equilibrada, con descensos moderados salvo algún sector específico claramente sobreexplotado. Por último, existen algunos acuíferos, como los de las Vegas del Segura, que pueden utilizarse como elementos de reserva en épocas de sequía. Como puede verse, sus niveles experimentan un descenso en 1983 al que sigue una recuperación, y otro descenso muy importante en el periodo 93-96, indicativo de la fuerte sequía de mediados de los 90. Se observa que la situación ha vuelto a recuperarse sensiblemente tras el vaciado de socorro, y este mecanismo de los pozos de reserva ha funcionado satisfactoriamente, no procediendo incrementar permanentemente las extracciones de estas unidades.

No existen, en consecuencia, acuíferos en situación de equilibrio que permitan movilizar de forma permanente nuevas aguas subterráneas hoy no empleadas directa o indirectamente en los distintos usos existentes. Las únicas posibilidades se ciñen a los acuíferos de cabecera y del noroeste, ya regulados de forma indirecta, y, como se apuntó, con previsibles efectos ambientales adversos sobre sus surgencias naturales. A este respecto es oportuno recordar los conceptos introducidos en la Directiva Marco de Aguas sobre disponibilidad de recursos subterráneos, cuya consideración anularía las posibilidades efectivas de nuevas movilizaciones en el área.

En definitiva, todo lo expuesto conduce a afirmar, sin margen de error, que no procede generar nuevas disponibilidades hídricas en la cuenca del Segura mediante el

incremento de la explotación de aguas subterráneas o el uso conjunto. Muy al contrario, alcanzar niveles de sostenibilidad en el aprovechamiento requiere disminuir sensiblemente la actual tasa de bombeos en la cuenca, habiéndose incluso llegado a proponer la necesidad de aportes externos específicos para reponer el daño ambiental debido al vaciado de reservas acuíferas.

En consecuencia, no cabe considerar explícitamente en el esquema elementos de uso conjunto, salvo acaso en unidades singulares del área de Almería. Dado que las actuaciones de mejora, aprovechamiento conjunto y gestión óptima de esta zona quedan, como se dijo, embebidas a efectos de cómputo en un requerimiento externo de menor cuantía, el posible mayor uso conjunto en el área ya ha sido considerado de forma implícita en la especificación de las demandas del modelo. Las posibilidades de extracción temporal complementaria en unidades como las Vegas del Segura o el Sinclinal de Calasparra se consideran en el análisis mediante el mecanismo de los socorros del sistema de explotación.

8.2.7. CONDUCCIONES

Tras examinar las posibilidades y elementos de regulación, el cuadro resumen de conducciones básicas consideradas en el Plan de cuenca, y que se adopta en este estudio, es el adjunto. Por analogía con los criterios adoptados en los otros análisis de este Plan Nacional, no se impone ninguna limitación de servicio estacional, y a las conducciones propias previstas en el Plan de cuenca se añaden ahora las vinculadas más específicamente al Plan Nacional, que son las correspondientes a la posible transferencia desde el Júcar al bajo Segura, al túnel Talave-Cenajo, al Canal Alto de la Margen Derecha, a la conexión costera del litoral y el Almanzora, y a las dos posibles conexiones para atender la zona del Altiplano. Todas éstas no existen actualmente, por lo que no se les impone a priori ninguna capacidad, y quedan a expensas de los resultados del análisis.

CONDUCCIÓN	Q _{max} (m ³ /s)	Q _{max} (hm ³ /mes)
C.P.M.D. hasta Algeciras	10	26
Toma de la presa de Algeciras	6	15
Retorno de la presa de Algeciras	6	15
C.P.M.D. tramo Algeciras-Lorca	10	26
C.P.M.D. tramo Lorca-Almería	7	18
C.P.M.I. hasta el partidior	27	70
C.M.I. tramo partidior-sifón de Orihuela	27	70
C.M.I. tramo sifón-Pedrerera	27	70
C.M.I. tramo Pedrerera-C. De Cartagena	20	52
Impulsión de Fuente Alamo	4,6	12
Derivación Sifón-Vega Baja	4	10
Canal de retorno de la Pedrerera	30	78
Toma Segura-embalses del Hondo	7	18
Canal Hondo-Riegos de Levante	7	18
C.M.I. tramo partidior-Crevillente	14	36
Canal Crevillente-Riegos de Levante	10	26

Tabla 73 . Conducciones consideradas

Como en el caso de las infraestructuras de almacenamiento, y en aras a la optimización técnico-económica de la explotación conjunta, se permite la utilización integrada de todas las conducciones para la circulación de flujos en la cuenca, con independencia de la tipificación jurídica de los destinos del agua.

Este óptimo funcionamiento hidráulico conllevará su correspondiente imputación de costes mediante las adecuadas tarifas de transporte cuyo análisis queda, como en el caso de los embalses, fuera del alcance de este Plan Nacional.

8.3. ESQUEMA GENERAL

Con los elementos descritos en epígrafes anteriores se ha construido el sistema básico de explotación general de la cuenca del Segura y Sur Oriental, tal y como se muestra en el gráfico adjunto.

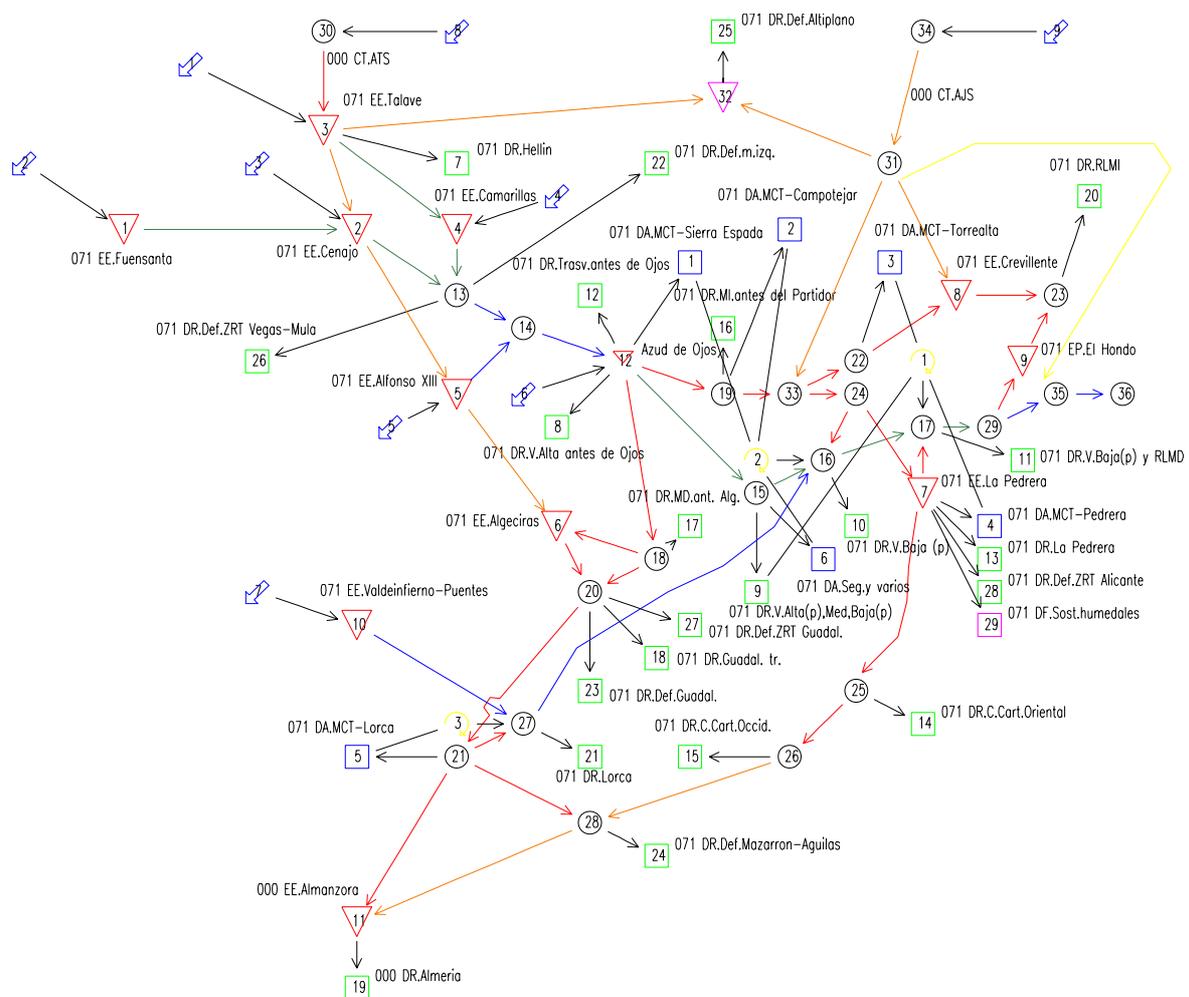


Figura 150. Sistema básico de explotación de la cuenca del Segura-Almería

Este sistema es el que se somete a optimización de la gestión y análisis de la regulación general, con los resultados que seguidamente se exponen.

8.4. ANÁLISIS DEL SISTEMA Y RESULTADOS OBTENIDOS

8.4.1. ANÁLISIS BÁSICOS

Comenzando por el análisis de la situación actual, sin nuevas conducciones ni elementos de regulación, la tabla de doble entrada adjunta muestra el número de demandas del sistema que presentan fallos ordinarios, en función del aporte externo que se reciba por las dos posibles entradas consideradas (desde el ATS o desde el ámbito del Júcar, procedente del Vinalopó-Villena). Este aporte externo se supone en principio a caudal continuo durante todo el año por ambas entradas.

		Aporte Acueducto Tajo-Segura (hm ³ /año)														
		400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
Aporte Júcar-Segura (hm ³ /año)	0	29	29	29	29	29	29	28	28	28	26	22	15	8	6	6
	50	29	29	29	29	29	28	28	28	26	22	15	8	6	6	6
	100	29	29	29	29	28	28	28	26	22	15	8	6	6	6	6
	150	29	29	29	28	28	28	26	22	15	8	6	6	6	6	6
	200	29	29	28	28	28	26	22	15	8	6	6	6	6	6	6
	250	28	28	28	28	26	22	14	8	6	6	6	6	6	6	6
	300	28	28	28	25	23	15	8	6	6	6	6	6	6	6	6
	350	26	26	26	22	14	8	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	400	20	20	18	18	8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	450	18	18	18	17	8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	500	18	18	18	18	8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	550	18	18	18	17	8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	600	18	18	18	17	8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	650	18	18	18	17	8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
700	18	18	18	17	8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	

Tabla 74. Fallos del sistema en situación actual

Como puede verse, sea cual sea la cuantía de los aportes externos, y aunque se aumente indefinidamente, siempre hay 6 unidades de demanda que presentan fallos de suministro de forma permanente. Ello revela, evidentemente, un problema estructural de imposibilidad de atención de demandas no por falta de recursos, sino por incapacidad de las infraestructuras del sistema.

Examinando cuales son las demandas que fallan, y dejando a salvo la necesaria nueva conducción al Altiplano, se observa que son las correspondientes a los riegos del Guadalentín trasvase y déficit de sobreexplotación y zonas regables del trasvase en el Guadalentín, el regadío de Lorca, el regadío de Mazarrón y Águilas, el regadío de Almería, y el abastecimiento de Lorca. En definitiva, todas las demandas vinculadas al valle del Guadalentín-Litoral-Almería, y que requieren para su atención del flujo de caudales por el Canal de la Margen Derecha del Postravase Tajo-Segura.

Inspeccionando el funcionamiento de esta conducción, se comprueba que el tramo desde Ojós a Algeciras se mantiene lleno, a plena capacidad, de forma continua, todos los meses de todos los años simulados, lo que revela claramente el origen del estrangulamiento producido. La llegada a Algeciras es, también, prácticamente continua, tal y como puede verse en la figura adjunta.

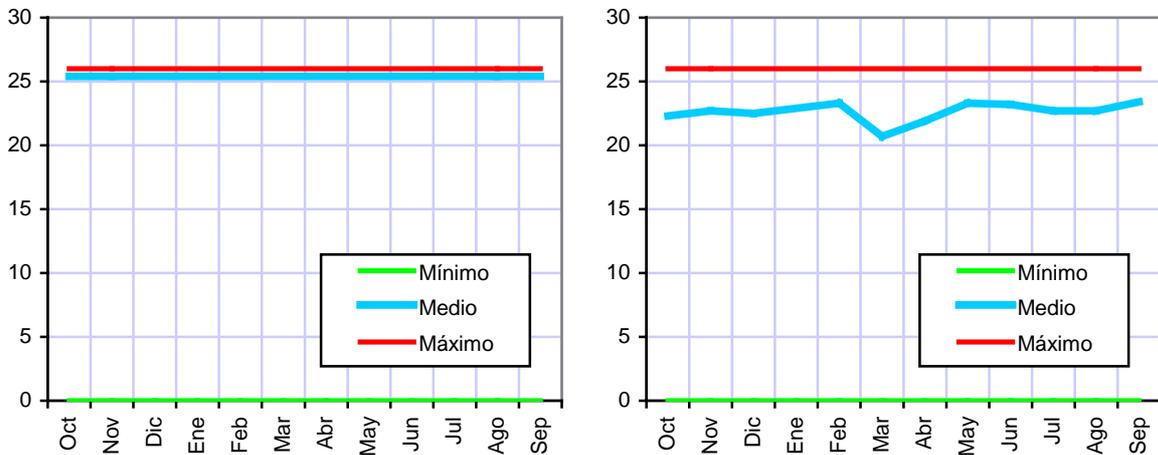


Figura 151. Circulación en las conducciones del Canal Principal M.D. (hm^3/mes)

El embalse de Algeciras debe modular este régimen continuo llenándose en otoño e invierno –con carrera intraanual próxima a los 25 hm^3 - y distribuir los recursos de forma que se aportan en estos meses a Almería, donde son de nuevo remodulados por el embalse de Almanzora para la satisfacción de sus demandas, máximas en verano.

Las figuras adjuntas muestran sintéticamente tal patrón intraanual de comportamiento.

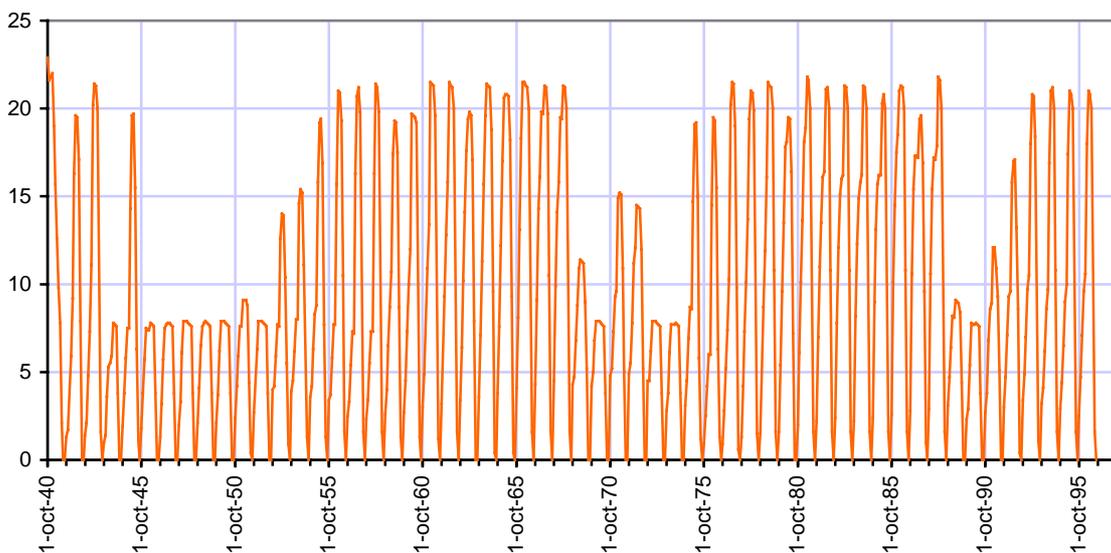


Figura 152. Serie de existencias mensuales embalsadas en Algeciras (hm^3)

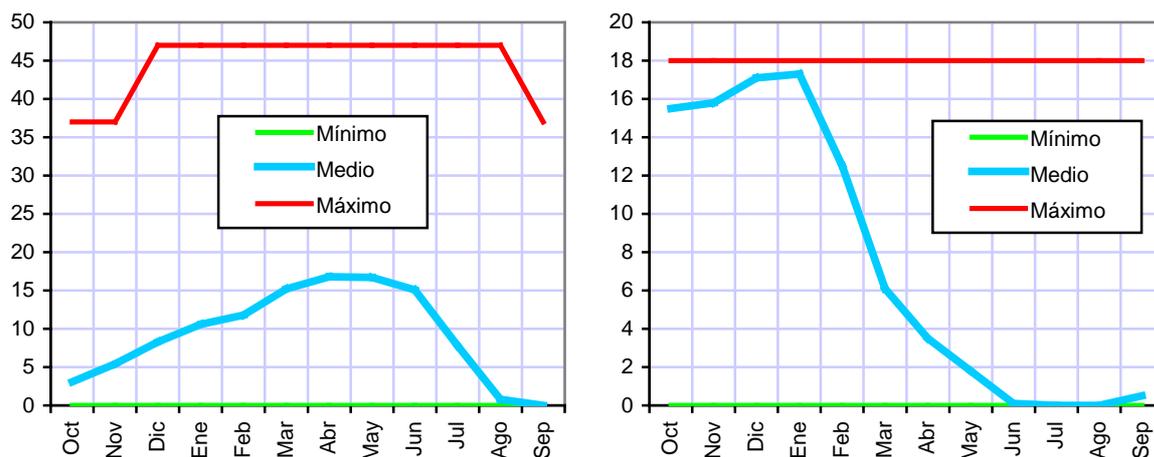


Figura 153. Régimen medio de Algeciras y circulación a Almería (hm³/mes)

Analizando la topología del esquema hidráulico se observa que este problema estructural puede ser resuelto de tres formas distintas.

Una primera, obvia, consiste en el *recrecimiento del canal de la margen derecha*. La tabla adjunta muestra, para esta nueva situación de infraestructura, el número de demandas del sistema que presentan fallos ordinarios, en función, como antes, del aporte externo que se reciba por las dos posibles entradas.

		Aporte Acueducto Tajo-Segura (hm ³ /año)														
		400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
Aporte Júcar-Segura (hm ³ /año)	0	29	29	29	29	29	29	28	28	28	27	23	14	10	0	0
	50	29	29	29	29	29	28	28	28	27	23	15	9	0	0	0
	100	29	29	29	29	28	28	28	27	23	14	9	0	0	0	0
	150	29	29	29	28	28	28	27	23	15	10	0	0	0	0	0
	200	29	29	28	28	28	27	23	15	10	0	0	0	0	0	0
	250	28	28	28	28	27	23	16	10	0	0	0	0	0	0	0
	300	28	28	28	27	23	16	10	0	0	0	0	0	0	0	0
	350	26	26	26	23	17	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	400	20	20	20	15	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	450	18	18	18	17	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	500	18	18	18	17	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	550	18	18	18	17	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	600	18	18	18	17	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	650	18	18	18	17	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
700	18	18	18	17	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabla 75. Fallos del sistema con CPMD recrecido

Como se observa, si el aporte por el ATS no alcanza los 650 hm³/año, se producirán fallos del sistema sea cual sea la cuantía del aporte por el Vinalopó, observándose un funcionamiento correcto si, cumplido este requisito mínimo del ATS, la suma de ambos aportes alcanza los 1050 hm³/año. Este funcionamiento correcto supone dar satisfacción a las demandas propias reales existentes, sin ampliación de regadíos,

eliminar la sobreexplotación de acuíferos, y cumplir los requerimientos básicos de naturaleza medioambiental previstos en el Plan.

Es interesante, asimismo, examinar las salidas del sistema al mar, para cada uno de los supuestos de aportes externos considerados. Las cuantías medias anuales, en hm³, son las ofrecidas en la tabla.

		Aporte Acueducto Tajo-Segura (hm ³ /año)														
		400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
Aporte Júcar-Segura (hm ³ /año)	0	25	25	26	26	27	28	29	30	32	34	35	37	39	49	72
	50	25	26	26	27	28	29	30	32	34	35	37	39	49	72	106
	100	26	26	27	28	29	30	32	34	35	37	39	49	72	106	147
	150	26	27	28	29	30	32	34	35	37	39	49	72	106	146	190
	200	27	28	29	30	32	34	35	37	39	49	72	106	146	190	236
	250	28	29	30	32	34	35	37	39	49	72	106	147	190	236	285
	300	29	30	32	34	35	37	39	49	71	106	146	190	236	285	334
	350	30	32	34	35	37	40	49	72	106	146	190	236	285	334	383
	400	32	34	35	37	41	49	73	107	148	190	236	285	334	383	432
	450	38	42	45	48	56	79	110	151	193	237	285	334	383	432	481
	500	86	90	94	97	105	128	159	199	241	286	334	383	432	481	530
	550	135	139	143	146	154	177	208	248	290	335	383	432	481	530	580
	600	184	188	192	195	203	226	256	297	339	384	432	481	530	580	629
	650	233	238	241	244	252	275	305	345	388	433	482	531	580	629	679
	700	283	287	290	293	302	324	354	394	437	483	531	580	630	679	729

Tabla 76. Salidas del sistema al mar con CPMD recrecido

Puede verse que, en el entorno de las cuantías mínimas de no fallo, las salidas del sistema son del orden de los 50 hm³/año, lo que revela dos cosas importantes: un extremo aprovechamiento de los recursos disponibles (salidas del orden del 3% de las aportaciones totales del sistema), y la no necesidad, en principio, de establecer nuevas regulaciones complementarias a las ya existentes, o mejoras en la modulación estacional de las llegadas. Este resultado básico ha de ser prudentemente matizado teniendo en cuenta las condiciones ideales de flujo que se suponen en el modelo, y la dificultad para llevarlas a la práctica en la realidad cotidiana de la explotación de la cuenca. Es por ello que puede resultar conveniente alguna actuación en tal sentido, pero, como se observa, básicamente desde el punto de vista de mejora de la facilidad de explotación más que de incremento de la regulación en sentido estricto.

Una segunda solución al problema planteado consistiría en la construcción del *enlace Talave-Cenajo-Canal Alto de la Margen Derecha*, hasta llegar al embalse de Algeciras, donde enlazaría con el CPMD, en su caso recrecido desde ese punto. La activación de esta conducción da lugar a los resultados ofrecidos en la tabla.

		Aporte Acueducto Tajo-Segura (hm ³ /año)														
		400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
Aporte Júcar-Segura (hm ³ /año)	0	29	29	29	29	29	29	28	28	28	27	23	18	11	0	0
	50	29	29	29	29	29	28	28	28	27	23	19	11	0	0	0
	100	29	29	29	29	28	28	28	27	23	19	11	0	0	0	0
	150	29	29	29	28	28	28	27	23	16	11	0	0	0	0	0
	200	29	29	28	28	28	27	23	17	11	0	0	0	0	0	0
	250	28	28	28	28	27	23	16	10	0	0	0	0	0	0	0
	300	28	28	28	27	23	16	11	0	0	0	0	0	0	0	0
	350	26	26	26	23	17	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	400	20	20	20	16	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	450	18	18	18	17	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	500	18	18	18	17	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	550	18	18	18	17	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	600	18	18	18	17	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	650	18	18	18	17	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
700	18	18	18	17	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabla 77. Fallos del sistema con Talave-Cenajo-CAMD

Como se observa, estos resultados son similares a los obtenidos en el caso anterior, lo que era de prever teniendo en cuenta que, en ambos casos, los puntos de suministro y destino son virtualmente los mismos, variando únicamente el trazado recorrido. Entre ambas opciones existe, obviamente, una diferencia de costes y afecciones ambientales que se analiza en los correspondientes Anejos, pero son análogas desde el punto de vista funcional de la regulación del sistema.

Como antes, las salidas medias anuales del sistema son las mostradas en la tabla.

		Aporte Acueducto Tajo-Segura (hm ³ /año)														
		400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
Aporte Júcar-Segura (hm ³ /año)	0	25	25	25	26	27	28	29	30	32	33	35	37	39	48	71
	50	25	25	26	27	28	29	30	32	33	35	37	39	48	71	104
	100	25	26	27	28	29	30	32	33	35	37	39	48	71	104	144
	150	26	27	28	29	30	32	33	35	37	39	48	71	104	144	187
	200	27	28	29	30	32	33	35	37	39	48	71	104	144	187	233
	250	28	29	30	32	33	35	37	39	48	71	104	144	187	233	282
	300	29	30	32	33	35	37	39	48	70	104	144	187	233	282	331
	350	30	32	33	35	37	40	48	70	104	144	187	233	282	331	380
	400	32	33	35	37	40	49	72	105	146	188	234	282	331	380	429
	450	38	42	45	48	56	79	110	149	191	235	283	331	380	429	478
	500	86	90	94	97	105	127	158	198	239	284	331	380	429	478	527
	550	135	139	143	146	154	176	207	246	288	332	380	429	478	527	577
	600	184	188	192	195	202	225	254	295	336	381	429	478	527	577	626
	650	233	237	241	244	251	273	303	343	385	430	479	527	577	626	676
700	283	287	290	293	301	322	352	392	434	480	528	577	627	676	726	

Tabla 78. Salidas del sistema al mar, con Talave-Cenajo-CPMD

Puede verse que, en el entorno de las cuantías mínimas de no fallo, las salidas del sistema son análogas a las del supuesto anterior -del orden de los 50 hm³/año- por lo que puede considerarse también igual desde este punto de vista.

Por último, una tercera solución al problema planteado consiste en desarrollar la *circulación por la línea costera*, en un trazado de nueva concepción que arrancaría en el punto de aporte desde el Vinalopó, siguiendo el canal de la Margen Izquierda hasta La Pedrera, y continuando por el canal del Campo de Cartagena, desde el que se enlazaría –mediante nueva conducción– con la zona litoral de Mazarrón-Águilas, y prolongándose hasta el Almanzora.

Desde el punto de vista de los fallos de garantía, los resultados de esta alternativa son los mostrados en la tabla.

		Aporte Acueducto Tajo-Segura (hm ³ /año)														
		400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
Aporte Júcar-Segura (hm ³ /año)	0	29	29	29	29	29	28	28	28	28	25	21	11	8	1	1
	50	29	29	29	29	29	28	28	28	27	23	18	11	0	0	0
	100	29	29	29	29	28	28	28	27	23	19	11	0	0	0	0
	150	29	29	29	28	28	28	27	23	18	11	0	0	0	0	0
	200	29	29	28	28	28	27	23	18	11	0	0	0	0	0	0
	250	29	28	28	28	27	23	18	11	0	0	0	0	0	0	0
	300	28	28	28	27	23	15	10	0	0	0	0	0	0	0	0
	350	28	28	27	23	16	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	400	28	27	23	16	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	450	26	25	17	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	500	20	19	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	550	15	15	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	600	15	15	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	650	15	15	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	700	15	15	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 79. Fallos del sistema con circulación costera

Como puede verse, estos resultados son ligeramente diferentes a los anteriores. Aunque la suma mínima de ambos aportes externos vuelve a ser de 1050 hm³/año, el umbral de aporte por el ATS se reduce ahora a 550 hm³/año, en lugar de los 650 de antes.

Las salidas medias anuales del sistema son las mostradas en la tabla.

		Aporte Acueducto Tajo-Segura (hm ³ /año)														
		400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
Aporte Júcar-Segura (hm ³ /año)	0	25	26	26	27	28	29	30	32	33	35	37	39	46	67	99
	50	25	26	26	27	28	29	30	32	34	35	37	39	50	73	107
	100	26	26	27	28	29	30	32	34	35	37	39	50	72	106	147
	150	26	27	28	29	30	32	34	35	37	39	49	72	106	147	190
	200	27	28	29	30	32	34	35	37	39	49	72	106	147	190	236
	250	28	29	30	32	34	35	37	39	49	72	106	147	190	236	285
	300	29	30	32	34	35	37	39	49	72	106	147	190	236	285	334
	350	30	32	34	35	37	39	49	72	106	147	190	236	285	333	382
	400	32	34	35	37	39	49	72	106	147	190	236	285	334	382	431
	450	34	35	37	39	49	72	106	147	190	237	285	334	383	432	481
	500	35	37	39	50	72	107	147	190	237	285	334	383	432	481	530
	550	37	39	49	72	107	147	190	237	285	334	383	432	481	530	579
	600	39	49	73	105	147	191	238	285	334	383	432	480	530	579	629
	650	78	92	117	151	194	240	286	334	382	431	480	530	579	629	679
	700	126	140	165	199	243	288	335	383	431	480	529	579	629	678	728

Tabla 80. Salidas del sistema al mar con circulación costera

Puede verse que, en el entorno de las cuantías mínimas de no fallo, las salidas del sistema vuelven a ser iguales a las de los supuestos anteriores -del orden de los 50 hm³/año- por lo que cabe extraer las mismas conclusiones que entonces.

Asimismo, es interesante contrastar el efecto que tendría un aporte externo desde el Vinalopó de las mismas cuantías que las consideradas, pero con una modulación estacional que, en lugar de producirse en régimen continuo todo el año, concentrarse el total anual en los 8 meses fuera del verano, es decir, suponiendo que en el periodo junio-septiembre las transferencias son nulas, y desde octubre a mayo se aporta, en régimen continuo, el volumen total anual. Este supuesto es interesante para investigar el impacto de posibles situaciones de transferencias que requieran derivaciones de las fuentes fuera de los periodos de estiaje.

Las tablas adjuntas muestran la diferencia del número de demandas con fallo ordinario con relación al supuesto anterior de flujo continuo en 12 meses, y para ambas posibilidades de flujo costero o por la margen derecha.

		Aporte Acueducto Tajo-Segura (hm ³ /año)														
		400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
Aporte Júcar-Segura (hm ³ /año)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0
	100	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
	150	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0
	200	0	0	0	0	0	0	2	1	0	4	0	0	0	0	0
	250	0	0	0	0	0	2	0	0	4	0	0	0	0	0	0
	300	0	0	0	0	2	1	1	7	0	0	0	0	0	0	0
	350	0	0	0	2	0	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0
	400	-2	-1	2	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	450	-4	-3	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	500	-2	-3	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	550	2	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	600	2	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	650	2	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	700	2	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 81. Diferencias de fallos del sistema (C8-C12) con circulación costera

Puede verse que, en el supuesto de circulación costera, las combinaciones de aportes continuos en que no se producía ningún fallo (marcadas en azul), siguen sin producirlo en la hipótesis de 8 meses excepto el efecto de borde de la diagonal debido a una necesidad de aporte ligeramente mayor (no fallos a 12 meses son ahora fallos a 8). Salvo efectos puntuales no significativos, ambas hipótesis son básicamente iguales excepto para aportes reducidos del ATS y elevados desde el Júcar, situación en que la hipótesis de 8 meses es claramente desfavorable, y que puede explicarse por la mayor dificultad del sistema de cabecera -con aportes reducidos desde el ATS- para compensar la peor modulación de la entrada por el Vinalopó.

La tabla de diferencias resultante para el flujo interior, por la margen derecha, es la siguiente.

		Aporte Acueducto Tajo-Segura (hm ³ /año)														
		400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
Aporte Júcar-Segura (hm ³ /año)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	0	0	0
	150	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0
	200	0	0	0	0	0	0	2	3	1	3	0	0	0	0	0
	250	0	0	0	0	0	2	1	1	6	0	0	0	0	0	0
	300	-1	-1	-1	-1	2	0	1	7	0	0	0	0	0	0	0
	350	-4	-4	-4	-2	1	-2	6	0	0	0	0	0	0	0	0
	400	-1	-1	-1	3	6	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	450	1	1	1	1	7	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	500	1	1	1	1	7	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	550	1	1	1	1	7	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	600	1	1	1	1	7	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	650	1	1	1	1	7	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	700	1	1	1	1	7	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 82. Diferencias de fallos del sistema (C8-C12) con circulación interior

Como puede comprobarse, el resultado es similar al de la circulación costera, con el mismo efecto de borde, por lo que vale lo anteriormente indicado.

La conclusión de estas tablas comparativas es que no hay diferencias sustanciales entre el régimen de aportes a 12 meses y el de aportes a 8 meses. Se aprecia únicamente un muy pequeño aumento del total transferido, y un efecto singular para aportes reducidos del ATS y elevados desde el Júcar, debido a la topología de la red de flujo.

En definitiva, suponiendo el caso más desfavorable de llegadas a 8 meses, el análisis del sistema muestra que se requiere un aporte externo total del orden de 1100 hm³/año, de los que han de proceder del ATS al menos unos 550 si la circulación es costera, y al menos 700 si es interior, por la margen derecha.

Una vez centradas estas magnitudes básicas, y con el objeto de afinar las cifras obtenidas, se realiza un análisis de detalle considerando el supuesto razonable de aporte por el ATS de 540 hm³/año (máximo neto del trasvase vigente, concordante con las demandas supuestas), y estudiando la sensibilidad del sistema frente a distintas cuantías de aporte a 8 meses por el Vinalopó.

Así, para cada volumen anual aportado al sistema desde el Vinalopó, el primer gráfico muestra el índice ponderado de comportamiento del sistema (IPOC), el número de demandas con fallos ordinarios, el número de demandas con fallos absolutos, y la tasa de circulación (relación porcentual entre el aumento de las salidas del sistema y el aumento de sus entradas). El segundo gráfico muestra los volúmenes anuales de socorro (VAS, suma de los socorros requeridos por todas las demandas del sistema) máximo y medio, junto con el número de años en que se requiere este socorro medio.

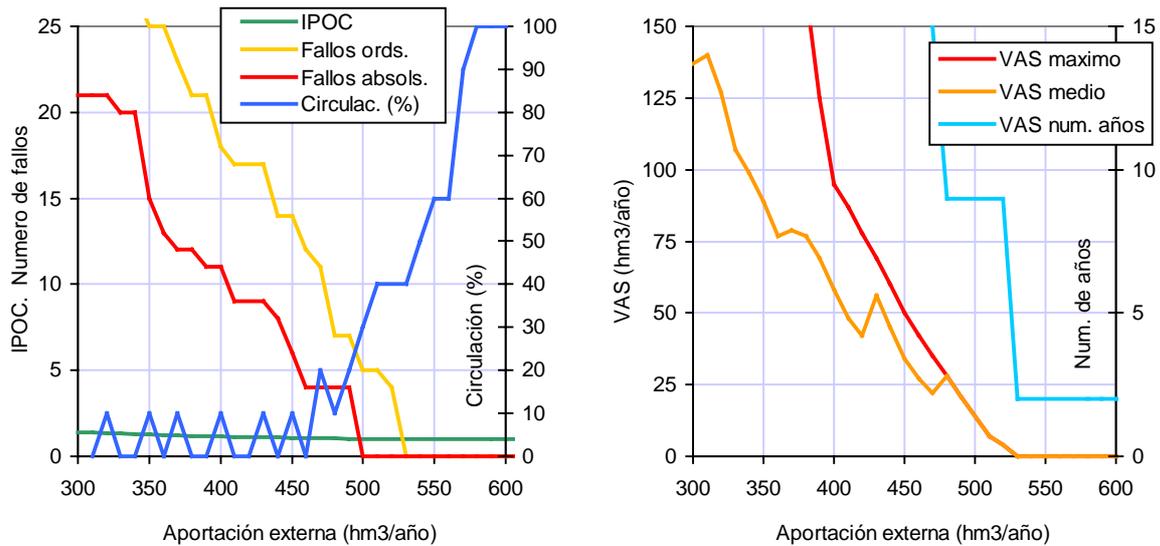


Figura 154. Indicadores de comportamiento según el volumen de aportación externa

Como puede verse, todos los indicadores muestran una situación inicial (aporte desde el Vinalopó en torno a los 300 hm³/año) inadmisibles, que mejora rápidamente a medida que se va incrementando esta aportación externa hasta valores asintóticos finales entre 500 y 550 hm³/año. El número de fallos ordinarios se anula para aportes superiores a los 520 hm³/año, y el de fallos absolutos para aportes superiores a los 500, por lo que éstas parecen ser buenas cuantías iniciales de referencia.

Asimismo, la tasa de circulación es nula hasta trasvases próximos a los 500 hm³/año, y aumenta rápidamente a partir de este valor hasta los 580 hm³/año, en que alcanza el 100% (el aumento de salidas es igual al aumento de entradas). Ello muestra claramente la horquilla de eficiencia de los aportes externos. El índice IPOC es siempre próximo a 1, y muy próximo a partir de los 450 hm³/año transferidos.

Por su parte, el máximo volumen global suma de todos los socorros necesarios para todas las unidades de demanda del sistema es superior a 100 hm³/año para trasvases inferiores a 400, y se reduce progresivamente hasta los 520, anulándose a partir de 530. El medio desciende también progresivamente hasta prácticamente anularse con valores del mismo orden de magnitud.

Como se observa, todos los indicadores examinados apuntan a un buen funcionamiento del sistema con trasvases mínimos por el Vinalopó del orden de los 520 hm³/año, por lo que esta es la cuantía de referencia que se propone. De estos 520 hm³/año, 105 irían a la cuenca del Sur (zona de Almería Levante y Poniente), y 415 irían destinados propiamente al Segura. Esta cuantía es la equivalente a los 460 obtenidos en el Plan Hidrológico de esta cuenca, y la diferencia puede explicarse considerando los nuevos y más exigentes requerimientos de reutilización, el desarrollo de la desalación, las diferencias en los criterios de garantía adoptados, y el régimen de circulación de caudales externos, no previsto, lógicamente, en el Plan de cuenca.

Si se repite ahora este análisis detallado, pero en la situación contraria de suponer aporte nulo por el Júcar, y estudiando la sensibilidad del sistema frente a distintas cuantías de aporte continuo desde el ATS, se obtienen los resultados mostrados en los gráficos adjuntos, similares a los anteriores.

Para cada volumen anual aportado al sistema por el ATS, el primer gráfico muestra el índice ponderado de comportamiento del sistema (IPOC), el número de demandas con fallos ordinarios, el número de demandas con fallos absolutos, y la tasa de circulación (relación porcentual entre el aumento de las salidas del sistema y el aumento de sus entradas). El segundo gráfico muestra los volúmenes anuales de socorro (VAS, suma de los socorros requeridos por todas las demandas del sistema) máximo y medio, junto con el número de años en que se requiere este socorro medio.

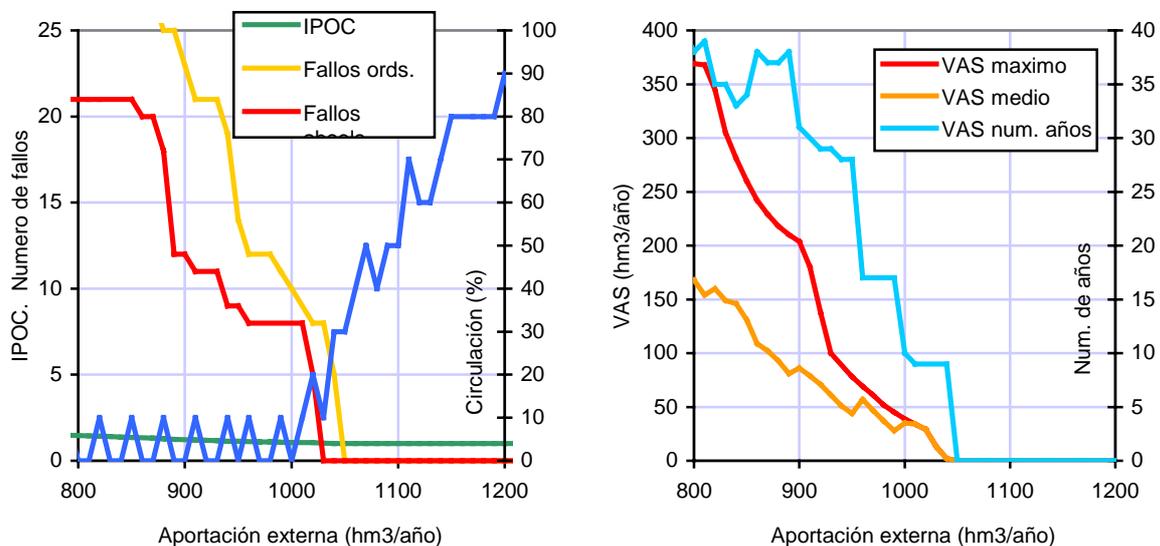


Figura 155. Indicadores de comportamiento según el volumen de aportación externa

Como puede verse, todos los indicadores muestran una situación inadmisibles hasta aportes mínimos del orden de los 900 hm³/año, mejorando rápidamente a medida que se va incrementando esta aportación externa hasta valores asintóticos finales del orden de los 1050 hm³/año. El número de fallos ordinarios se anula para aportes superiores a los 1030 hm³/año, y el de fallos absolutos para aportes superiores a los 1050, por lo que éstas parecen ser buenas cuantías iniciales de referencia.

Asimismo, la tasa de circulación es nula hasta trasvases próximos a los 1000 hm³/año (los aportes externos son completamente absorbidos), y aumenta rápidamente a partir de este valor hasta los 1200 hm³/año, en que alcanza casi el 100% (el aumento de salidas es igual al aumento de entradas). Ello muestra claramente la horquilla de eficiencia de los aportes externos. El índice IPOC es próximo a 1 a partir de los 1000 hm³/año transferidos.

Por su parte, el máximo volumen global suma de todos los socorros necesarios para todas las unidades de demanda del sistema es superior a 100 hm³/año para trasvases inferiores a 930, y se reduce progresivamente hasta los 1040, en que se anula. El medio

desciende también progresivamente hasta prácticamente anularse con valores del mismo orden de magnitud, y con un número de años requerido que aumenta rápidamente si los aportes no alcanzan estas cifras.

Como se observa, todos los indicadores examinados apuntan a un buen funcionamiento del sistema con trasvases mínimos por el ATS del orden de los 1050 hm³/año, por lo que esta es la cuantía de referencia que se propone. De estos 1050 hm³/año, 540 son los netos del actual trasvase del Tajo, 105 irían a la cuenca del Sur (zona de Almería Levante y Poniente), y los 405 restantes irían destinados propiamente al Segura. Nótese la similitud de estos resultados con los obtenidos en el supuesto anterior de máximo aporte por el Vinalopó, con diferencias relativas irrelevantes en la práctica. Ello indica la capacidad del sistema para absorber trasvases por ambos lugares, sin alteraciones sensibles en las cuantías externas requeridas.

Cuanto hasta aquí se ha expuesto, lo ha sido bajo la hipótesis de un aporte externo fijo anual, cual si de una aportación fluvial constante se tratase. Un paso más en el análisis es el de considerar que no hay un suministro anual permanente, sino que se permite al sistema tomar del exterior lo que necesite en cada momento para satisfacer sus demandas, sin limitación alguna más que la prohibición de captar agua en el periodo estival, de junio a septiembre. Los resultados obtenidos son los mostrados en la figura.

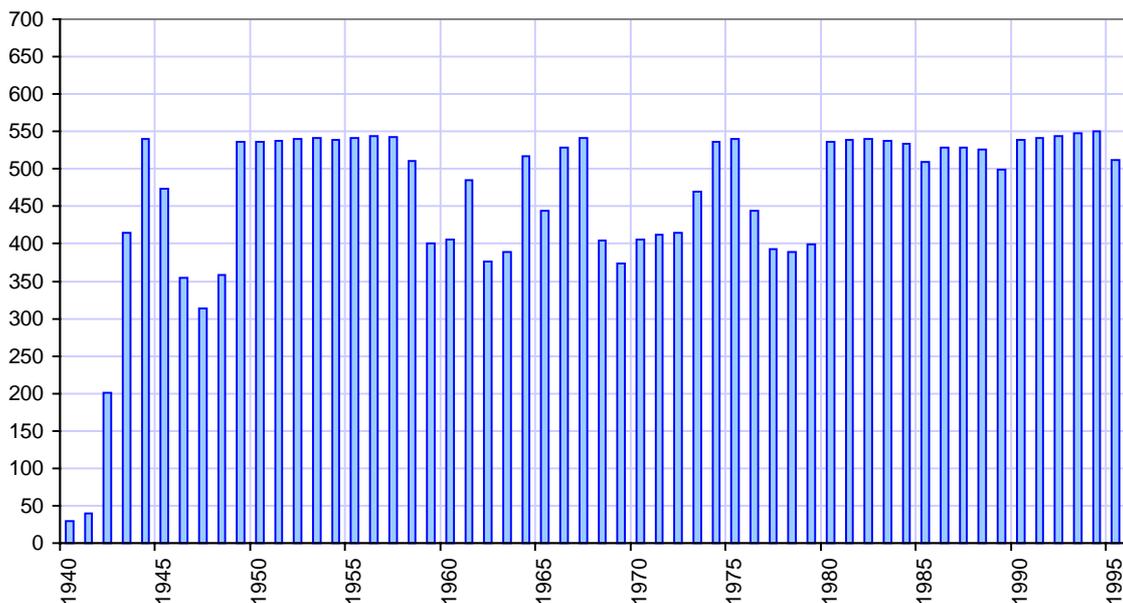


Figura 156. Volúmenes anuales tomados por el sistema en situación de no limitación

Como se observa, dejando a salvo el periodo de arranque inicial, los resultados son muy estables todos los años, con cuantías que oscilan entre los 400 y los 550 hm³, no habiendo ningún año de todo el periodo en que no se requiera captar mínimos de ese orden de magnitud.

Ello muestra lo ajustado del aporte externo previsto, y la necesidad permanente, no coyuntural, de recibir este aporte.

Resulta interesante comparar estos resultados con los obtenidos realizando el mismo análisis para el Júcar y para las Cuencas Internas de Cataluña: Segura y Cuencas Internas ilustran patrones de comportamiento tan distintos como la naturaleza de sus respectivos déficit, y el Júcar ocupa una posición intermedia entre ambas.

8.4.2. ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS

Una vez realizados los análisis básicos del sistema, y evaluada la necesidad de aportes externos, procede realizar otros análisis, complementarios de los anteriores, con objeto de estudiar el impacto sobre estos aportes de efectos como los posibles ahorros de suministro y el cambio climático. Otras posibilidades de intensificación de disponibilidades propias como la reutilización o el uso conjunto ya han sido introducidas en los anteriores análisis básicos.

Las posibles disminuciones de las necesidades hídricas de la cuenca como consecuencia de programas de gestión de la demanda y ahorros por mejoras y modernizaciones en las infraestructuras de suministro, tanto de los abastecimientos urbanos como de los regadíos, pueden suponer una disminución de las necesidades de aportes externos cuya cuantía debe ser evaluada. Asimismo, y en sentido contrario, la posible disminución de aportaciones naturales como consecuencia del cambio climático podría tener un efecto intensificador de estas necesidades externas.

La resultante de estos efectos contrapuestos es incierta, pero puede ser evaluada estimativamente, debiendo interpretarse estas evaluaciones como un análisis de sensibilidad y de robustez de los resultados básicos obtenidos.

A tales análisis de sensibilidad se dedican los epígrafes siguientes.

8.4.2.1. POSIBILIDADES DE AHORRO EN ABASTECIMIENTOS URBANOS

Atendiendo a a las posibilidades de reducción de la demanda por medidas de gestión y ahorro en los abastecimientos urbanos y en las industrias conectadas a estas redes, cabe indicar que, como se mostró en el Libro Blanco del Agua en España, en los últimos años se ha observado un descenso global de las dotaciones medias empleadas en el país, tal y como se muestra en la tabla adjunta, en la que se incluyen también las pérdidas medias.

Año	Dotación media (l/hab/día)	Agua no registrada (%)
1987	309	30
1990	313	32
1992	302	29
1994	265	28
1996	289	29

Tabla 83. Evolución reciente de la dotación de abastecimientos y volúmenes no registrados medios en España

En el descenso de la dotación de los años 1992 y 1994 debe tenerse en cuenta la presencia de una fuerte sequía, con su correspondiente moderación de la demanda, y las medidas de ahorro y de reducción de fugas llevadas a cabo en un buen número de poblaciones. En 1996 la dotación se recupera, pero a niveles más contenidos que los del comienzo de la década, permaneciendo el buen efecto de moderación de consumos inducido por la sequía. Como se observa, un valor encajado de la máxima reducción es del orden del 8%.

En lo que se refiere a pérdidas y agua no controlada, una parte del agua distribuida no es registrada por las entidades suministradoras. Estos volúmenes suelen corresponder a la limpieza de calles y riego de jardines, errores de medición y pérdidas, tanto en tratamiento como en distribución. El valor medio de estas cantidades no registradas oscila entre un 34% en el caso de las grandes áreas metropolitanas y un 24% en las poblaciones inferiores a 20.000 habitantes. Las cuantías observadas oscilan entre poco más de un 10 y algún caso excepcional que alcanza el 50%. En las poblaciones superiores a 20.000 habitantes la evolución temporal de este valor medio se sitúa relativamente estable, en torno al 30%, según se muestra en la tabla. En poblaciones inferiores a 20.000 hab., el porcentaje es algo mayor (en torno al 31% en 1996).

Sin duda, una de las fuentes más importantes de posibles ahorros es la reducción de las pérdidas que se producen en las redes, fundamentalmente en las más antiguas. Existe, sin embargo, un límite técnico y económico para las pérdidas, que algunos especialistas sitúan entre el 10 y el 15%. Alcanzar estos límites requiere disponer de sofisticados sistemas automáticos de control que permitan conocer en tiempo real el estado de la red, y detectar los posibles incidentes para poder actuar con la necesaria rapidez.

Contrastando estos mínimos técnico-económicos con el ahorro máximo registrado en sequía, y con los valores medios actuales del país, se concluye que puede haber un margen máximo de maniobra en torno al 10-15%, siendo esta cifra, en consecuencia, una estimación encajada del ahorro medio máximo teórico que puede conseguirse en los abastecimientos urbanos.

En el caso concreto de la cuenca del Segura, recientes estudios (MOPTMA, 1995) han mostrado la posibilidad de desarrollar actuaciones de mejora y modernización de las redes urbanas en 10 municipios. Estas actuaciones, junto con una cierta moderación de consumos por los usuarios, pueden permitir alcanzar un ahorro total real del orden del 8%, inferior a la horquilla media para el país dada anteriormente.

Debe tenerse presente que los principales sistemas urbanos de esta cuenca, forzados por la escasez, han abordado ya hace años programas de mejora de redes y gestión del suministro en baja, un buen ejemplo de los cuales es el del área metropolitana de Murcia -descrito en el Libro Blanco y del que se muestra su evolución en el gráfico-, el de la ciudad de Alicante, descrito en MIMAM (1996), o el de la ciudad de Cartagena, con mejoras del 10% durante los 5 años de la primera mitad de los noventa (pasó del 67 al 77% de rendimiento).

Por su parte, la gran red de abastecimiento en alta gestionada por la Mancomunidad de Canales del Taibilla, ha ido reduciendo sus niveles de pérdidas hasta cotas muy reducidas, del orden del 2-3%, lo que constituye un mínimo técnico no mejorable.

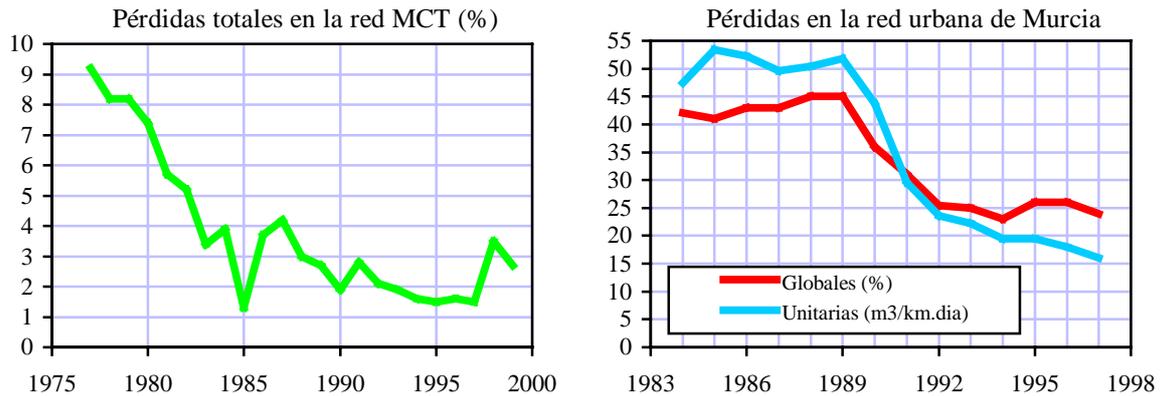


Figura 157. Evolución de las pérdidas en las redes de abastecimiento urbano en alta de la MCT, y en baja, de la ciudad de Murcia

A la luz de lo expuesto, cabe suponer que las posibilidades reales de actuación van a ser muy marginales, tanto en términos absolutos como relativos, en comparación con otras cuencas o sistemas hidráulicos donde aún no se ha requerido desarrollar tales medidas de mejora y gestión de la demanda.

En cualquier caso, y sea cual sea la cifra de ahorro finalmente alcanzable, para evaluar su impacto en la cuenca del Segura, y analizar su incidencia sobre la necesidad de recursos externos, se ha estudiado la sensibilidad de comportamiento del sistema global, con entradas por el ATS de $540 \text{ hm}^3/\text{año}$ y variables por el Vinalopó, frente a distintas variaciones de todas sus demandas de abastecimiento, obteniéndose los resultados ofrecidos en los gráficos. En ellos se muestran familias de curvas con el número de fallos ordinarios, número de fallos absolutos, volumen medio anual de socorro (hm^3) y número de años requeridos, volumen máximo total anual de socorro (hm^3), y salidas medias anuales del sistema (hm^3), en función del aporte externo recibido por el Vinalopó (entre 360 y $520 \text{ hm}^3/\text{año}$), y con una curva para cada nivel de ahorro medio en las demandas de abastecimiento (6 curvas, del 80 al 105% del requerimiento previsto).

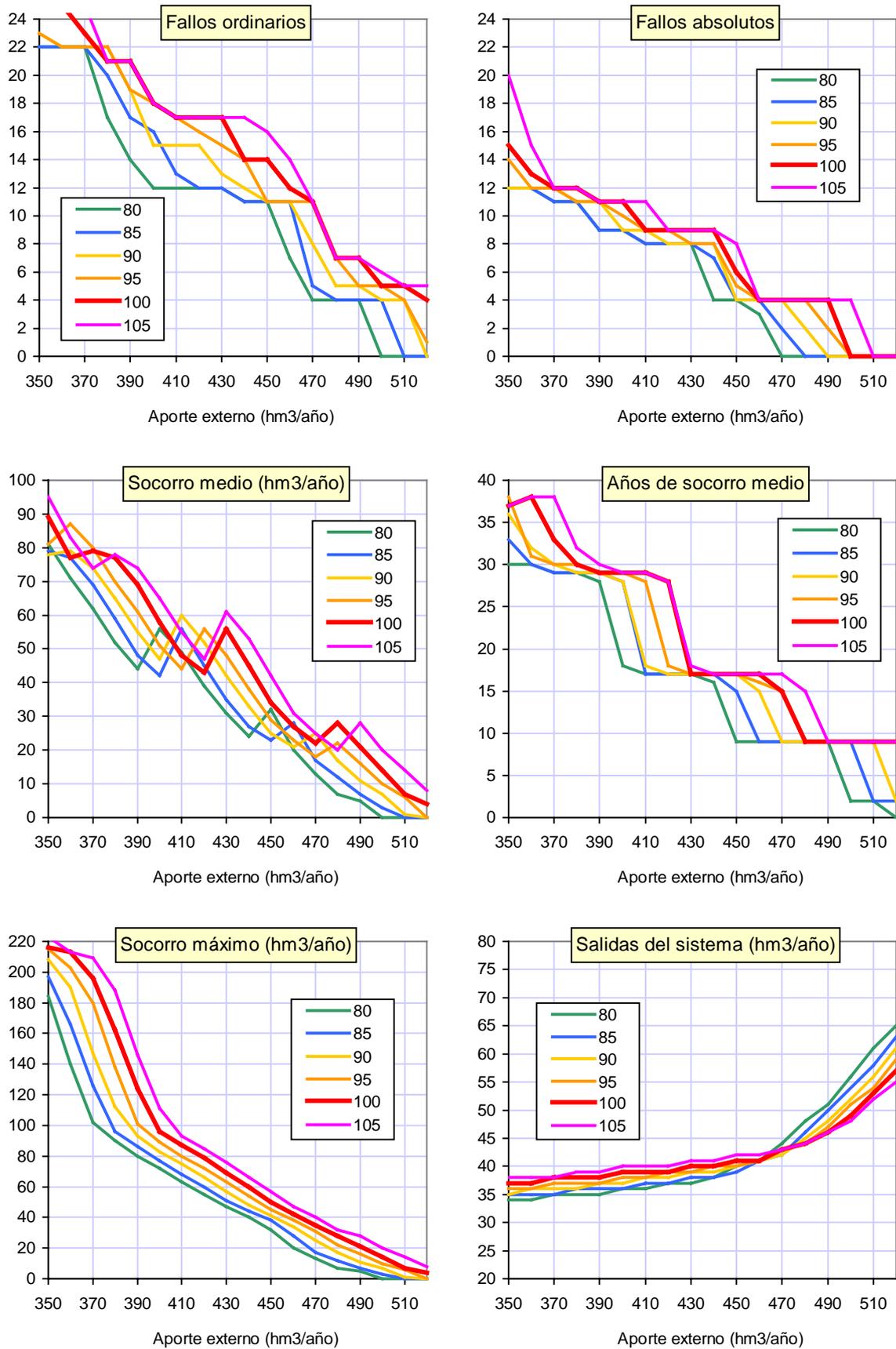


Figura 158. Indicadores de comportamiento según ahorros en los abastecimientos urbanos

Como se observa, el número de fallos ordinarios se reduce progresivamente, sea cual sea el nivel de ahorro, pero no llega a anularse en ningún caso hasta alcanzar los 500 hm³/año de aporte, y ello con ahorros del 20%, muy superiores a los realmente posibles. Con ahorros del 8% la situación es prácticamente indistinguible de la nominal, y no llega a eliminar fallos hasta trasvases de 520 hm³/año. La figura de fallos absolutos revela un comportamiento similar, con requerimientos mínimos de 470 hm³/año suponiendo ahorros del 20%. Si los ahorros son del 8%, la supresión de fallos requiere trasvases de 490 hm³/año.

Por otra parte, si se inspecciona el gráfico de volúmenes máximos de socorro anual, se observa que trasvases inferiores a 500 hm³/año comienzan a generar la necesidad de socorros ahorrando hasta el 20%. Si el ahorro conseguido es del 8%, la diferencia con la situación nominal es muy reducida (menos de 10 hm³/año), tal y como se observa en la figura, en la que todas las curvas están muy próximas. Además, los socorros medios son también muy similares entre sí, con algún escalonamiento debido a saltos en el número de años necesarios. Puede verse que el número de años con socorro aumenta muy rápidamente (al menos 10) para trasvases inferiores a 500 hm³/año, sea cual sea el nivel de ahorro alcanzado, lo que da una idea de lo ajustado de las cifras manejadas.

Finalmente, las salidas medias del sistema muestran un comportamiento muy regular, poco dependiente del nivel de ahorro, con tasas de circulación similares, y un efecto de inflexión en torno a los 460 hm³/año, por debajo de los cuales la tasa de circulación es extremadamente reducida y se absorben prácticamente todas las entradas al sistema.

Puede concluirse, en definitiva, el muy reducido impacto sobre la necesidad de transferencias externas que tendría el ahorro en los abastecimientos urbanos como consecuencia de mejoras de redes y actuaciones similares.

Si los ahorros alcanzables son del orden del 8%, la situación es prácticamente indistinguible de la nominal tanto desde el punto de vista de los fallos de demandas como de los volúmenes de socorro necesarios, y, en consecuencia, sigue requiriéndose un aporte externo prácticamente de la misma cuantía que en esta hipótesis de cálculo.

8.4.2.2. POSIBILIDADES DE AHORRO EN REGADÍOS

Los ahorros de agua como consecuencia de las actuaciones de mejora y modernización de los regadíos son una de las fuentes potenciales más importantes para disminuir la demanda hídrica y, en consecuencia, los posibles aportes externos requeridos.

En el marco del Plan Nacional de Regadíos (MAPA, 1998) se han llevado a cabo algunos estudios básicos orientados a la caracterización de los regadíos existentes, y a la evaluación de estas posibilidades de ahorro en distintas áreas de riego de todo el país. Sus análisis se centran fuera de las conducciones principales, y se diferencia entre actuaciones de consolidación (eliminación de la infradotación actual) y de mejora (ahorros en regadíos bien dotados o sobredotados).

Tales estudios resultan de interés para este Plan Hidrológico Nacional, en el que, puesto que ya se ha considerado la eliminación de la sobreexplotación como objetivo básico, y se han computado las correspondientes necesidades en la definición del sistema, queda por indagar el posible efecto de ahorros como consecuencia de la mejora de los regadíos existentes con dotaciones suficientes o abundantes, a los que se aplican mejoras de eficiencia o de sistemas de riego susceptibles de traducirse en menores suministros de agua.

Según los estudios de tipificación de regadíos del PNR, la superficie de actuación de mejora supera el millón de hectáreas, y podría generar un ahorro global de agua de 1876 hm³/año de los que 152 corresponderían a la cuenca del Segura. Ello supone del orden de un 9% del total demandado en la cuenca con destino a regadíos, por lo que esta es una primera estimación de los niveles alcanzables por este concepto.

Ha de tenerse presente, en todo caso, que para ofrecer estas cifras el Plan Nacional de Regadíos considera las áreas de riego de forma aislada, y suma los totales obtenibles en las distintas áreas. Ello es lógico considerando los objetivos de este Plan, pero puede introducir alguna distorsión a nuestros efectos teniendo en cuenta el carácter no acumulativo de los sistemas hídricos, en los que hay situaciones de reuso de retornos que pueden alterar apreciablemente estas cifras. Este es el caso de las vegas del Segura y su sistema de retornos y reutilizaciones sucesivas, que hace que una cierta disminución de las necesidades de una zona no se traduzca directamente en menores necesidades de suministro hídrico de igual cuantía, y deba diferenciarse el ahorro bruto de las áreas de riego del ahorro neto desde el punto de vista del sistema de suministro hidráulico. El 9% sería una estimación de este ahorro bruto, y debe reducirse para alcanzar el ahorro efectivo, pertinente a nuestros efectos, máxime si se considera que es precisamente en los riegos de las vegas donde pueden plantearse preferentemente las actuaciones de modernización y mejora.

Además de las estimaciones del PNR, se dispone de otros trabajos previos (MOPTMA, 1995) en los que se ha realizado también una evaluación del ahorro alcanzable en los regadíos tanto por mejora de las infraestructuras principales de conducción, como de las aplicaciones en parcela. En el caso del Segura, estos estudios muestran una cuantía total de ahorro efectivo, por suma de ambos conceptos, de 82 hm³/año, lo que supone del orden del 6% de la demanda de riego, cifra, como se vé, razonablemente encajada con la del Plan de Regadíos, aunque los conceptos manejados no son, como se ha dicho, plenamente coincidentes (ahorro suma de áreas en un caso, ahorro efectivo en otro, no conducciones primarias en un caso, actuaciones completas en el otro).

En relación con las posibilidades de ahorro en los regadíos resulta ilustrativo examinar la evolución temporal de las superficies regadas en la cuenca, junto con la evolución de las superficies con riego localizado e invernaderos en las provincias de Murcia y Almería. Ello da una idea ajustada tanto de los ritmos de transformación y las tendencias recientes, como del nivel alcanzado en cuanto a mejora de redes, tecnificación y eficiencias de suministro de agua para riego.

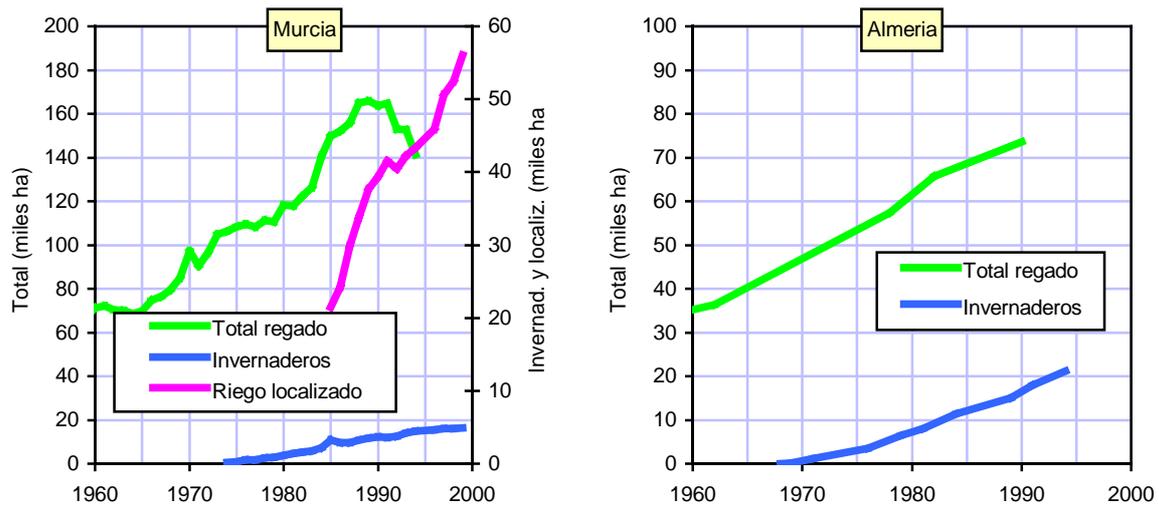


Figura 159. Evolución de regadíos localizados e invernaderos

Como puede observarse, más de un tercio del total regado en la provincia de Murcia dispone de riego localizado, y casi 5000 has son invernaderos. En Almería la proporción de invernaderos es aún mayor, con casi un tercio del total regado. Todo ello indica que las posibilidades reales de actuación en mejora de regadíos van a ser ciertamente marginales, tanto en términos absolutos como relativos, en comparación con otras cuencas o sistemas hidráulicos donde aún no se ha requerido desarrollar tales medidas de mejora y gestión de la demanda.

En cualquier caso, y teniendo presentes los mencionados órdenes de magnitud, se ha evaluado el efecto que tendría sobre las transferencias de recursos la puesta en marcha de todas las actuaciones de mejora y modernización previstas, para lo que se ha estudiado la sensibilidad de comportamiento del sistema global frente a distintas variaciones de todas sus demandas de regadío, obteniéndose los resultados ofrecidos en los gráficos. En ellos se muestran, como antes con los abastecimientos, familias de curvas con el número de fallos ordinarios, número de fallos absolutos, volumen medio anual de socorro (hm^3) y número de años requeridos, volumen máximo total anual de socorro (hm^3), y salidas medias anuales del sistema (hm^3), en función del nuevo aporte externo recibido (entre 0 y $520 \text{ hm}^3/\text{año}$), y con una curva para cada nivel de ahorro medio alcanzable en las demandas de regadío (6 curvas, del 80 al 105% del requerimiento previsto).

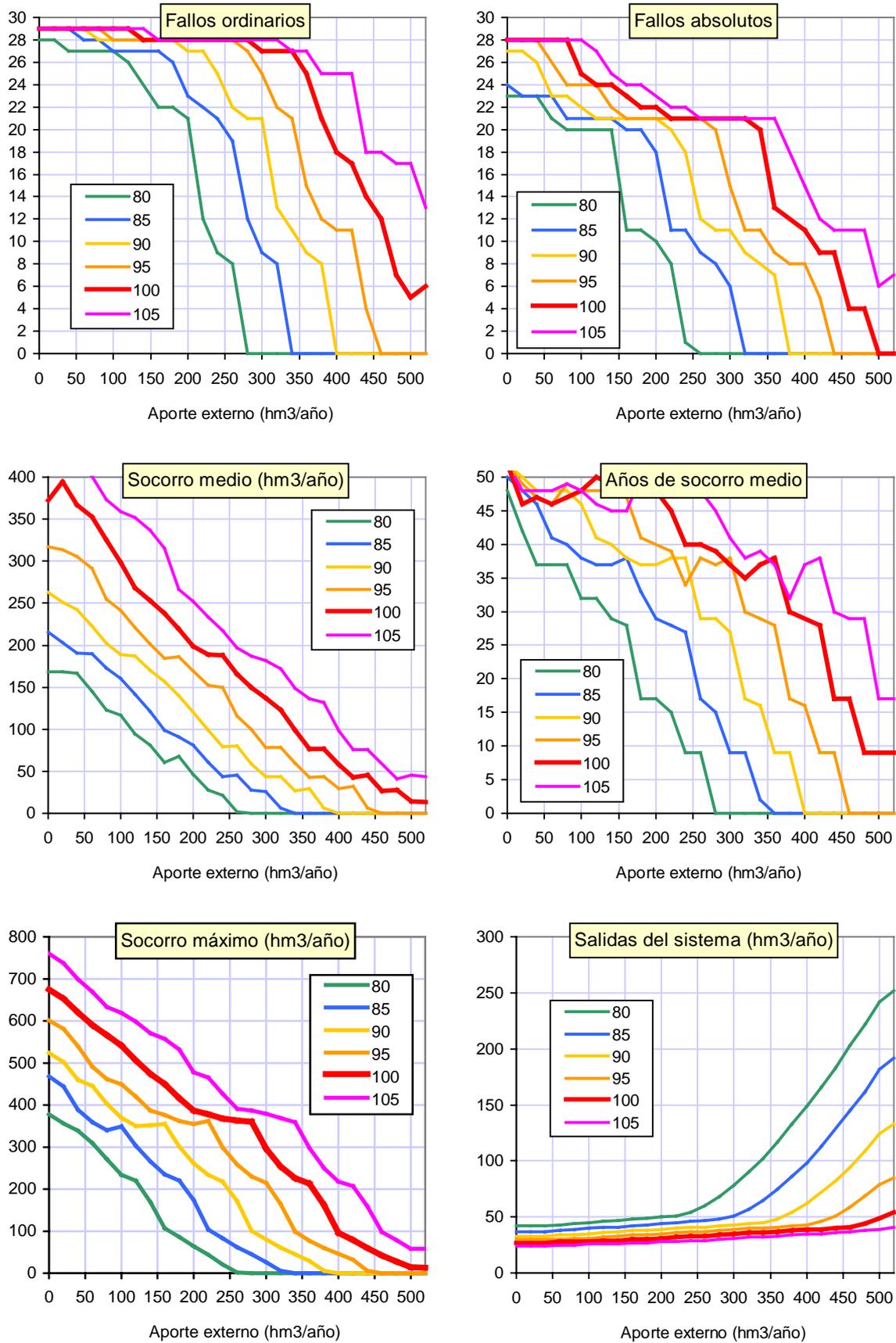


Figura 160. Indicadores de comportamiento según ahorros en los regadíos

Como se observa, el número de fallos ordinarios es muy elevado hasta trasvases mínimos superiores a los 200 hm³/año para cualquier nivel de ahorro. Niveles del orden del 6% requieren trasvases mínimos de 450 hm³/año para anular los fallos ordinarios, y el número de estos fallos crece rápidamente hasta colapsar casi al sistema completo con trasvases menores de unos 300 hm³/año. Si el aporte externo es nulo, fallarían todas las demandas del sistema. La figura de fallos absolutos reproduce este patrón de comportamiento y muestra que la anulación de fallos absolutos requiere, en todo caso, trasvases superiores a los 400 hm³/año, con crecimientos abruptos del número de fallos a poco que disminuyan estos aportes. Si se anulasen, los fallos de todo el sistema serían absolutos.

Por otra parte, si se inspecciona el gráfico de volúmenes máximos de socorro anual se observa que, para ahorros del 6%, trasvases inferiores a 450 hm³/año comienzan a generar la necesidad de socorros, que se hacen muy elevados a poco que disminuyan los aportes externos. Valores máximos de 100 hm³/año y medios de 50 se superan para trasvases inferiores a 350 hm³/año, lo que resulta inviable en la práctica dado el elevado número de años en que se requieren tales socorros (prácticamente el 50%). A explicar esta grave situación contribuye el hecho de que la cantidad nominal de 520 está muy ajustada y no alcanza a eliminar completamente la necesidad de socorros, aunque los reduce a cuantías moderadas.

Finalmente, las salidas medias del sistema muestran un comportamiento muy regular, con tasas de circulación similares y un efecto de inflexión variable según el nivel de ahorro. Para niveles del orden del 6%, este punto estaría próximo a los 450 hm³/año, por debajo de los cuales la tasa de circulación es extremadamente reducida y se absorben prácticamente todas las entradas al sistema.

Puede concluirse, en definitiva, que el desarrollo de todas las medidas de mejora y modernización previstas en el Plan Nacional de Regadíos y otros estudios previos, que harían posible un ahorro máximo de recursos para riego en el ámbito del Júcar del orden del 6-9%, pueden reducir la necesidad de aportes externos en alguna medida, pero no alcanzan no ya a suprimirla, sino a rebajarla a niveles inferiores a los 400-450 hm³/año.

Además, e igual que sucede en el caso del Júcar, las dotaciones empleadas en el Plan de cuenca han sido evaluadas con criterios ajustados, y una parte muy importante de los ahorros efectivos previstos en la cuenca se originarían en el regadío tradicional de las vegas (la totalidad según MOPTMA [1995]), regadío al que ya se ha aplicado en nuestro análisis una apreciable reducción teniendo en cuenta las fundamentales determinaciones del Plan Hidrológico del Segura –posterior a los citados estudios del PNR y MOPTMA- en su revisión de las asignaciones del Decreto de 1953. Ello hace que estas cifras de aporte mínimo deban contemplarse con la necesaria cautela, pues pueden encubrir duplicidades que reduzcan ficticiamente las verdaderas necesidades de los aportes externos.

8.4.2.3. EFECTOS DEL POSIBLE CAMBIO CLIMÁTICO

Además de las posibilidades de ahorro y gestión de la demanda, es interesante comprobar la sensibilidad del sistema frente a posibles efectos de cambio climático. Tales efectos sobre los sistemas hidráulicos han sido analizados en el Libro Blanco del Agua, cuya conclusión al respecto puede resumirse en que no procede modificar las demandas hídricas previstas, pero sí cabe reducir las aportaciones en cuantías que son inciertas, pero que pueden tentativamente cifrarse, a efectos de diseño, en un 5-6% medio global al segundo horizonte del Plan (la horquilla correspondiente al Segura está en el 6-13% de disminución de aportaciones). Asimismo, se prevé también un aumento de irregularidad de las aportaciones, cuya cuantificación se ignora.

Con objeto de tener una idea del impacto que este fenómeno podría tener sobre el funcionamiento del sistema y su necesidad de aportes externos, se ha estudiado el supuesto conjunto de programas de ahorro en abastecimientos y regadíos hasta niveles globales del 8% y el 6% respectivamente, junto con una reducción de todas las aportaciones por cambio climático, de cuantía variable.

Nótese que, a diferencia de otras aproximaciones anteriores que estudian de forma simple los efectos de la regulación sobre almacenamientos aislados, y con disminuciones de recursos fijas y predeterminadas, el análisis aquí ofrecido introduce la disminución de aportaciones de forma rigurosa, considerando en toda su complejidad el funcionamiento del sistema hidráulico completo, y no se limita a algún escenario específico, sino a toda la gama de posibilidades, de forma continua.

Los resultados obtenidos, según el nivel de reducción de aportaciones considerado, son los mostrados en la figura adjunta.

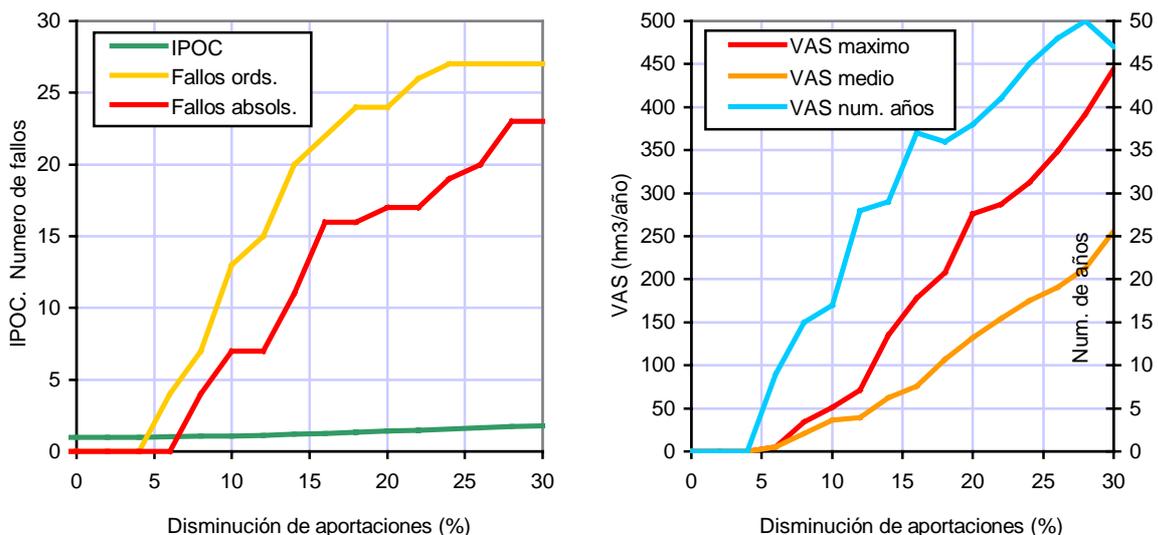


Figura 161. Sensibilidad del sistema frente a efectos de cambio climático

Como puede verse, si las aportaciones disminuyesen entre un 6 y un 13% como consecuencia del cambio climático, los posibles ahorros totales, tanto de abastecimientos urbano-industriales como por modernizaciones y mejoras de regadío, no podrían llegar a compensar tal merma de recursos, y el sistema comenzaría a presentar fallos y a requerir volúmenes adicionales de socorro. Con el criterio de diseño global del 5%, todos los posibles ahorros apenas podrían compensar la disminución de aportaciones, y el sistema estaría en estricto equilibrio.

Ello significa que ambos efectos contrarios tienen una incidencia similar y opuesta sobre el sistema, y la resultante conjunta es sensiblemente nula, lo que permite sustentar la robustez de las determinaciones básicas anteriormente ofrecidas.

8.4.3. CONCLUSIONES

En síntesis, el análisis realizado muestra con nitidez las siguientes conclusiones básicas para este Plan Hidrológico Nacional:

7. Con la infraestructura existente no es posible atender correctamente las demandas y caudales mínimos planteados, aunque se aportasen recursos externos en cuantía ilimitada. La razón es un estrangulamiento crítico de capacidad localizado en el canal principal de la margen derecha del postravase Tajo-Segura. Éste estrangulamiento infraestructural es el único detectado en todo el sistema.
8. Si se incrementase la capacidad de aporte hasta el embalse de Algeciras y Almería, bien recreciendo el canal de la margen derecha, o bien habilitando la conexión Talave-Cenajo-Canal Alto de la Margen Derecha (opción de flujo por el canal de la margen derecha), el sistema puede satisfacer todos sus requerimientos si los aportes externos totales alcanzan cuantías del orden de los 1050 hm³/año, de los que al menos 650 han de entrar por el Acueducto Tajo-Segura. Un análisis detallado de esta opción muestra que sería viable el funcionamiento aportando exclusivamente 1050 hm³/año por al ATS.
9. Si se optase por un nuevo esquema de circulación litoral (canal costero La Pedrera-Campo de Cartagena-Mazarrón-Águilas-Almería), el sistema puede funcionar correctamente si los aportes externos alcanzan también valores del orden de los 1050 hm³/año, de los que al menos unos 550 han de entrar por el ATS. Específicamente, el análisis detallado del sistema muestra que, si se mantiene una entrada neta por el ATS de 540 hm³/año (actual cuantía neta vigente), la necesidad de nuevo aporte externo procedente del Vinalopó puede cifrarse en 520 hm³/año.
10. Con cualquiera de estas opciones, que pueden unificarse sintéticamente en 520 hm³/año de nuevos aportes por cualquiera de las dos posibles entradas, se produce un extremo aprovechamiento de los recursos disponibles (salidas del orden del 3% de las aportaciones totales del sistema), no siendo necesario, en principio, establecer nuevos grandes embalses para regulaciones básicas complementarias a las ya existentes, y ello sin perjuicio de posibles actuaciones encaminadas a la mejora y

mayor facilidad de la explotación del sistema (como el posible recrecimiento de Camarillas o la contribución de Alarcón), que deben analizarse en estudios locales de mayor detalle, fuera de este Plan Nacional. El supuesto de nuevas llegadas externas en los 8 meses de octubre a mayo, sin aportes en verano, no modifica sustancialmente las anteriores conclusiones.

11. Los efectos conjuntos de posibles mayores ahorros en los suministros de abastecimientos y regadíos, y de disminución de aportaciones naturales como consecuencia de un hipotético cambio climático, tienden a compensarse entre sí generando una resultante sensiblemente nula, lo que permite sustentar la robustez de las determinaciones básicas anteriormente ofrecidas

Dilucidar entre los dos grandes esquemas de flujo y las tres opciones básicas de infraestructura planteadas excede el ámbito del análisis hidrológico, y requiere de otras consideraciones, económicas y medioambientales. Tales consideraciones se contemplan, como se verá, en el análisis y optimización de las opciones globales de transferencias previsto en este Plan Hidrológico Nacional, y su desarrollo y definición final requerirán obviamente de estudios de detalle, no procedentes en el contexto de este Plan Hidrológico Nacional.

A los efectos de tal análisis global de las transferencias, y a la luz de cuanto se ha expuesto, la cuenca del Segura-Almería puede representarse, desde un punto de vista funcional y conceptual, como un sistema básico con tres posibles entradas externas (ATS, conducción desde el Vinalopó, y conducción desde el Negratín al Almanzora), y siete macrounidades de demandas virtuales agregadas (Altiplano, Almería-Levante, Almería-Poniente, Alto Segura, Bajo Segura, Cartagena-Litoral, y Guadalentín).

El esquema topológico de circulaciones en este sistema virtual agregado, apto para la optimización global de las posibles transferencias, sería el mostrado en la figura adjunta.

Almería. Si se deducen los 50 ya autorizados del Negratín-Almanzora, los nuevos requerimientos para el Levante Almeriense se reducirían a 30 hm³/año.

Las cuatro restantes admiten distintas valoraciones, según sea la opción de aportes, recirculaciones y flujos internos elegida, tal y como se muestra en la tabla adjunta.

Demanda virtual agregada	Canal M.D.	Canal costero
Altiplano	40	40
Almería-Levante	30	30
Almería-Poniente	75	75
Alto Segura	140 ⁽⁴⁾	0
Guadalestín	185 ⁽¹⁾	0
Bajo-Segura	40 ⁽²⁾	325 ⁽⁴⁾
Cartagena-Litoral	10 ⁽³⁾	50 ⁽⁵⁾
Total:	520	520

(1) 35+109+41 de déficit en el área del Guadalestín y litoral

(2) redondeo de 19+10+8 de déficit en Alicante y aumento de abastecimientos en Torrealta y La Pedrera

(3) redondeo de los 9 hm³ de déficit en C.Cartagena, agregados en la UD22

(4) resto hasta los 570 totales

(5) 9+41 de C.Cartagena y zona litoral

Tabla 84 . Demandas virtuales globales agregadas según opción de transporte

Los flujos y circulaciones óptimas serán el resultado del análisis global, a escala nacional, de estos esquemas integrados de las diferentes cuencas consideradas en el Plan.

9. CUENCA DEL JÚCAR

9.1. INTRODUCCIÓN

Los análisis realizados en el Libro Blanco del Agua en España muestran a la cuenca del Júcar como un territorio en situación global de escasez coyuntural, y en el que existen zonas con importante déficit estructural de recursos hídricos. Ello hace que esta cuenca deba ser considerada en el estudio de las posibles transferencias externas a dilucidar por este Plan Hidrológico Nacional, siendo tal estudio el que se desarrolla en el presente capítulo.

El Plan Hidrológico de la cuenca del Júcar identifica en su ámbito territorial un conjunto de nueve sistemas de explotación de recursos denominados Cenia-Maestrazgo, Mijares-Plana de Castellón, Palancia-Los Valles, Turia, Júcar, Serpis, Marina Alta, Marina Baja y Vinalopó-Alacantí. A efectos de su análisis para la planificación hidrológica nacional, estos sistemas de explotación se han simplificado y agregado en un sistema único agregado, que permite su estudio con la resolución adecuada a esta escala de planificación, y su armonización técnica con el resto de los sistemas estudiados. Junto a ello, y con el objetivo de incorporar la reciente sequía, se ha procedido a la actualización de series hidrológicas, así como a estudiar distintas posibilidades de incremento de las disponibilidades propias y trasvasadas, tal y como se verá en los correspondientes epígrafes.

Una acotación inicial básica es el análisis técnico de las disponibilidades del río Júcar (MIMAM, 1997), realizado en el contexto del Plan Hidrológico de cuenca, cuyos conceptos y resultados fundamentales se estiman correctos y plenamente vigentes a los efectos de este Plan Nacional. Asimismo, las determinaciones del Plan del Júcar sobre otros sistemas y sus asignaciones y reservas se asumen y mantienen íntegramente por este Plan Nacional, y constituyen su referencia básica de partida.

En síntesis, los elementos y magnitudes fundamentales del sistema de explotación agregado, definido para todo el ámbito del Plan Hidrológico de la cuenca del Júcar son los que se describen seguidamente.

9.2. ELEMENTOS DEL SISTEMA

9.2.1. APORTACIONES

Los criterios para el establecimiento y ubicación de las aportaciones hídricas consideradas son los mismos que se adoptaron en el Plan Hidrológico de la cuenca del Júcar, pero extendiéndose ahora las nuevas series mensuales hasta el año hidrológico 1995/96 mediante el modelo de evaluación de recursos desarrollado para el Libro Blanco del Agua en España, y completándose con trabajos posteriores realizados por la Confederación Hidrográfica del Júcar.

La figura adjunta muestra los puntos básicos considerados para la evaluación de recursos hídricos en el ámbito territorial de la cuenca del Júcar.

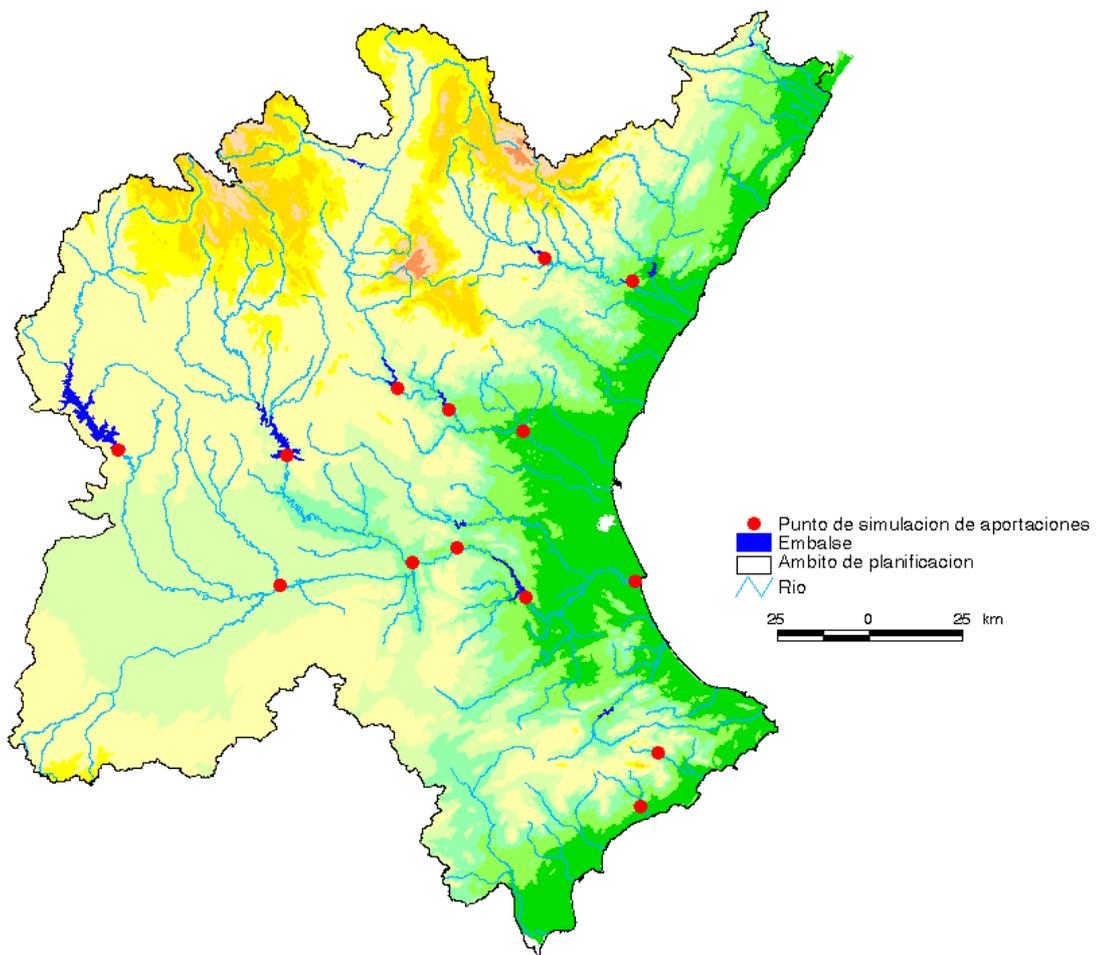


Figura 163. Puntos básicos de evaluación de recursos hídricos

La siguiente tabla resume los resultados de la evaluación en términos de sus valores medios anuales.

Punto de aportación	Aport. anual (hm ³)
Emb. Arenós	83
Emb. Sichar	80
Emb. Benagéber	257
Emb. Loriguilla	25
Emb. Villamarchante	64
Manises	51
Cab. Júcar	424
Molinar	354
Cab. Cabriel	383
Confl. Júcar-Cabriel	198
Emb. Naranjero	18
Emb. Tous	64
Ribera Baja	348
Emb. Guadalest	26
Emb. Amadorio	7
Bombeo Algar	4
Total:	2386

Tabla 85. Aportaciones hídricas consideradas en el sistema

Además de estas aportaciones propias de la cuenca, se incluyen dos posibles aportes externos que, sin perjuicio de que el origen del agua pueda ser cualquiera de los previstos en este Plan Hidrológico Nacional, entrarían físicamente a la cuenca o bien por el actual ATS, o bien por una nueva conducción procedente del Ebro que terminaría en el entorno de Villena, según el esquema que se presenta posteriormente. Obviamente, la cuantía de tales aportes no es un dato previo, sino que será un resultado del presente análisis.

9.2.2. DEMANDAS

Bajo los supuestos básicos de este Plan Hidrológico Nacional de garantía para los abastecimientos actuales y futuros, de eliminación de la infradotación y sobreexplotación de acuíferos, y de consolidación y no incremento de las superficies de riego, se han calculado las demandas básicas futuras a considerar en la cuenca del Júcar, conforme a las determinaciones de asignación y reserva de recursos establecidas en su Plan Hidrológico y en las disposiciones vigentes.

La figura adjunta ilustra sobre la situación de poblaciones y regadíos (principales demandantes de agua), y permite apreciar la fuerte concentración de las manchas de riego y de población en la zona costera, el área del Vinalopó, y el acuífero de Albacete.

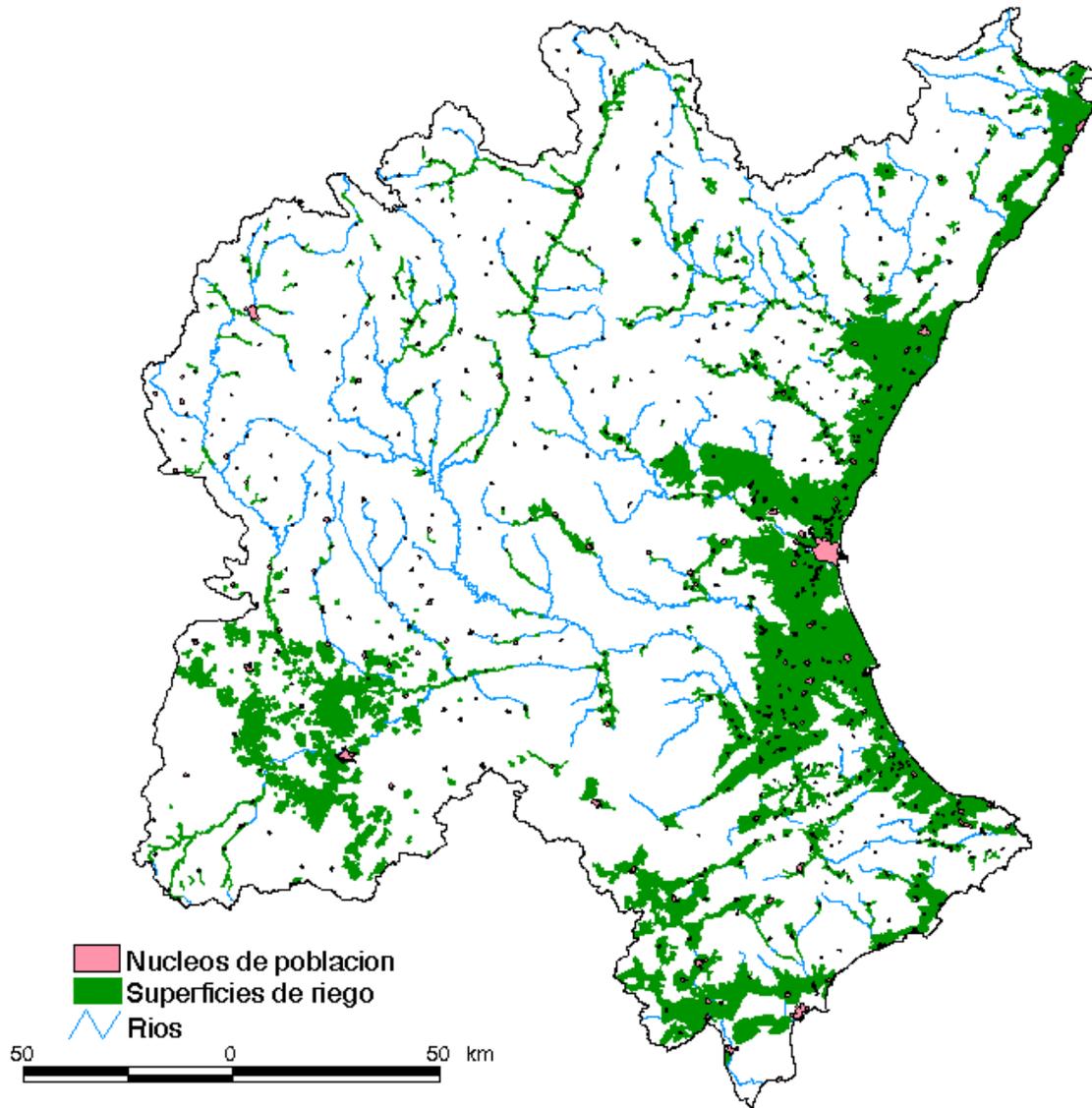


Figura 164. Mapa de situación de poblaciones y regadíos

Los resultados obtenidos en el análisis de demandas de este Plan Nacional se exponen seguidamente para los distintos sistemas de explotación básicos definidos en el Plan Hidrológico de cuenca.

En el sistema Cenia-Maestrazgo se considera una demanda de 20 hm³/año correspondiente a las Planas de Vinaroz-Peñíscola y Oropesa-Torreblanca, designada como Castellón Norte.

En el sistema Mijares-Plana de Castellón se sitúa la demanda de abastecimiento de Castellón-Benicassim, de 20 hm³/año.

En este mismo sistema se encuentran los riegos tradicionales del Mijares, con una demanda de 93 hm³/año. Los riegos del canal de la cota 220, canal de la cota 100 y María Cristina se suponen atendidos en un 50% con concesión de aguas superficiales y el otro 50% mediante bombeos. En estas condiciones las demandas son de 20 hm³/año para el canal de la cota 220 (11 actuales más 9 previstos), 18 para el canal de la cota 100

y 9 para los riegos de María Cristina. Si se decidiera sustituir los bombeos actuales las demandas correspondientes se transformarían en 40, 36 y 18 hm³/año

Las pérdidas del caudal mínimo aguas abajo del embalse de Sichar se modelan con una demanda ficticia consuntiva de 7 hm³/año y distribución uniforme al final del tramo.

En el interfluvio Mijares-Palancia (área de Vall d'Uxó) hay unos importantes regadíos atendidos con aguas subterráneas y con problemas graves y constatados, que suponen una demanda de unos 20 hm³/año, designada como Castellón Sur.

En el sistema Turia, las filtraciones en el embalse de Loriguilla se modelan como una demanda ficticia de 20 hm³/año con un retorno del 100% al nudo inferior.

Se consolida la unidad de demanda agraria de Campos del Turia con 100 hm³/año. La demanda de riego de Pueblos Castillos es de 52 hm³/año y se considera un retorno del 30%. La demanda de la Acequia Moncada es de 81 hm³/año y los riegos tradicionales del Turia (Vega de Valencia) de 80 hm³/año.

En el sistema Júcar se parte de los trabajos previos realizados para el Plan Hidrológico del Júcar (MIMAM, 1997), que se consideran básicos y representativos de la situación prevista por la planificación hidrológica de la cuenca. No obstante, desde el punto de vista de este Plan Nacional, procede introducir las consideraciones complementarias que se describen seguidamente.

Se modifica la demanda de regadíos del canal Jucar-Turia, para los que resulta razonable considerar su demanda nominal inicial de 125 hm³/año.

Una prioridad del Plan Hidrológico del Júcar, que ya se está llevando a cabo, es la de la mejora y modernización de regadíos tradicionales. Estas actuaciones sobre la demanda permitirán incrementar las disponibilidades futuras al generar unos ahorros de suministro estimados teóricamente en más de 200 hm³/año (Tomás, 1997). Considerando la necesidad de ponderar los adversos efectos ambientales de este ahorro, y adoptando un criterio prudencial, introduciremos esta circunstancia en el modelo suponiendo una disminución de los requerimientos de la Acequia Real del orden de la mitad de esta cifra teórica, con lo que estimativamente, y a efectos de cálculo, se supone reducida su demanda actual de 392 a 300 hm³/año.

El subsistema del Vinalopó-Alacantí se alimenta de aguas subterráneas sobreexplotadas y tiene graves problemas de suministro. Los 80 hm³/año previstos en el Plan Hidrológico para recibir del Júcar en primera fase se desglosan en 57 para regadíos (15 para el Alto Vinalopó, 40 para el medio Vinalopó y 2 para el Canal de la Huerta) y 23 para abastecimientos (10 para el sistema de la Marina Baja, 7 para Alicante, 3 para el Canal de la Huerta y 3 para otros varios).

En la situación de futuro, se ha previsto que la mejora y modernización de los regadíos tradicionales podría generar unos recursos adicionales que eleve la asignación actual de 80 hasta un máximo de 200 hm³/año (incremento máximo de 120 hm³/año). Este volumen se destinaría a completar el aumento de las demandas de abastecimiento de la Marina Baja -con una importantísima actividad turística y recreativa- en una cuantía estimada en 35 hm³/año (25 más de los actualmente previstos), a completar los abastecimientos del Vinalopó y Alacantí hasta 43 hm³/año (30 más de los actualmente

dispuestos), y a atender correctamente los riegos de la zona con un total de 122 hm³/año (65 de redotación y consolidación sobre los 57 actuales). Esto supone que deberá aportarse, en número redondos, unos 170 hm³/año al Vinalopó-Alacantí y otra cuantía complementaria para garantizar la Marina Baja.

La distribución estacional de demandas del Vinalopó-Alacantí atendidas con el trasvase del Júcar se supondrá, en principio, intermedia entre la de riegos y la de un abastecimiento modulado con fuerte estacionalidad turística, dada la significativa componente urbana de la demanda total y la capacidad de ajuste y regulación propia del sistema.

En el sistema de Marina Baja en la situación actual, sus demandas se estiman en 8 hm³/año para riegos (2 Amadorio y 6 Guadalest) y 23 hm³/año para abastecimientos (14 de Benidorm y Villajoyosa y 9 de Altea y otros), y se atienden con recursos propios (embalses de Guadalest y Amadorio y, fundamentalmente, aguas subterráneas) mediante un complejo y eficiente sistema de aprovechamiento. Los ocasionales déficit de este sistema aconsejaron prever de forma inmediata 10 hm³/año procedentes del Júcar, que se elevarían a unos 30 en el futuro, en previsión de los crecimientos del abastecimiento del área.

Esto supone, a nuestros efectos, una demanda de abastecimiento de unos 53 hm³/año, mientras que la demanda de riegos se considera estabilizada en 8 hm³/año, que puede considerarse similar a la actual, dado que no se prevén nuevas transformaciones significativas y los retornos aprovechables serán algo superiores.

Debe notarse que estas previsiones y necesidades se basan en la hipótesis de que no hay ampliaciones futuras de regadío, y se atiende estrictamente el crecimiento de los abastecimientos urbanos. En la medida en que los ahorros futuros por modernizaciones sean inferiores a estos máximos teóricos, el déficit existente en la zona deberá suplirse con aportes externos en mayor o menor cuantía.

Finalmente, para redotación, consolidación y pequeñas transformaciones en Castilla-La Mancha se estiman, a partir de las previsiones del Plan Hidrológico, hasta 100 hm³/año. Estos 100 sustituirían a los 65 fijados en el Plan para la situación actual, e incluirían todos los volúmenes necesarios para la plena consolidación futura de todos los riegos de la zona.

Es muy difícil fijar con precisión estas cifras, pero una estimación práctica razonable puede obtenerse considerando que las previsiones máximas del Plan Hidrológico del Júcar establecen un límite absoluto de hasta 185 (65+120) hm³/año, en el supuesto de que los ahorros futuros en todas las zonas de riego tradicional permiten alcanzar los 120 hm³/año máximos reservados para nuevas asignaciones. Suponiendo, como se ha indicado, que el ahorro real es del orden de la mitad del máximo previsto (92 hm³/año menos en la toma de la Acequia Real del Júcar) y que los ahorros se reparten equitativamente entre Valencia y Castilla-La Mancha, la demanda de riegos en esta zona puede redondearse prudencialmente a los 100 hm³/año indicados.

Visto el problema desde otra perspectiva, la de los expedientes administrativos para el aprovechamiento de aguas subterráneas en la zona, puede plantearse que si se resta del total de peticiones registradas en la Comisaría de Aguas del Júcar (unos 560 hm³/año)

el total actualmente evaluado según los estudios previos del Plan (320 hm³/año de bombeos + 80 de sustituciones), los 160 resultantes serían el nuevo aporte máximo necesario en el supuesto de que todas las peticiones son correctas y resueltas favorablemente. La cantidad propuesta de 100 hm³/año es un 63% de este máximo, lo que resulta un porcentaje ciertamente elevado, que no se alcanzará en la práctica, y que confirma la razonabilidad y holgura de la cuantía indicada, desde este punto de vista.

Ha de reiterarse, en todo caso, que estas magnitudes apuntadas son estimativas, y están a expensas de los ahorros reales que puedan efectivamente alcanzarse con la modernización y mejora de los regadíos tradicionales de la cuenca.

Nótese, por otra parte, que con las cifras indicadas se alcanza una cierta equidad territorial entre Valencia y Castilla-La Mancha en las nuevas asignaciones de recursos, con valores próximos en ambos casos a los 200 hm³/año.

El resto de las demandas para este sistema Júcar se asumen idénticas a las establecidas en el Plan y sus estudios previos.

Resumiendo lo expuesto, la siguiente tabla muestra las demandas finalmente consideradas en el esquema, indicando su cuantía total anual, su distribución estacional y el porcentaje de retorno aprovechable en el sistema.

	DEM. (hm ³)	DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA DEMANDA (%)												RET. (%)	
		OC	NV	DC	EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG	ST		
Ab. Castellón-Benicassim	20	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,4	8,4	8,4	8,4	-
Ab. Valencia (Turia)	31	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,4	8,4	8,4	8,4	-
Ab. Valencia (Júcar)	189	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,4	8,4	8,4	8,4	-
Ab. Sagunto	31	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,4	8,4	8,4	8,4	-
Ab. Albacete	31	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,4	8,4	8,4	8,4	-
Ab. Marina Baja	50	8,2	7,2	6,8	6,8	6,6	8,6	8,2	7,9	8,8	10,6	11,3	8,9	-	-
Reg. Castellón Norte	20	3	2	1	0	0	2	7	17	19	24	20	5	-	-
Reg. Tradicionales Mijares	93	13	5	0	0	0	11	6	14	14	15	11	11	-	-
Reg. Canal cota 220	20	3	2	1	0	0	2	7	17	19	24	20	5	-	-
Reg. Canal cota 100	18	3	2	1	0	0	2	7	17	19	24	20	5	-	-
Reg. María Cristina	9	3	2	1	0	0	2	7	17	19	24	20	5	-	-
Reg. Castellón Sur	20	4	4	3	4	6	7	9	10	14	15	14	10	-	-
Reg. Campo del Turia	100	6	4	4	4	3	6	8	12	12	16	16	9	-	-
Reg. Pueblos Castillos	52	8	5	5	5	5	9	8	10	10	12	12	11	30	-
Reg. Acequia Moncada	81	4	2	4	4	4	9	9	11	12	14	14	13	-	-
Reg. Tradicionales Turia	80	4	3	4	4	4	9	9	11	11	14	14	13	-	-
Reg. Acequia Real	300	8	7	2	4	5	7	9	12	11	14	13	8	23	-
Reg. Escalona-Carcagente	54	7	6	2	3	4	3	8	11	16	17	15	8	48	-
Reg. Ribera Baja	279	8	8	8	6	3	5	7	16	12	12	11	4	-	-
Reg. Canal Júcar-Turia	125	10	2	1	0	0	0	5	8	16	21	21	16	-	-
Reg. Cabecera del Júcar	8	6	4	4	4	4	5	6	7	11	20	19	10	-	-
Reg. Cabecera del Cabriel	6	4	0	0	0	0	3	5	8	14	27	26	13	-	-
Detracc. Acuíf. Mancha Or.	185	8	7	8	8	8	9	7	9	7	9	11	9	-	-
Reg. consolid C-La Mancha	100	7	0	0	0	1	4	4	6	8	24	29	17	-	-
Sustit. Bombeos Albacete	80	7	0	0	0	1	4	4	6	8	24	29	17	-	-
Abast. y reg. Vinalopó	170	8	7	7	7	7	8	8	9	9	10	10	10	-	-
Reg. Amadorio	2	7	4	0	0	0	9	5	7	11	23	23	11	-	-
Reg. Guadalest	6	5	4	5	2	3	11	12	9	14	9	14	12	-	-
C.N. Cofrentes	35	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,4	8,4	8,4	8,4	42
Filtracs. Qmin ab. Sichear	7	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,4	8,4	8,4	8,4	-
Filtraciones Loriguilla	20	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,4	8,4	8,4	8,4	100
Qmin. Acuífero Mancha Or.	60	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,4	8,4	8,4	8,4	50
Total:	2282														

Tabla 86. Síntesis global de demandas consuntivas en el ámbito del Plan Hidrológico del Júcar

En cuanto a niveles de garantía, se adoptan los criterios estándar de la planificación nacional cifrados en déficit anuales acumulados de cuantías porcentuales [2,3,10] y [50,75,100] para abastecimientos y riegos respectivamente. Además de estos criterios de caracterización del fallo ordinario, el coeficiente de fallo absoluto (umbral de fallo) se fija en un 1,5.

9.2.3. REUTILIZACIÓN DE RETORNOS

Una vez definidas las demandas, cabe considerar expresamente sus retornos producidos, susceptibles de reintroducción en el sistema, como nuevas aportaciones que incrementan los recursos propios.

Considerando los retornos del abastecimiento urbano-industrial, se dispone de un examen muy reciente de la situación existente en la cuenca (CHJ, 2000), concluyéndose que una estimación del volumen total de reutilización real directa actual en el ámbito del Júcar arrojaría la cifra de unos 93 hm³/año, lo que supone el 66% de los 140 realmente tratados, y revela un nivel ciertamente elevado de empleo de estos recursos no convencionales. Su aplicación es para regadíos próximos, paliando así sus dificultades de infradotación y falta de garantía.

Este elevado nivel de reutilización resulta desde luego exigible con carácter previo a las posibles transferencias externas.

Se prevé que el nivel de reutilización pueda incrementarse en unos 10 hm³/año más a corto plazo, y algo más en el futuro. La modesta magnitud de estas cifras de incremento de recursos futuros puede permitir resolver importantes problemas puntuales, pero no resulta significativa a los efectos de su consideración expresa por este Plan Hidrológico Nacional. La tabla adjunta muestra el detalle por subsistemas de tales evaluaciones.

Subsistema	Volumen tratado	Volumen reutilizado	Incremento a corto plazo
Cenia-Maestrazgo	0,4	0,1	0,0
Mijares-Plana de Castellón	31,9	15,0	0,0
Palancia-Los Valles	8,1	4,2	0,0
Turia	37,0	36,8	3,5
Júcar	5,3	0,8	0,7
Serpis	10,6	4,5	0,0
Marina Alta	1,9	0,7	0,0
Marina Baja	12,3	10,4	5,5
Vinalopó	31,5	20,2	0,0
Total:	139,0	92,6	9,7

Tabla 87. Reutilización actual y prevista (hm³/año)

En cuanto a los regadíos y otros usos industriales, sus valores son los estimados en el Plan Hidrológico de cuenca y en otros trabajos previos (MIMAM, 1997).

Con todo ello, los retornos del sistema finalmente considerados son los resumidos en la anterior tabla de demandas.

9.2.4. CAUDALES MÍNIMOS

Siguiendo lo establecido en el Plan Hidrológico de la cuenca del Júcar, y que se asume por este Plan Nacional, los caudales mínimos circulantes en los distintos tramos fluviales son los enumerados seguidamente.

El caudal mínimo a desaguar por el embalse de Alarcón, que deberá asimismo asegurarse a partir del Picazo, se fija en 2 m³/s, pudiendo computarse el volumen resultante como una merma de disponibilidades que van a recargar el acuífero de la Mancha Oriental, y que se recuperan posteriormente en un 50%. En el sistema se considerará como una demanda consuntiva con retorno al río.

El caudal mínimo que debe circular por el Cabriel aguas abajo de Contreras se fija en 0,4 m³/s (1 hm³/mes), que pueden ser utilizados en su totalidad aguas abajo, una vez cumplida su función ecológica.

El caudal que debe circular aguas abajo de Tous, y hasta la toma de la acequia Real del Júcar, se fija en 0,6 m³/s (1,6 hm³/mes). De este caudal, podría considerarse simplificada que la mitad es aprovechable (en la temporada de riegos de abril a septiembre), y el resto es estrictamente medioambiental.

El caudal aguas abajo del embalse de Sichar se fija en 0,2 m³/s (0,5 hm³/mes). Este caudal desaparece aguas abajo y no se recupera, lo que se modela como una demanda consuntiva sin retorno.

Entre Benagéber y Loriguilla se fija un caudal mínimo de 0,7 m³/s (1,8 hm³/mes) y aguas abajo de Loriguilla se fija en 0,5 m³/s (1,3 hm³/mes).

La siguiente tabla resume los caudales mínimos establecidos.

TRAMO	Ap. reg. natural (hm ³ /año)	Caudal mín. (m ³ /s)	Caudal mín. (hm ³ /mes)
Aguas abajo Alarcón	424	2,0	5,3
Aguas abajo Contreras	383	0,4	1,0
Tous-Acequia Real	1441	0,6	1,6
Aguas abajo Sichar	163	0,2	0,5
Benagéber-Loriguilla	257	0,7	1,8
Aguas abajo Loriguilla	282	0,5	1,3

Tabla 88. Caudales mínimos

Estos caudales se introducirán, siguiendo los criterios conceptuales adoptados, como restricciones de funcionamiento al sistema global de explotación de recursos.

9.2.5. ELEMENTOS DE REGULACIÓN SUPERFICIAL

El cuadro resumen de volúmenes máximos mensuales y volumen mínimo (hm³) de todos los embalses considerados en este análisis, es el adjunto. El embalse de Contreras dispone de un volumen real mucho mayor, pero razones técnicas aconsejan considerar el máximo útil indicado. Tous, por su parte, tiene una importante limitación por los necesarios resguardos de avenidas, por lo que su máximo utilizable variará mensualmente de la forma indicada en la tabla. Existen, además, embalses privados destinados a la producción hidroeléctrica, como Cortes y Naranjero, que lógicamente no deben ser computados como disponibles para la regulación, y se suponen prácticamente llenos.

Con todo ello resultan las capacidades finales ofrecidas en la tabla.

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	MIN
Alarcón	1112	1112	1112	1112	1112	1112	1112	1112	1112	1112	1112	1112	30
Amadorio	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	0
Arenós	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	25
Benagéber	187	187	184	221	221	221	221	221	221	221	221	187	10
Contreras	463	463	463	463	463	463	463	463	463	463	463	463	15
Cortes	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	100
Guadalest	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	0
Loriguilla	50	50	50	70	70	70	70	70	70	70	70	50	5
Naranjero	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	18
Sichar	36	36	36	36	44	44	44	44	44	44	44	44	0
Tous	72	72	378	378	378	378	378	378	378	378	195	72	30

Tabla 89. Embalses de regulación

Durante el horizonte del Plan se prevé que entre en funcionamiento el embalse de Villamarchante, con una capacidad de unos 40 hm³, según las estimaciones preliminares de la Confederación Hidrográfica del Júcar, por lo que se ha incluido en el esquema. No se incluye, sin embargo, el embalse de Alcalá, considerado en diversos estudios previos. Con los criterios adoptados en este Plan Nacional este embalse no resulta, en principio, imprescindible, aunque podría mejorar las condiciones de distribución y garantía de la unidad de demanda denominada Castellón Norte, y apoyar un posible esquema general, por lo que en el futuro podría plantearse su realización. En cualquier caso, su hipotética futura ejecución mejoraría los resultados del análisis que aquí se realiza.

En aras a optimizar la explotación de la cuenca, se permite la regulación de recursos en cualquier embalse del sistema, con independencia de la tipificación jurídica de los destinos del agua, y buscando maximizar el servicio a las demandas involucradas con respeto de sus diferentes prioridades.

Este óptimo funcionamiento hidráulico conllevará su correspondiente imputación de costes mediante los adecuados cánones de regulación, cuyo análisis queda, obviamente, fuera del alcance de este Plan Nacional.

Estudiada la regulación superficial de los recursos propios, quedaría por evaluar únicamente las posibilidades de nuevos bombeos de aguas subterráneas y de uso

conjunto. Tal y como fué dilucidado en trabajos previos, no cabe esperar aumentos muy importantes de regulación por el uso conjunto o posibles bombeos de aguas subterráneas, pero con objeto de revisar y acotar tal posibilidad en el marco de este Plan Hidrológico Nacional, se ha procedido a realizar una nueva investigación específica tal y como se describe en el siguiente epígrafe.

9.2.6. ELEMENTOS DE REGULACIÓN SUBTERRÁNEA Y USO CONJUNTO

Las aguas subterráneas representan en la cuenca del Júcar una fracción algo superior al 70% de la aportación total de la cuenca. En la actualidad se estiman unas extracciones de 1.400 hm³/año, las cuales sirven para atender una porción importante de las demandas totales. Estas extracciones representan un 26% del total de las aguas subterráneas extraídas en España. Todos estos datos ponen de relieve la importancia de los recursos subterráneos en esta cuenca.

El objetivo del presente análisis es estudiar de forma simplificada y homogénea las posibilidades de incrementar las disponibilidades de recursos en la cuenca mediante las aguas subterráneas y la implantación de esquemas de gestión conjunta con las aguas superficiales, para lo que se ha realizado un estudio de los recursos subterráneos no utilizados en la actualidad. Tras ello se contrastará este análisis con los resultados obtenidos en otros estudios disponibles.

Un análisis preliminar podría consistir en hallar las diferencias entre las recargas y bombeos a la escala global del ámbito del Júcar. Sin embargo esta simple estimación no sería rigurosa, pues parte del aumento de disponibilidades debidas a los bombeos podría quedar embebida en las correspondientes a los embalses, dado que estos bombeos podrían disminuir las aportaciones entrantes a los embalses si se sitúan en acuíferos que drenan hacia ellos, y, en consecuencia, mermar considerablemente la cifra de regulación superficial. En teoría, otra parte sí que serviría para aumentar las disponibilidades ya que significaría mejorar la regulación del sistema mediante la utilización de los acuíferos que drenan a las cuencas vertientes a los embalses, en el supuesto de que éstos fuesen insuficientes y presentasen frecuentes vertidos no regulados.

Sin embargo, en la cuenca del Júcar puede admitirse en la práctica que la utilización de los acuíferos situados aguas arriba de los embalses no mejoraría significativamente las disponibilidades globales, tal y como se deduce al analizar los recursos naturales y disponibles en las cuencas vertientes a los principales embalses, cuyos datos se muestran en la tabla adjunta. Según estas cifras las cuencas vertientes a los principales embalses de la cuenca del Júcar (v. figura) se encuentran ya muy reguladas, con porcentajes entre el 75 y el 90%. Los datos reflejados en la tabla anterior han sido obtenidos mediante los modelos de simulación de aportaciones naturales y de optimización de los sistemas de explotación de recursos utilizados en el LBAE y con los cuales ya se estimaron las cifras globales para cada uno de los ámbitos de planificación. El recurso disponible se ha obtenido bajo el supuesto de una distribución de demanda variable con el criterio de garantía utilizado en el LBAE de déficit anuales acumulados del 50, 75 y 100% de la demanda anual para 1, 2 y 10 años, respectivamente.

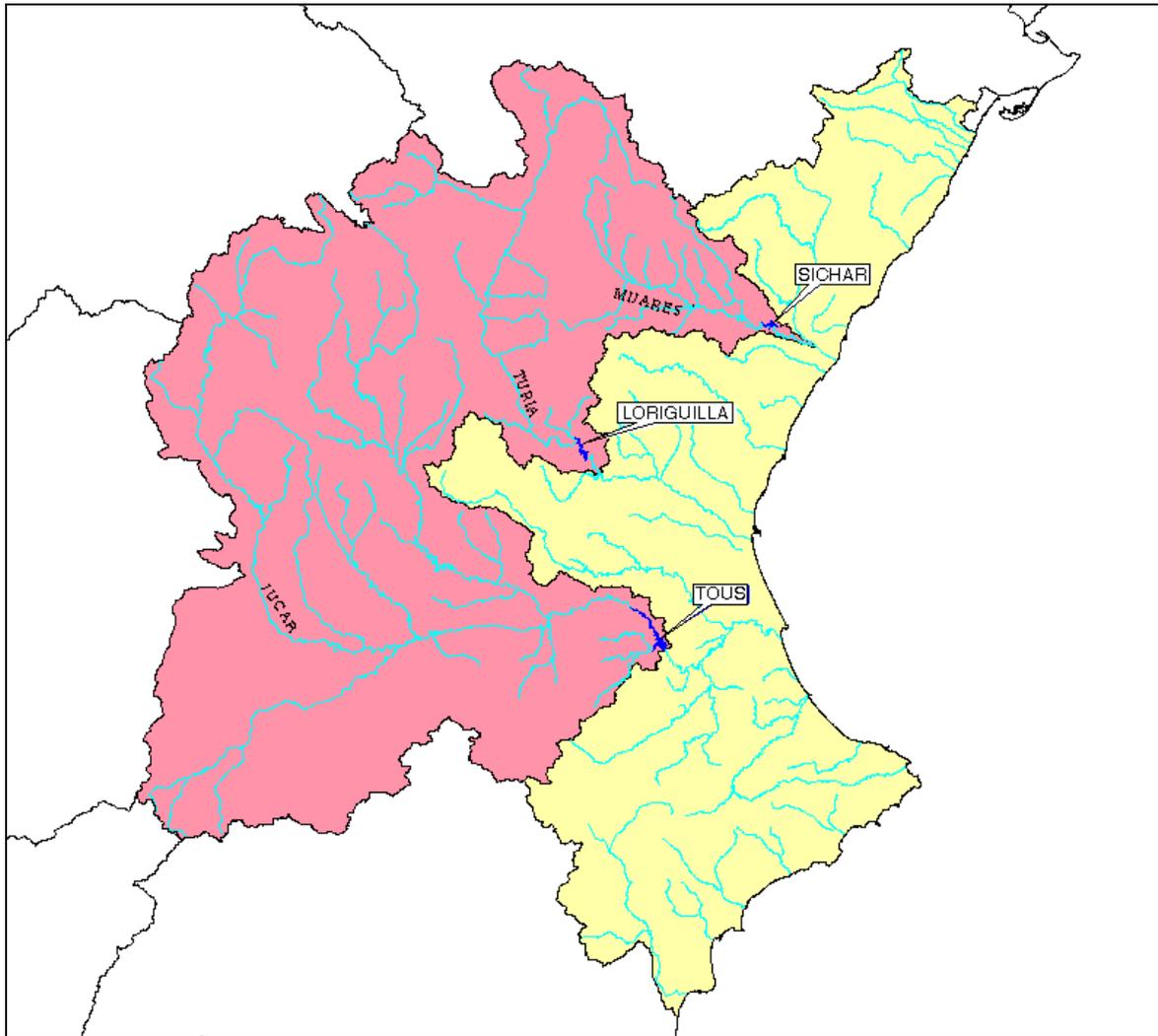


Figura 165. Cuencas vertientes a los principales embales de la cuenca del Júcar

Ámbito de planificación	Cuenca del río	Embalse	Rec. natural (hm ³ /año)	Rec. disponible (hm ³ /año)	Porcentaje de regulación
Júcar	Júcar	Tous	1440	1240	86
Júcar	Turia	Loriguilla	260	200	77
Júcar	Mijares	Sichar	160	140	88

Tabla 90. Porcentajes de regulación en las cuencas vertientes a los principales embalses de la cuenca del Júcar

Es por tanto razonable que el análisis se centre en los acuíferos localizados aguas abajo de los principales embalses de regulación, tal y como se muestra en la siguiente figura.

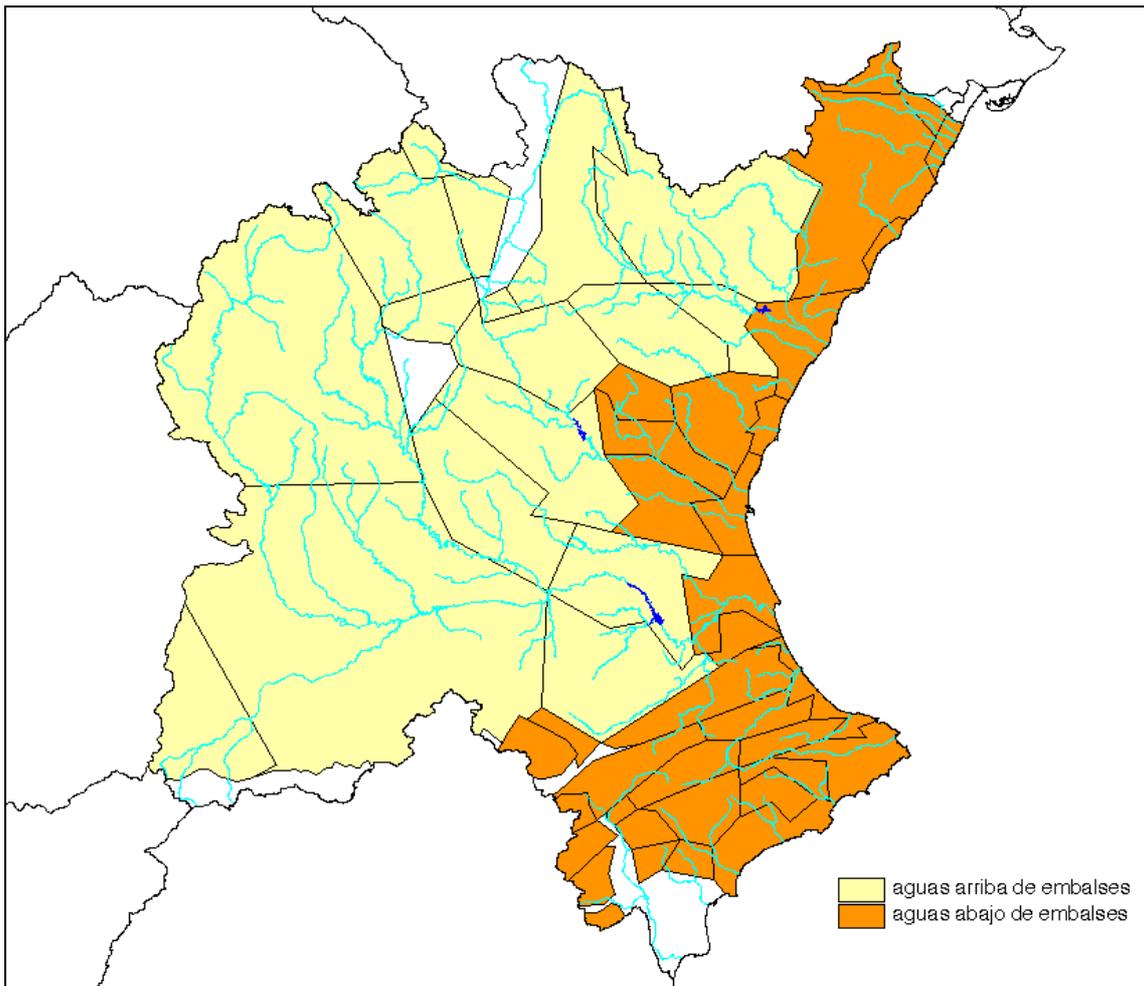


Figura 166. Selección de unidades hidrogeológicas en la cuenca del Júcar

Para realizar este análisis se han considerado dos hipótesis teóricas, las derivadas de asumir, o no, que parte de las extracciones de las aguas subterráneas se utilizan para reducir los problemas de sobreexplotación. En la primera hipótesis el recurso que todavía podría utilizarse sería como máximo igual al sumatorio de la diferencia entre las recargas y bombeos de todas las unidades hidrogeológicas consideradas. En la segunda hipótesis el recurso sería mayor al no considerar que las posibles extracciones adicionales pueden servir para atender en parte la sobreexplotación existente. En este caso el recurso todavía utilizable se ha obtenido como el sumatorio de la diferencia entre las recargas y bombeos en aquellas unidades donde los bombeos son inferiores a las recargas.

Antes de mostrar los resultados obtenidos conviene aclarar que las cifras de bombeo utilizadas, que son las recogidas en el Plan de cuenca, tienden, con carácter general, a infravalorar las extracciones actuales en los acuíferos y deberían tomarse como un límite inferior de éstas. Hay que tener en cuenta, por una parte, que en algunos casos las cifras recogidas en el Plan son de hace ya algunos años y que, por otra, la mayoría de las estimaciones se obtienen indirectamente agregando demandas parciales, con lo cual podrían no haberse contemplado algunas zonas de demanda. Esta posible infravaloración de los bombeos se pone de manifiesto al compararlos con las cifras de

volúmenes de aprovechamiento de aguas subterráneas inscritos o en trámite de inscripción, que son superiores, entre un 30% y más de un 200%, a los bombeos reflejados en el Plan. Estas cifras, obtenidas sumando los caudales del aprovechamiento reflejados en los expedientes administrativos, se están perfeccionando a medida que avanza el proceso de regularización de aprovechamientos subterráneos, pero no se encuentran aún disponibles para todas las unidades hidrogeológicas consideradas.

Hecha esta salvedad, ha de advertirse además que los recursos potenciales adicionales que resultan por este procedimiento deben entenderse como un límite superior máximo absoluto que sirve para acotar las máximas posibilidades teóricas de extracción de agua de los acuíferos en la cuenca del Júcar, y que no corresponde a una situación deseable, dado el presumible impacto adverso sobre las descargas naturales que tales bombeos podrían acarrear.

En la tabla adjunta se muestra una estimación de los incrementos potenciales de esas extracciones en las unidades hidrogeológicas consideradas de la cuenca, observándose que el incremento sería de 498 hm³/año y 617 hm³/año en las dos hipótesis consideradas, lo que representaría un 35% y 44% de aumento, respectivamente, respecto a los bombeos actuales.

Infiltración por lluvia y cauces (hm ³ /año)	Infiltración por excedentes de riego (hm ³ /año).	Recarga (hm ³ /año).	Transferencias (hm ³ /año)	Bombeo actual (hm ³ /año)	Incremento potencial teórico de bombeo (considerando la sobreexplotación).	Incremento potencial teórico de bombeo (sin considerar la sobreexplotación)
938	465	1403	158	1063	498	617

Tabla 91. Incremento en la explotación de las aguas subterráneas. Elaboración propia a partir de información contenida en el Plan de cuenca

Si este mismo análisis se realiza teniendo en cuenta los volúmenes de aprovechamiento de aguas subterráneas inscritos o en trámite de inscripción en aquellas unidades que disponen de esta información, los incrementos potenciales teóricos se reducirían a 298 hm³/año y 504 hm³/año, respectivamente, en las dos hipótesis consideradas. Estos incrementos todavía seguirían siendo un límite superior del real, pues esas cifras, generalmente mayores que las de los bombeos estimados en los planes, no se disponen en unidades tan explotadas como las Planas de Vinaroz-Peñíscola, Sagunto, Valencia Norte, Gandia-Denia o la unidad de Liria-Casinos, acuíferos donde presumiblemente los bombeos serán también mayores que los estimados en el Plan Hidrológico de cuenca.

Todas las cifras globales mencionadas en párrafos anteriores proceden de integrar los recursos adicionales estimados en las unidades hidrogeológicas. Conviene también analizar como se distribuyen esos recursos potenciales a través de la cuenca. Para ello en la figura adjunta se muestran las cifras de infiltración debida a lluvia y cauces y los bombeos. También se ha representado la cifra de la diferencia entre las transferencias subterráneas que entran y salen de una determinada unidad hidrogeológica.

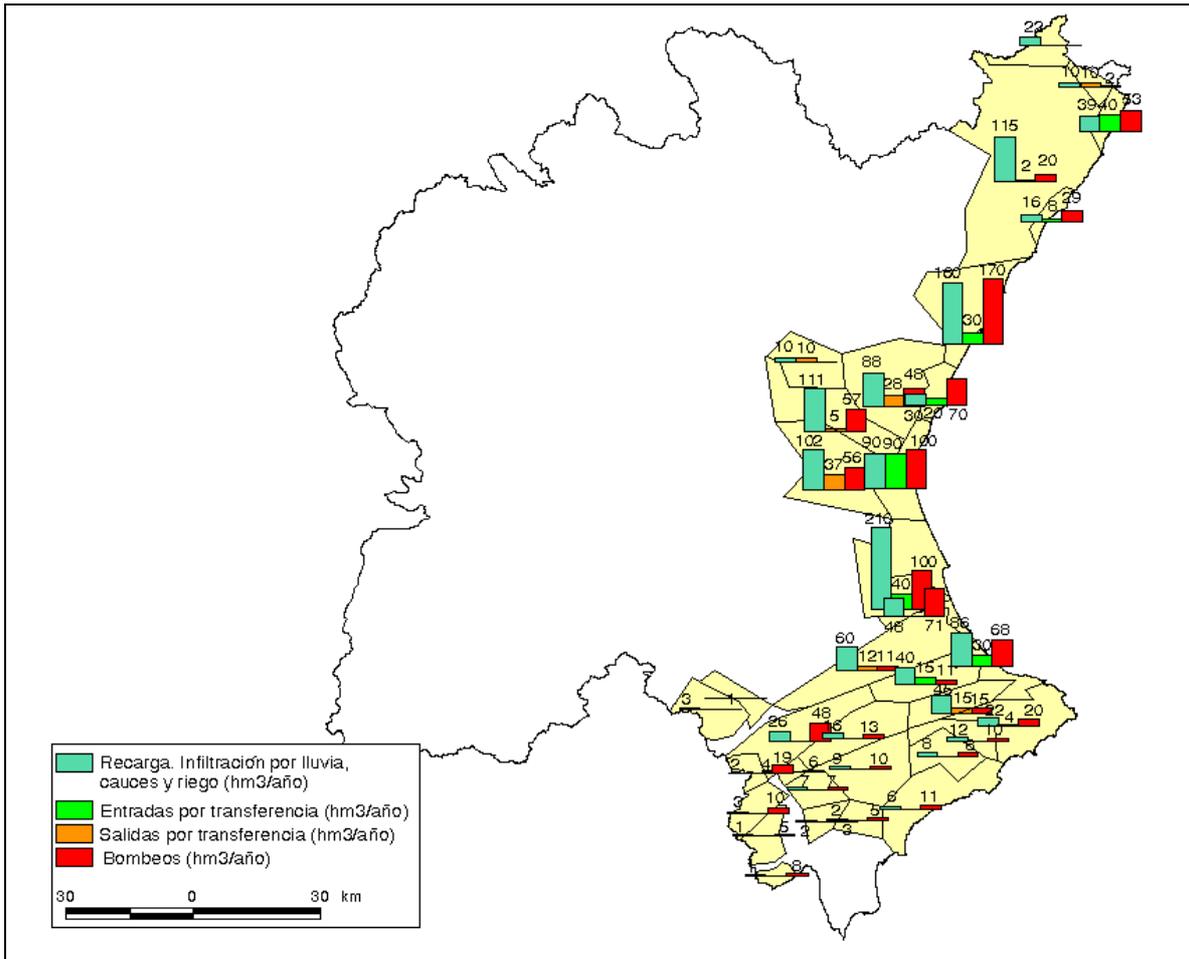


Figura 167. Recargas y bombeos en las unidades hidrogeológicas estudiadas de la cuenca del Júcar

A partir de los datos anteriores se han obtenido las diferencias entre la suma de las recargas más las transferencias, y los bombeos, en las diferentes unidades hidrogeológicas consideradas, tal y como se muestra en la figura.

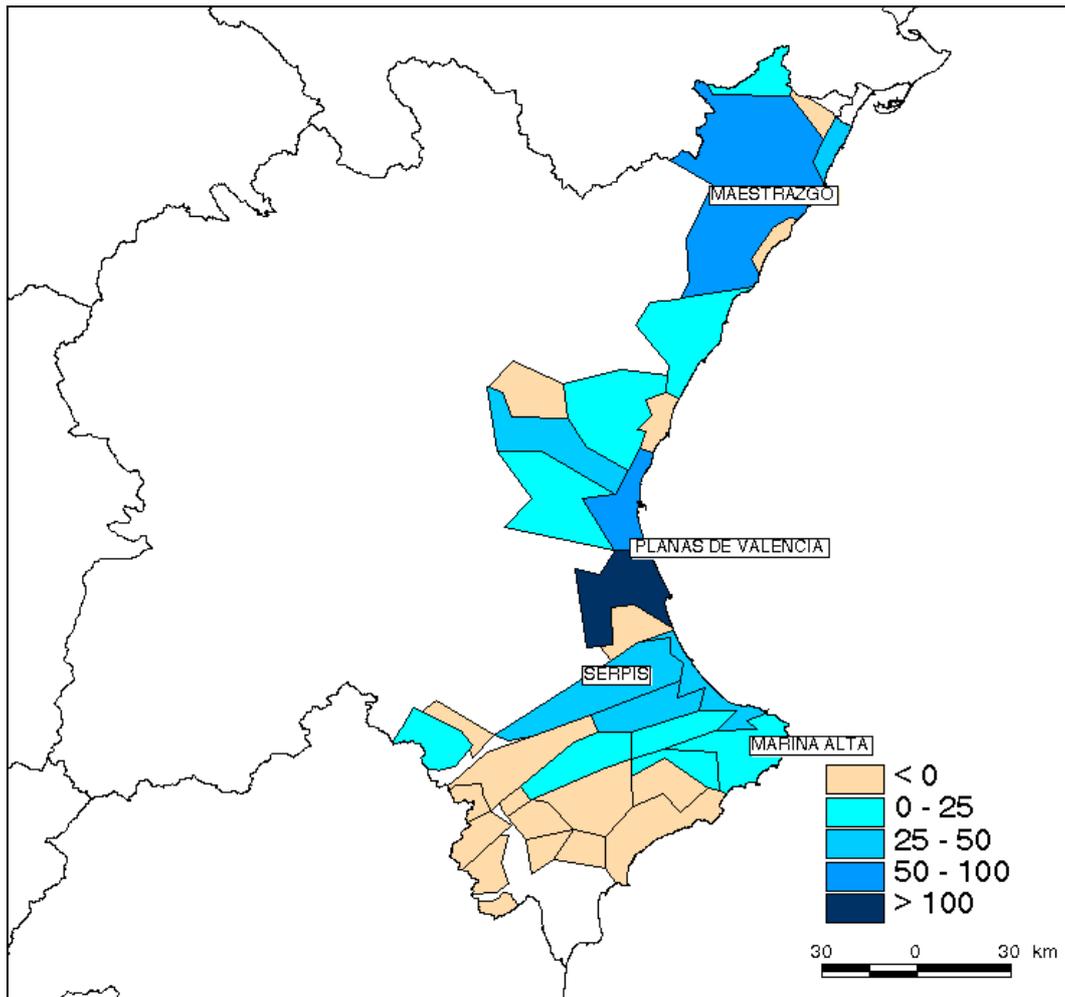


Figura 168. Diferencia entre recargas más transferencias y bombeos (en $\text{hm}^3/\text{año}$) en las unidades hidrogeológicas estudiadas de la cuenca del Júcar

Como complemento del análisis realizado en la figura siguiente se muestra la diferencia entre las recargas más las transferencias, y los bombeos, considerados estos últimos como los volúmenes de aprovechamiento inscritos o en fase de inscripción en las unidades hidrogeológicas en las que tal información esta disponible. Se observa en esta figura que los déficits se extienden a un número mayor de acuíferos que si se consideran las cifras de los bombeos del Plan del Júcar, e incluirían también las unidades hidrogeológicas de la Plana de Castellón, Medio Palancia, Buñol-Cheste, Sierra-Grossa, etc.

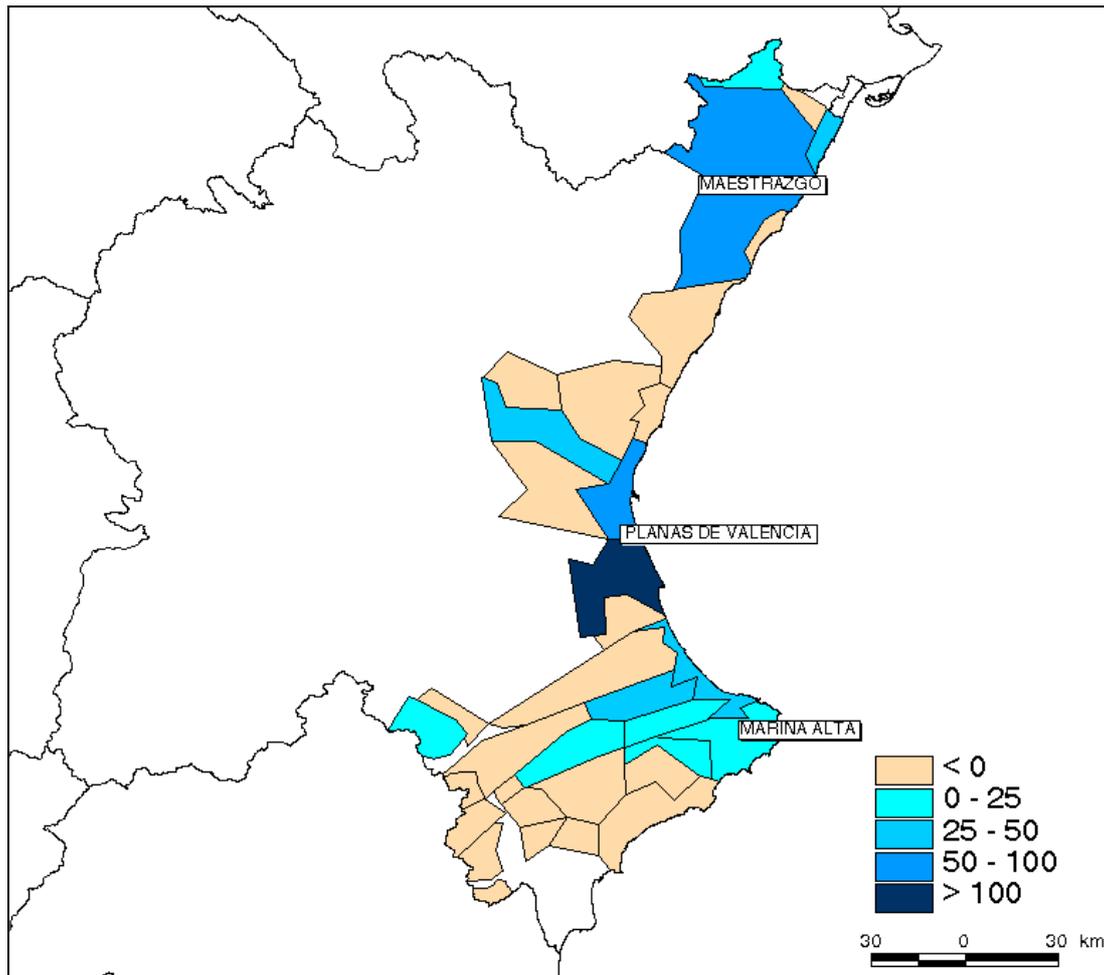


Figura 169. Diferencia entre recargas más transferencias y volúmenes de aprovechamiento (en $\text{hm}^3/\text{año}$) en las unidades hidrogeológicas de la cuenca del Júcar en la que esta información está disponible

En definitiva, el análisis de las figuras anteriores destaca como principales zonas donde se podrían captar recursos subterráneos adicionales las siguientes:

- La unidad hidrogeológica del Maestrazgo. Sobre esta unidad el Plan Hidrológico de la cuenca del Júcar dice que *Aún cuando los recursos superficiales de los ríos del norte de la provincia de Castellón son reducidos, los subterráneos presentan un potencial importante. En el caso del Maestrazgo y de la Sierra de Irta, al Norte de la provincia de Castellón se están realizando estudios que permitirán evaluar de manera más atinada los recursos disponibles, de gran importancia en la zona que se encuentran por las fuertes demandas que allí se producen. Puede decirse que en la zona Norte de Castellón el conocimiento de los recursos no es suficiente debido a la posible existencia de importantes recursos subterráneos de difícil explotación, que no han sido controlados hasta el momento, aunque la metodología aplicada para la valoración de aportaciones indican la existencia de dichos recursos, no contrastados en la práctica. Aunque los recursos adicionales teóricos están próximos a los $100 \text{ hm}^3/\text{año}$, parece que sólo podría ser utilizada, por consideraciones técnicas y económicas, una cifra bastante inferior.*

- Las unidades de las Planas de Valencia Norte y Sur. En estos acuíferos se estiman unos recursos subterráneos adicionales teóricos del orden de 200 hm³/año, que con toda seguridad serían inferiores si para su estimación se hubiese dispuesto de las cifras de volúmenes de aprovechamiento inscritos o en trámite. Debido al regadío intensivo de aguas superficiales ya existente en la zona, la calidad del recurso no es buena, no siendo recomendable para uso urbano, aunque sí podría ser utilizado para el regadío. Como más adelante se verá se podría aumentar la disponibilidad del recurso mediante una gestión conjunta de las aguas superficiales y subterráneas en una cifra del orden de unos 70 hm³/año.
- Los acuíferos de la zona de la Plana de Gandía y de la Marina Alta y de las sierras interiores (como la unidad de Almirante-Mustalla) cuentan con unos recursos adicionales máximos teóricos del orden de 100 hm³/año. En el Plan de cuenca del Júcar se indica que se están realizando estudios en la unidad hidrogeológica de Almirante-Mustalla, con recursos no aprovechados actualmente en su totalidad. Estos recursos adicionales podrían servir para aliviar los problemas locales de suministro existentes en la Marina Alta.

Cabe indicar también que existen zonas, como Castellón Sur, la Marina Baja o el Vinalopó-Alacantí, donde se observa con claridad que las posibilidades de obtención de recursos subterráneos adicionales son muy reducidas o nulas.

En conclusión, el sencillo estudio realizado muestra unas posibilidades teóricas ciertas en algunas zonas (Maestrazgo, Planas de Valencia, Plana de Gandía, Marina Alta y sierras interiores), aunque con cuantías en general moderadas dado el gran uso que ya se hace de las aguas subterráneas en este ámbito, el carácter maximalista de la evaluación realizada, y sus posibles adversos efectos ambientales.

Debe reiterarse, en efecto, que las cifras anteriores son teóricas y acotan superiormente las posibilidades reales del uso conjunto. No tienen en cuenta las dificultades prácticas (técnicas, ambientales o jurídicas) de llevar a cabo estos esquemas, ni los impactos ambientales que podrían producirse sobre las surgencias naturales como consecuencia de los nuevos bombeos requeridos.

Tras este diagnóstico inicial, que permite centrar de forma objetiva las áreas significativas y los órdenes de magnitud del problema, cabe dar un paso más, revisando con mayor detalle las realizaciones concretas de uso conjunto en la cuenca y sus perspectivas de futuro.

La cuenca del Júcar es, en efecto, una de las cuencas españolas donde ya se han implantado un número mayor de esquemas de uso conjunto, tal y como se observa en la figura adjunta.

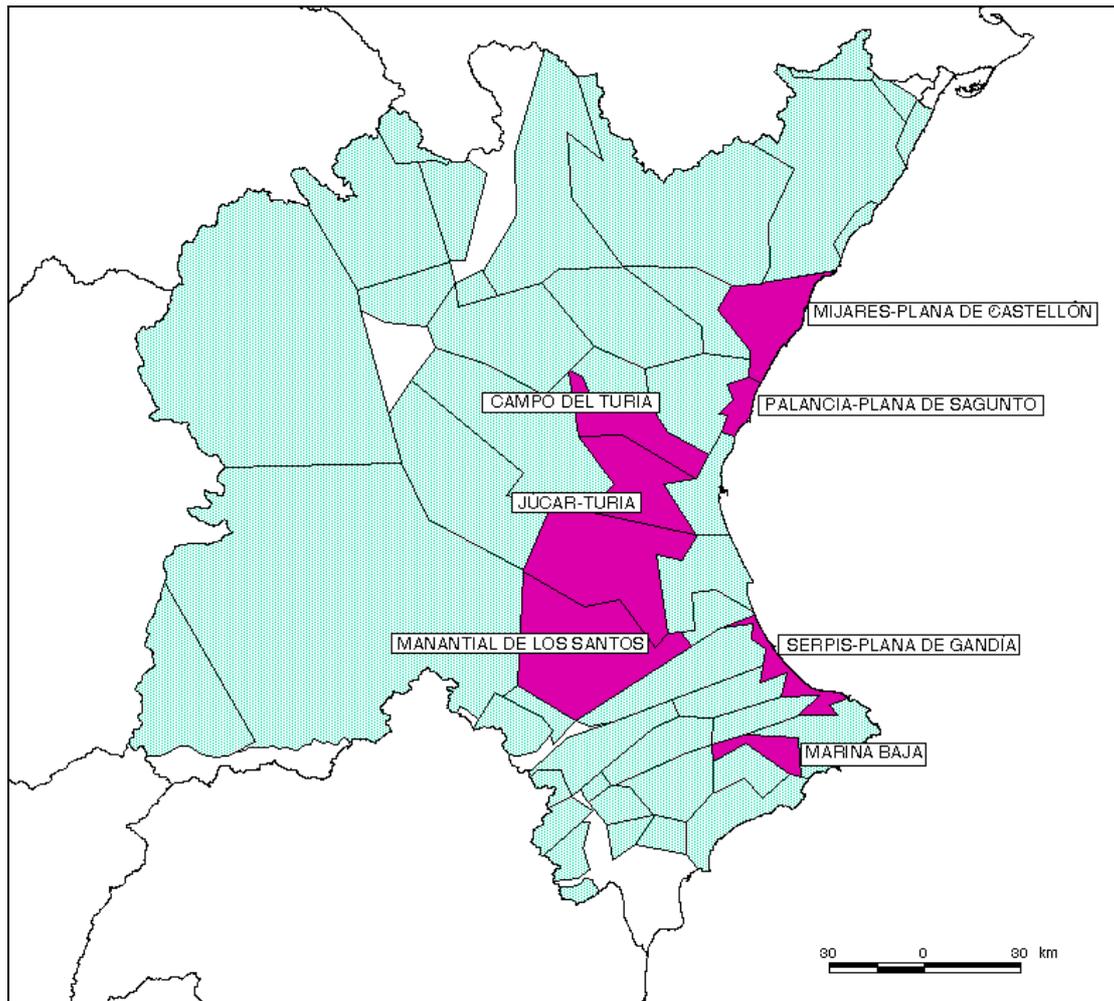


Figura 170. Mapa de situación de acuíferos donde se realiza uso conjunto en la cuenca del Júcar

Un ejemplo muy conocido y estudiado de utilización conjunta es el del sistema río Mijares-Plana de Castellón, donde la variación de agua almacenada en el acuífero, entre el final de un periodo húmedo y el de un periodo seco de varios años de duración, ha llegado a ser del orden de 700 hm^3 . Esta capacidad de almacenamiento del acuífero permite conseguir un porcentaje muy alto de garantía en los suministros. También, la zona de riego del canal Júcar-Turía, especialmente en su margen derecha, utiliza las aguas superficiales del Júcar y las procedentes de pozos de forma coordinada. El uso conjunto tiene una importante componente económica por el mayor coste de los bombeos, pero ha llevado a una elevada garantía de la zona en la última sequía. También en otros sistemas, como el del canal del Campo del Turia, el del río Palancia-Plana de Sagunto, río Serpis-Plana de Gandía, o la Marina Baja, se está realizando uso conjunto.

Además de estas realidades actuales, y pensando en las posibilidades de futuro, en un trabajo reciente () se han identificado 5 esquemas en la cuenca del Júcar donde es posible incrementar el uso conjunto, tras valorar distintos condicionantes naturales, económicos, así como de infraestructura hidráulica existente. En el citado trabajo se definen los estudios y análisis de sistemas necesarios para determinar el incremento de recursos obtenibles en cada uno de los esquemas, y la viabilidad de la integración de

ambos tipos de recursos, tanto en el aspecto económico como en el de gestión y organización por parte de los usuarios. Hasta tanto dichos estudios hayan sido concluidos, pueden avanzarse unas cifras muy preliminares que se ofrecen únicamente con objeto de centrar el orden de magnitud de los recursos adicionales que, según estos trabajos, pueden conseguirse mediante la implantación de los esquemas de uso conjunto.

Los recursos adicionales en toda la cuenca estarían comprendidos entre 90 y 120 $\text{hm}^3/\text{año}$. Éstos procederían básicamente de los tramos finales de los ríos Júcar y Turia (entre 60 y 80 $\text{hm}^3/\text{año}$), el Palancia (entre 10 y 20 $\text{hm}^3/\text{año}$), el Serpis (del orden de 10 $\text{hm}^3/\text{año}$) y la Marina Baja (del orden de 10 $\text{hm}^3/\text{año}$). En la figura siguiente se muestran las unidades hidrogeológicas incluidas en esos esquemas.

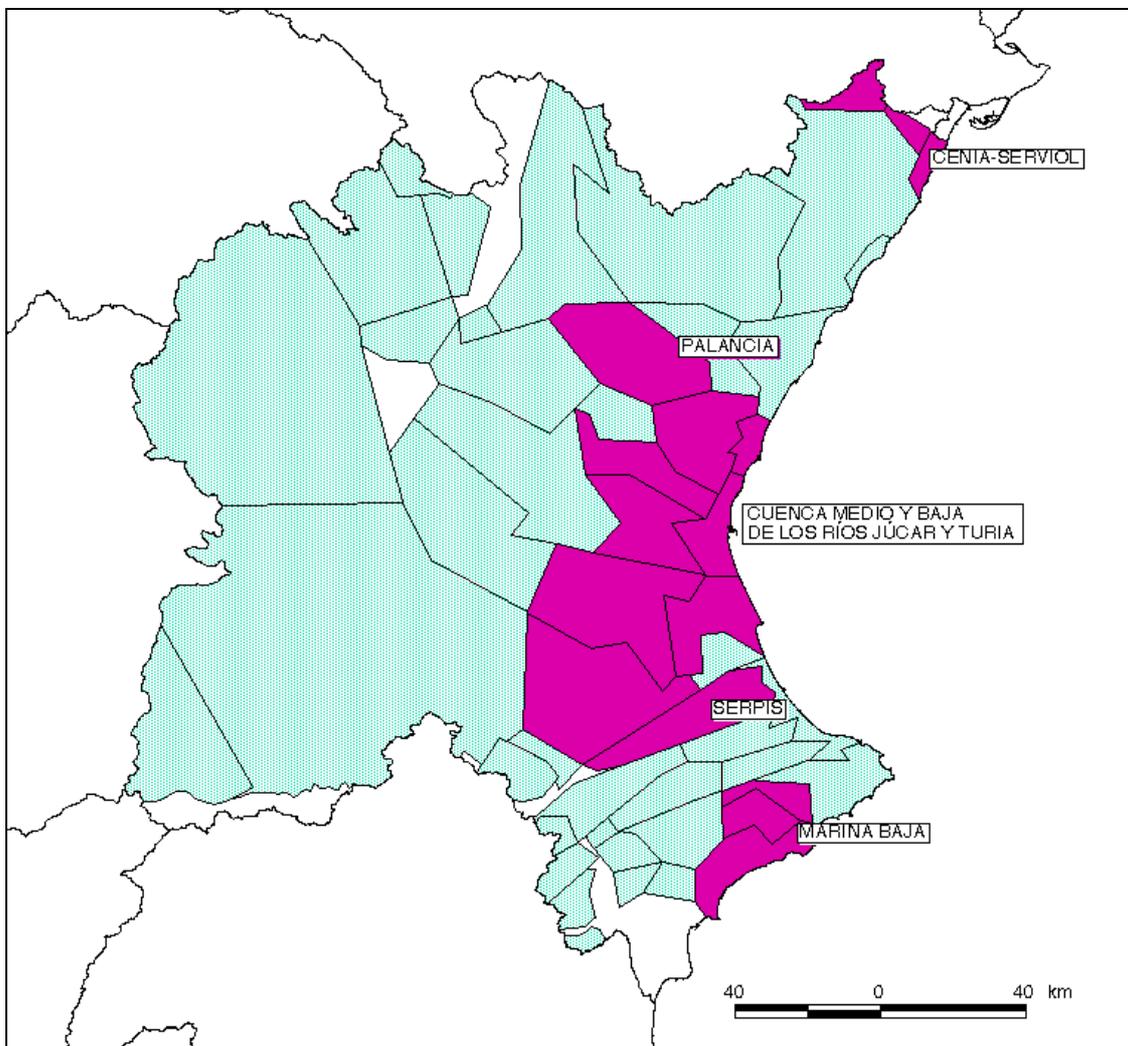


Figura 171. Acuíferos con potencialidad de incorporar en esquemas de uso conjunto en la cuenca del Júcar

Otros estudios disponibles (MOPTMA, 1995) orientados específicamente a investigar la posibilidad de uso de las aguas subterráneas, han analizado las unidades hidrogeológicas considerando que los excedentes actuales sean o no utilizados, que se trate de unidades costeras, o que existan valores ecológicos de deseable conservación relacionados con la unidad. La conclusión para el ámbito del Júcar es existen diversas posibilidades de mejora en algunas unidades (básicamente el Maestrazgo en Castellón, las Planas de Valencia y otras áreas como el Carocho o Sierra Grossa), junto con la necesidad de reducir bombeos en otras (áreas del Vinalopó y Alicante). El balance global arrojaría un saldo positivo (157 de incremento frente a 97 de reducción), aunque de cuantía moderada (60 hm³/año en toda la cuenca).

En conclusión, tanto por lo que se deduce del análisis teórico de balances, como de distintos estudios específicos de algunos sistemas concretos, cabe afirmar que la posibilidad de aumentar las disponibilidades mediante recursos subterráneos es cierta, pero sólo resulta significativa en algunas zonas puntuales de la cuenca del Júcar. Podría disponerse de unos recursos adicionales de unas pocas decenas de hm³ anuales en el Norte de la provincia de Castellón, en concreto en la unidad hidrogeológica del Maestrazgo, y algo menos de 100 hm³/año en las planas de Valencia (Norte y Sur) y de Sagunto, mediante utilización conjunta de las aguas superficiales de los ríos Júcar, Turia y Palancia y las subterráneas de los acuíferos citados. Finalmente cabe mencionar que en la Marina Alta existen recursos subterráneos suficientes como para que no se planteen problemas significativos, mientras que en la Marina Baja, por el contrario, las posibilidades de aumentar las disponibilidades mediante recursos subterráneos son muy escasas, y este incremento, mediante esquemas de uso conjunto podría estimarse en unos pocos hm³ anuales.

Sin perjuicio de las moderadas cuantías reales en que puedan aumentarse las disponibilidades existentes en los distintos subsistemas, estos recursos pueden servir muy eficazmente para elevar la garantía actual de los sistemas de explotación de recursos en situaciones de sequía. En efecto, el hecho de que las mayores posibilidades parezcan situarse en las Planas Norte y Sur de Valencia, en las inmediaciones de unas importantísimas zonas de riego atendidas con recursos superficiales regulados por el sistema Alarcón-Contreras-Tous, permite concebir un esquema de uso conjunto de las aguas subterráneas como seguro de garantía adicional para estos riegos en situaciones de escasez, y del que ya existe un primer precedente en las actuaciones de equipamiento realizadas con motivo de la última sequía.

A los efectos de este Plan Hidrológico Nacional, cabe requerir la necesidad de que, sin perjuicio de las dificultades económicas y administrativas que ello plantea, se desarrollen al máximo todas estas posibilidades, y se asuma en consecuencia la disponibilidad en el ámbito del Júcar de una capacidad extra, para bombeos excepcionales de socorro, estimada tentativamente en unos 100 hm³/año.

9.2.7. CONDUCCIONES

El cuadro adjunto resume las capacidades de las conducciones básicas consideradas en el esquema. Por analogía con los criterios adoptados en los otros análisis de este Plan Nacional, no se impone ninguna limitación de servicio estacional, y a las conducciones propias previstas en el Plan de cuenca se añaden ahora las vinculadas específicamente al Plan Nacional, que son las correspondientes a la posible transferencia desde el Ebro hasta Villena constituida por diversos tramos: Ebro a Castellón Norte, Castellón Norte a Mijares, Mijares a Catellón Sur, Castellón Sur a Turia, Turia a Tous y Tous a Vinalopó. Estas conducciones no existen actualmente, por lo que no se les impone a priori ninguna capacidad, y quedan a expensas de los resultados del análisis.

La conducción Júcar-Vinalopó, prevista en el Plan Hidrológico del Júcar, ha de transportar hasta 80 hm³/año en primera instancia, pudiendo aumentarse esta cuantía hasta 200 hm³/año en el futuro si se generan recursos adicionales como consecuencia de modernización de los riegos tradicionales y otras actuaciones de mejora. Conforme a estos criterios, y considerando la estacionalidad de funcionamiento prevista en los estudios del Plan, el caudal de diseño de la conducción ha de ser, como mínimo, de 7 m³/s (18,5 hm³/mes), por lo que se adopta esta cuantía a los efectos del análisis del sistema.

En cuanto a la conducción del ATS, se concibe en el modelo como by-pass de Alarcón de forma que, en principio, no pueda emplearse este embalse para regular las aguas de trasvase. Este supuesto de operación restringida es el actualmente vigente por las disposiciones reguladoras del trasvase.

CONDUCCIÓN	Q _{max} (m ³ /s)	Q _{max} (hm ³ /mes)
Tramo Común Mijares		62,0
Canal Júcar-Turia		82,9
Canal Júcar-Vinalopó	7	18,5
Acueducto Tajo-Segura		68,0
Bombeo Algar		2,0

Tabla 92 . Conducciones consideradas

9.2.8. ESQUEMA GENERAL

Con los elementos descritos en epígrafes anteriores se ha construido el sistema básico de explotación general de la cuenca del Júcar, tal y como se muestra en el gráfico adjunto.

		Aporte Ebro (hm ³ /año)										
		0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Aporte ATS (hm ³ / año)	0	30	27	20	18	10	3	3	3	1	0	0
	50	25	21	16	3	0	0	0	0	0	0	0
	100	15	14	5	0	0	0	0	0	0	0	0
	150	14	13	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	200	14	13	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	250	14	13	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	300	14	13	4	0	0	0	0	0	0	0	0
	350	14	13	4	0	0	0	0	0	0	0	0
	400	14	13	4	0	0	0	0	0	0	0	0
	450	14	13	4	0	0	0	0	0	0	0	0
	500	14	13	4	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 93. Número de fallos ordinarios del sistema según aportes externos

Como puede apreciarse, si no se dispusiera de ningún aporte externo el sistema se hallaría en una situación de fallo generalizado (30 demandas de las 34 consideradas), lo que indica que en el futuro no podrían atenderse en absoluto los incrementos de demanda urbana ni los suministros para consolidación de regadíos o eliminación de situaciones de sobreexplotación. Las salidas totales del sistema (al mar y a la atmósfera por evaporación) serían en este caso de unos 400 hm³/año, como se indica en la tabla siguiente, lo que representa del orden del 15% de las aportaciones totales del sistema, y refleja el alto nivel de utilización que se alcanzaría.

		Aporte Ebro (hm ³ /año)										
		0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Aporte ATS (hm ³ / año)	0	402	409	430	457	492	526	560	600	639	679	721
	50	423	431	453	483	516	550	592	631	673	718	763
	100	448	455	478	508	545	588	629	672	717	761	807
	150	474	483	510	543	585	628	671	716	761	806	852
	200	516	525	551	585	628	671	716	760	806	851	897
	250	559	568	594	628	671	715	760	805	851	897	945
	300	602	611	637	671	715	760	805	850	896	944	994
	350	646	654	681	715	760	805	850	896	944	993	1043
	400	689	698	725	760	805	850	896	944	994	1043	1092
	450	734	743	771	806	850	896	945	994	1043	1092	1142
	500	780	789	816	851	898	946	994	1043	1093	1142	1191

Tabla 94. Salidas del sistema, según aportes externos

También puede apreciarse que aportes externos procedentes exclusivamente del ATS no resolverían el problema por elevada que fuese su cuantía, requiriéndose un aporte mínimo estructural, por la entrada del Ebro, de unos 150 hm³/año. Ello se debe, obviamente, a la ubicación topológica, en la red de suministro, de las zonas de demanda con fallo. Por el contrario, solo con aportes procedentes del Ebro (unos 450 hm³/año) pueden llegar a eliminarse enteramente los fallos, aunque con menor eficiencia del sistema de transferencias.

Las soluciones más equilibradas consisten en una suma de aportes externos de unos 250 hm³/año, con un mínimo procedente del Ebro de unos 150 hm³/año, es decir, 150 hm³/año de Ebro y 100 del ATS, o 200 hm³/año del Ebro y 50 del ATS. Ambas posibilidades eliminan los fallos del sistema y suponen unas salidas del sistema muy similares.

Por otra parte, si se considera el muy alto coste separable del aporte de aguas al área de Albacete, que podría requerir la movilización de recursos del Tajo Medio o Duero para su atención exclusiva, también es razonable plantear un incremento del aporte del Ebro para, en la medida de lo posible, paliar este efecto y permitir el reequilibrio interno minimizando el aporte por el ATS. Tal aporte podría proceder en el futuro incluso de intercambios con los recursos de cabecera del Tajo actualmente empleados en el Tajo-Segura, pero ello exigiría una sustitución segura, con pleno respeto de las asignaciones y régimen económico actual de las aguas trasvasadas. Volveremos sobre este importante asunto más adelante, cuando se estudie el efecto de relajar la restricción legal de explotación con entradas por salidas, impuesta actualmente al embalse de Alarcón.

En definitiva, este primer tanteo muestra que caben diversas opciones para la funcionalidad y requerimientos internos de la cuenca del Júcar en el ámbito de este Plan Nacional, pero todas ellas se caracterizan por unas cuantías similares de aportes externos (del orden de los 250 hm³/año), existiendo cierto margen de maniobra para el reparto de esta cantidad por las dos posibles entradas al sistema (ATS o Ebro). En todo caso, la mayor eficiencia del sistema del Júcar y del propio sistema nacional puede requerir de una redistribución interna que, manteniendo las asignaciones previstas en la planificación hidrológica, permita a la Administración, sin menoscabo de ningún usuario, modificar los orígenes del recurso conforme a la mayor conveniencia de los intereses globales, y sin perjuicio de la adecuada consideración económica que conlleve tal reordenación. Ello es perfectamente posible, tal y como se ha mostrado en el propio Plan Hidrológico de la cuenca del Júcar.

Para comprobar la robustez de los resultados obtenidos frente a modificaciones en el régimen de llegada de los aportes externos, se han reiterado los cálculos anteriores pero en el supuesto más desfavorable de transferencia externa continua por el Ebro no todo el año, sino solo en un periodo de 8 meses, entre octubre y mayo. Ello equivale a suponer que las fuentes de recursos para transferencias no aportarán caudales en verano.

Bajo este supuesto, los resultados obtenidos son los resumidos en las tablas adjuntas.

		Aporte Ebro (hm ³ /año)										
		0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Aporte ATS (hm ³ / año)	0	30	27	21	18	10	4	4	2	2	1	1
	50	25	21	16	4	1	1	1	1	1	1	1
	100	15	14	3	1	1	1	1	1	1	1	1
	150	14	13	3	1	1	1	1	1	1	1	1
	200	14	13	3	1	1	1	1	1	1	1	1
	250	14	13	3	1	1	1	1	1	1	1	1
	300	14	13	3	1	1	1	1	1	1	1	1
	350	14	13	3	1	1	1	1	1	1	1	1
	400	14	12	3	1	1	1	1	1	1	1	1
	450	14	13	3	1	1	1	1	1	1	1	1
	500	14	13	3	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 95. Número de fallos ordinarios del sistema según aportes externos. Transferencia 8 meses

		Aporte Ebro (hm ³ /año)										
		0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Aporte ATS (hm ³ / año)	0	402	414	438	468	503	537	572	611	652	691	734
	50	423	436	461	493	527	563	603	642	686	731	777
	100	448	460	487	518	557	598	641	685	730	775	821
	150	474	489	520	554	597	640	684	729	774	820	866
	200	516	531	561	597	640	684	728	774	819	865	913
	250	559	574	603	639	683	728	773	819	865	913	962
	300	602	617	647	683	728	773	818	864	912	962	1011
	350	646	660	691	728	773	818	864	912	961	1011	1061
	400	689	704	735	773	818	864	912	961	1011	1061	1111
	450	734	750	781	818	864	912	961	1011	1061	1111	1160
	500	780	795	826	864	913	962	1011	1061	1110	1160	1210

Tabla 96. Salidas totales del sistema, según aportes externos. Transferencia 8 meses

Como puede verse, los resultados son análogos a los anteriores, por lo que la transferencia a 8 meses no resulta crítica, y las conclusiones expuestas continúan siendo sustancialmente válidas en este nuevo supuesto. Cabe destacar únicamente la aparición permanente de un único fallo puntual estructural correspondiente a la demanda de Castellón Norte, que no resulta significativo, y que podría, en todo caso, resolverse con alguna pequeña regulación complementaria. La viabilidad de tal regulación se analiza en su correspondiente epígrafe.

Una vez encajadas las cifras básicas, y comprobada la viabilidad inicial del régimen de transferencias a 8 meses, procede realizar un nuevo análisis de mayor detalle introduciendo el tránsito de flujos actuales por el existente canal Tajo-Segura (que supondremos iguales al máximo de 620 hm³ circulantes al año para apurar la capacidad del canal); permitiendo la posibilidad de empleo de Alarcón para la regulación conjunta de todo el sistema -incluyendo al trasvase-, introduciendo un pequeño almacenamiento virtual en Castellón para modular su demanda (que denominaremos Alcalá, aunque puede ser este embalse u otros depósitos propios en las zonas de riego); y empleando una resolución más fina que la de los análisis anteriores. Asimismo, la entrada por el Ebro se supondrá en régimen de 8 meses, que es la más desfavorable. Denominaremos a esta hipótesis como no restringida.

Los resultados obtenidos son los mostrados en las tablas adjuntas de fallos ordinarios y fallos absolutos.

		Aporte desde el Ebro (hm ³ /año)																	
		0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340
Aporte desde el ATS (hm ³ /año)	0	32	32	29	29	21	20	18	18	16	12	10	8	4	3	3	3	3	3
	20	25	25	25	25	20	20	18	14	12	9	3	2	2	2	2	0	0	0
	40	25	25	25	24	17	14	14	12	3	2	2	2	0	0	0	0	0	0
	60	22	22	21	21	16	13	10	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	80	21	21	20	20	14	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	100	18	17	14	14	8	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	120	14	14	13	12	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	140	14	14	13	12	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	160	14	14	13	12	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	180	14	14	13	12	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	200	14	14	13	12	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	220	14	14	13	12	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	240	14	14	13	12	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	260	14	14	13	12	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	280	14	14	13	12	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	300	14	14	13	12	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	320	14	14	13	12	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
340	14	14	13	12	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabla 97. Número de fallos ordinarios del sistema según aportes externos. Situación no restringida

		Aporte desde el Ebro (hm ³ /año)																	
		0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340
Aporte desde el ATS (hm ³ /año)	0	13	13	12	9	6	4	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	20	12	12	10	8	5	4	3	2	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	40	12	11	10	8	4	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	60	11	11	10	8	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	80	11	11	10	7	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	100	9	9	8	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	120	9	9	8	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	140	9	9	8	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	160	9	9	8	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	180	9	9	8	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	200	9	9	8	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	220	9	9	8	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	240	9	9	8	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	260	9	9	8	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	280	9	9	8	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	300	9	9	8	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	320	9	9	8	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
340	9	9	8	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabla 98. Número de fallos absolutos del sistema según aportes externos. Situación no restringida

El examen de la tabla de fallos ordinarios muestra un comportamiento similar al anteriormente estudiado en la hipótesis restringida, con requerimientos mínimos totales del orden de 250 hm³/año, pero con una importante disminución en la

necesidad de aporte por el ATS, que puede ser prácticamente nula (hasta 40 con aporte Ebro de 240, ó 20 con 300). Puede apreciarse también una cierta inelasticidad de comportamiento frente a los mayores aportes desde el Ebro, para cuantías superiores a unos 300 hm³/año, y los del ATS, para cuantías superiores a los 120 hm³/año. El número de fallos muestra claramente que es imprescindible un cierto aporte mínimo por el Ebro, pero no por el ATS.

En efecto, si se analiza la tabla de fallos absolutos, se comprueba mucho más claramente este comportamiento, pues, con una muy reducida aportación por el ATS, los fallos son casi independientes del aporte por el Ebro en un muy amplio rango de caudales (desde 140 hasta al menos 340 hm³/mes). Además, la demanda que presenta fallo absoluto es la de consolidaciones de riegos de Albacete, lo que significa que, si se dispone de un volumen de socorro suficiente para superar las crisis puntuales, podría prácticamente anularse el aporte desde el ATS y concentrar las necesarias transferencias en el aporte desde el Ebro.

Para dilucidar esta situación y fijar unas cuantías de diseño razonables, estudiaremos el supuesto de aporte nulo desde el ATS desde el punto de vista de los volúmenes de socorros anuales requeridos. Así, para cada volumen anual aportado al sistema desde el Ebro, el primer gráfico muestra el índice ponderado de comportamiento del sistema (IPOC), el número de demandas con fallos ordinarios, el número de demandas con fallos absolutos, y la tasa de circulación (relación porcentual entre el aumento de las salidas del sistema y el aumento de sus entradas). El segundo gráfico muestra los volúmenes anuales de socorro (VAS, suma de los socorros requeridos por todas las demandas del sistema) máximo y medio, junto con el número de años en que se requiere este socorro medio.

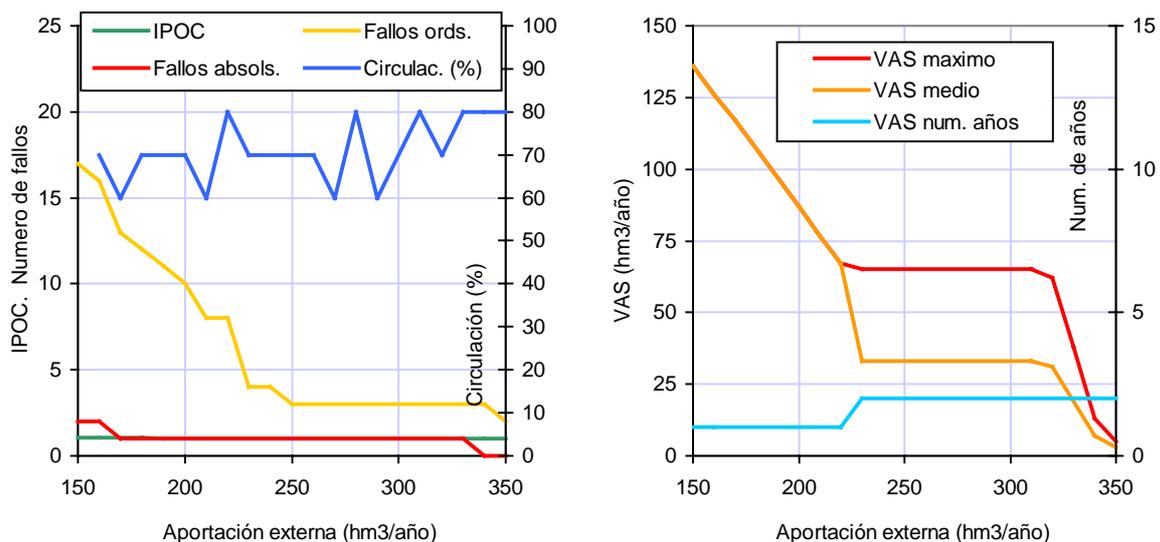


Figura 173. Indicadores de comportamiento según el volumen de aportación externa

Como puede verse, todos los indicadores muestran una situación inicial (aporte Ebro en torno a los 150 hm³/año) inadmisibles, que mejora rápidamente a medida que se va

incrementando esta aportación externa hasta valores asintóticos cerca de los 250 hm³/año, y con un segundo escalón de mejora a partir de los 320. La tasa de circulación es relativamente alta (60-80%), y el índice IPOC siempre muy próximo a 1.

El máximo volumen global suma de todos los socorros necesarios para todas las unidades de demanda del sistema es de unos 70 hm³/año, y el medio anual de unos 30 hm³/año durante 4 años, con independencia de cual sea el aporte desde el Ebro a partir de un mínimo de 230 hm³/año. Como se ha señalado, en torno a los 250 la situación de fallos se estabiliza en 3 fallos ordinarios y 1 absoluto, por lo que cifras mínimas de esta magnitud serían, en principio, las requeridas para esta transferencia. La cuantía de los socorros es perfectamente concordante con los valores obtenidos en el análisis de uso conjunto, por lo que ésta es una situación claramente factible.

Si se considera que la demanda crítica, con fallo residual, es la de consolidación de regadíos en Castilla-La Mancha, estimada en 100 hm³/año a expensas de las modernizaciones de los regadíos tradicionales, es interesante comprobar la sensibilidad del sistema frente a la cuantía que pueda adoptar esta demanda. El valor de asignación de recursos consolidado fijado por el Plan Hidrológico es, como se vió, de 65 hm³/año, siendo el resto el resultado de la futura modernización.

Suponiendo, por tanto, un valor fijo tentativo de aportes desde el Ebro holgado -de 300 hm³/año-, y nulo desde el ATS, la figura adjunta muestra que hasta 80 hm³/año de demanda no hay ningún fallo ordinario ni absoluto del sistema, entre 90 y 130 hay 3 fallos ordinarios y 1 absoluto, y a partir de 140 aparecen 6 fallos ordinarios y 2 absolutos. El volumen máximo de socorro requerido está entre 70 y 80 para demandas entre 100 y 130 hm³/año, y el medio oscila entre 20 y 50, requiriéndose solo 2 años hasta demandas de 110 hm³/año. Puede verse que con el valor actual del Plan de 65 hm³/año, no se presentan problemas en ninguna circunstancia, y existe un apreciable margen de desarrollo.

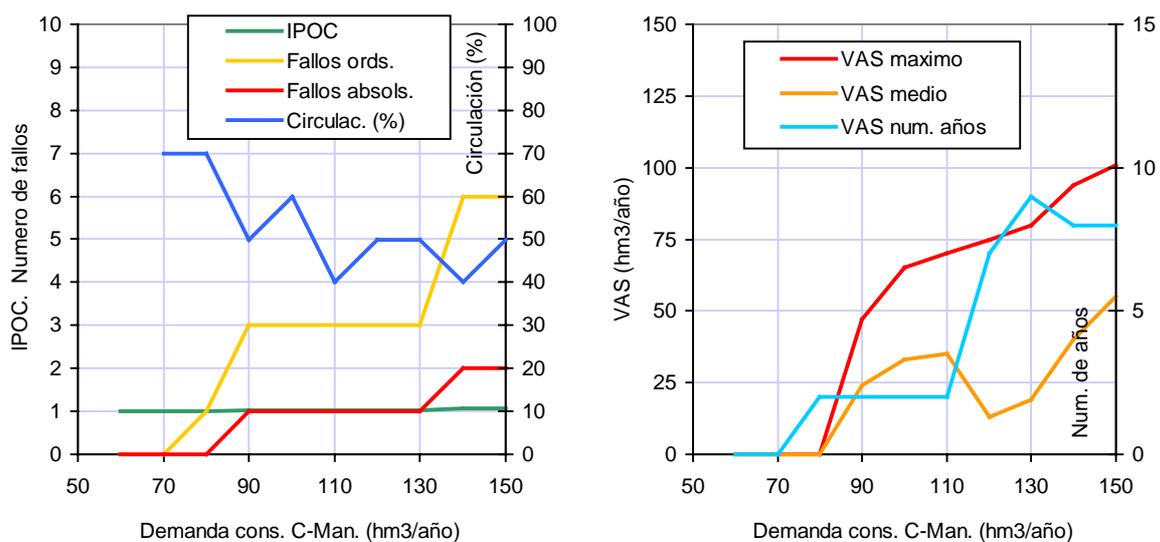


Figura 174. Indicadores de comportamiento según demanda C-M.

En definitiva, considerando estos resultados y la incertidumbre asociada a la modernización de los regadíos tradicionales, los valores de aportes indicados pueden considerarse ajustados aunque perfectamente asumibles.

Si la cuantía final futura de los ahorros y consecuentes requerimientos en La-Mancha así lo requiriese, los aportes externos podrían modificarse ligeramente hasta unos 50-100 hm³/año por el ATS y 250-150 por el Ebro, suprimiéndose así todos los fallos y socorros del sistema. Este régimen podría requerir intercambios de recursos y modificaciones de explotación cuyo análisis de detalle no procede abordar en este Plan Nacional.

Volviendo de nuevo al examen de las tablas de fallos, pero centrando ahora la atención en la otra parte de estas tablas -cuadrante inferior izquierdo, correspondiente a los mayores aportes del ATS-, se observa que, a diferencia de lo que sucede con el aporte desde el Ebro, no es posible anular, ni aún apurando al extremo, el aporte procedente del Ebro, ya que el número de demandas que fallan, tanto de forma ordinaria como absoluta, es siempre muy elevado hasta valores de al menos unos 100 hm³/año. Una combinación factible sería, por ejemplo, la de 120 por el Ebro y 120 por el ATS.

En definitiva, cabe integrar todos los resultados anteriores en un criterio simple y sintético, que sería el de que la suma de aportes externos por Ebro y ATS al ámbito territorial del Júcar ha de ser al menos unos 250 hm³/año, y el mínimo aporte por el Ebro ha de ser al menos 100.

Es importante advertir que este resultado básico se refiere al sistema global completo, en el que se permite la circulación e intercambio de caudales entre subsistemas sin ninguna restricción.

Ello quiere decir que, además de los recursos externos, pueden transferirse recursos internos entre los subsistemas de Castellón Norte y Sur, Mijares, Turia, Júcar y Alicante, lo que constituye un supuesto ciertamente comprometido desde el punto de vista tanto ambiental como jurídico-administrativo. No obstante, el supuesto contrario de subsistemas rígidos completamente aislados tampoco resulta por entero satisfactorio, pues debiera ser admisible un cierto nivel de intercambio en casos de muy altas aportaciones propias, en las que las conducciones de transferencia podrían funcionar como aliviaderos, o incluso, sin necesidad de cesión neta de agua, podría admitirse un empleo conjunto y coordinado de los almacenamientos disponibles, evitando la ineficiencia de tener ociosa una capacidad de embalse que podría ser útil para el sistema.

La opción correcta es, pues, la de mantener básicamente el principio de independencia de subsistemas, pero no de forma rígida, sino permitiendo ciertos intercambios orientados a optimizar la gestión global, sin afecciones ambientales ni perjuicio para usuarios.

Para evaluar este modelo de funcionamiento de extrema independencia, en lugar de analizar el sistema global no restringido -como se ha hecho hasta ahora-, se estudiarán por separado los subsistemas que lo integran, y que son claramente separables dada la morfología de este ámbito territorial, con distintos ríos principales independientes. Los

subsistemas considerados son Castellón (que incluye Norte, Sur y cuenca del Mijares), río Turia, río Júcar, y Alicante (que incluye el Vinalopó, Alacantí y Marinas).

Para el análisis se ha supuesto un aporte externo por el Ebro a 8 meses individualizado en cada caso, y se ha observado la evolución de los principales indicadores de comportamiento (fallos y volumen anual de socorro máximo) según fuese la cuantía de este aporte. Los resultados que se obtienen son los mostrados en los gráficos adjuntos, en los que las escalas verticales son iguales en todos los casos para permitir comparaciones visuales, y se ha limitado a 100 hm³/año el socorro por ser esta la cantidad indicativa máxima obtenida en los análisis previos.

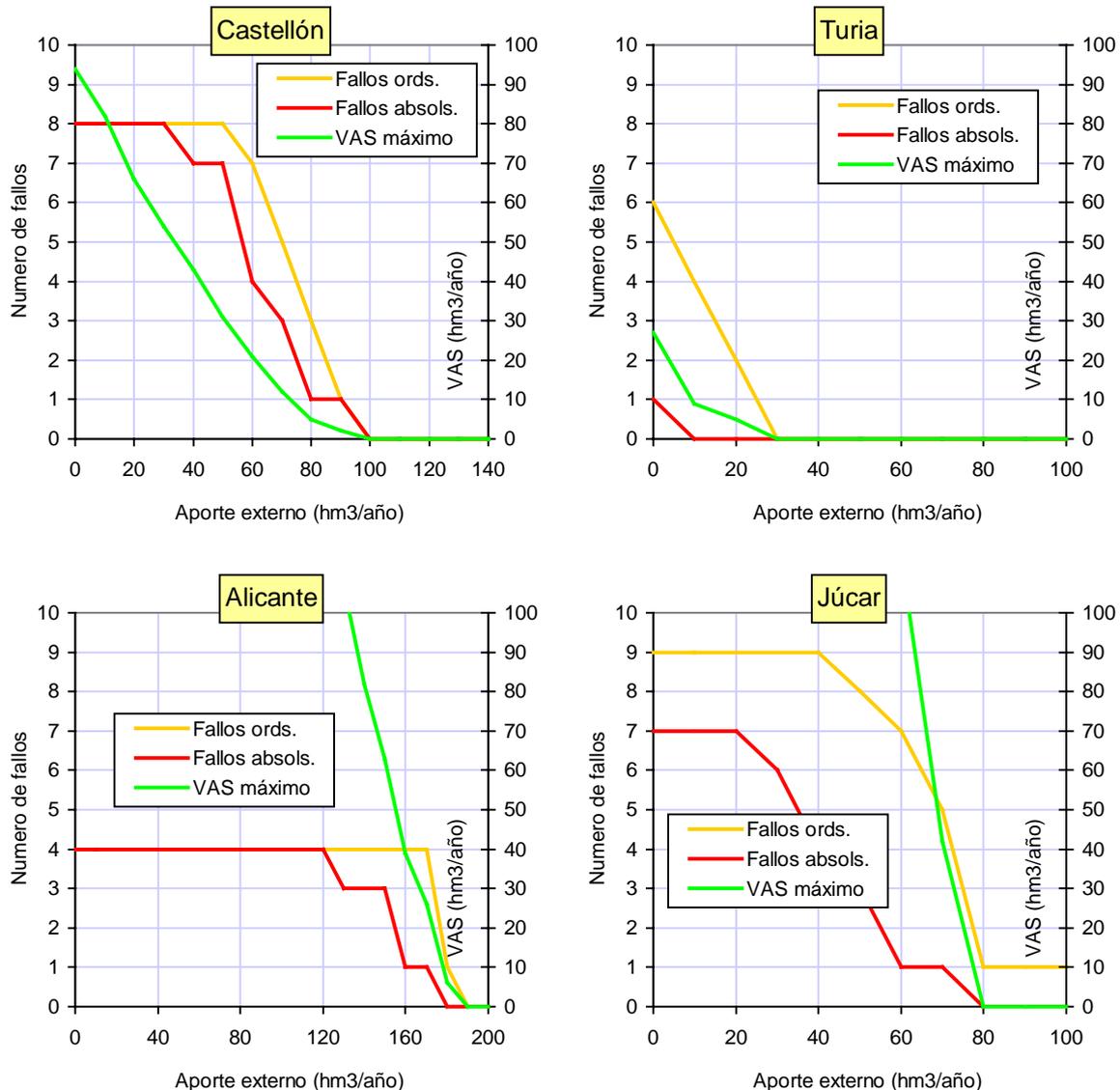


Figura 175. Indicadores de comportamiento para los subsistemas aislados con entradas desde el Ebro

Esta hipótesis de subsistemas independientes es claramente representativa de una cota máxima de los aportes externos requeridos, tanto por lo estricto de la completa prohibición de intercambios de sobrantes, como por la completa independencia de regulación.

Como se observa, la completa eliminación de déficit con aportes por el Ebro, en esta hipótesis extrema, requeriría hasta 400 hm³/año (100+30+190+80) de transferencia si se pretende la anulación de todo fallo y socorro, y hasta 300 hm³/año (80+0+160+60) si, de forma más ajustada, se considera admisible a lo sumo 1 fallo absoluto siempre y cuando los socorros máximos no superen los 100 hm³/año considerados disponibles.

Debe recordarse que el análisis conjunto no restringido arrojaba valores de unos 250 hm³/año de transferencia, por lo que, contrastando todas las cifras de los distintos supuestos manejados, parece razonable admitir el resultado de 300 hm³/año entrantes desde el Ebro y nulos desde el ATS como una estimación muy robusta y encajada.

Considerando ahora las posibilidades de la otra posible entrada al ámbito del Júcar, desde el ATS, los resultados ofrecidos para los subsistemas pueden aplicarse en este caso considerando que, por razones topológicas, Castellón y Turia han de atenderse obligadamente desde la conducción del Ebro, mientras que Júcar y Alicante podrían atenderse completamente desde el ATS. Ello supone que todos los resultados son idénticos a los anteriores excepto en el caso del subsistema Júcar, que es el único que admite las dos posibles entradas. Anulando la posibilidad del Ebro, los resultados obtenidos para la entrada ATS son los mostrados en la figura.

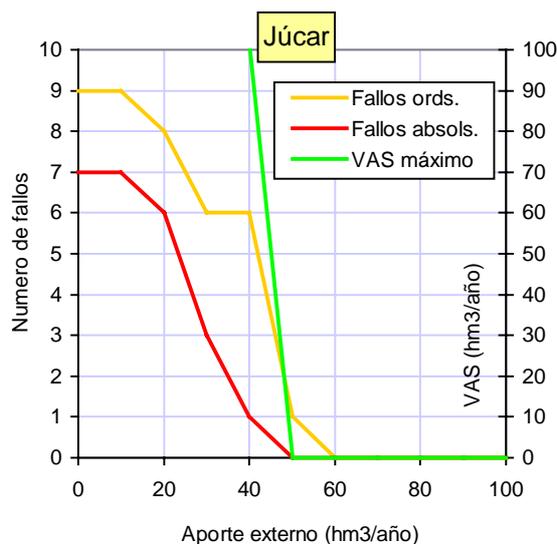


Figura 176. Indicadores de comportamiento para el subsistema Júcar con entradas exclusivas desde el ATS

Como puede verse, aportes requeridos son más favorables (menores) que en el caso anterior, lo que resulta lógico considerando la posición dominante de Alarcón sobre Tous. El aporte mínimo requerido oscila entre 60 ó 40 hm³/año según el criterio que se escoja.

Con ello, las entradas totales por el Ebro serían de 130 ú 80 hm³/año según se adopte uno u otro supuesto de los anteriormente enunciados, y de 240 ó 200 por el ATS también según el criterio adoptado.

Recordando los resultados del análisis conjunto no restringido (250 totales con un mínimo de 100 desde el Ebro), y ponderando los resultados de los distintos supuestos,

cabe proponer finalmente el criterio ajustado y robusto de al menos 80 hm³/año entrantes por el Ebro, y 220 por el ATS.

Cuanto hasta aquí se ha expuesto, lo ha sido bajo la hipótesis de un aporte externo fijo anual, cual si de una aportación fluvial constante se tratase. Un paso más en el análisis es el de considerar que no hay un suministro anual permanente, sino que se permite al sistema tomar del exterior lo que necesite en cada momento para satisfacer sus demandas, sin limitación alguna más que la prohibición de captar agua en el periodo estival, de junio a septiembre. Los resultados obtenidos bajo este supuesto son los mostrados en la figura.

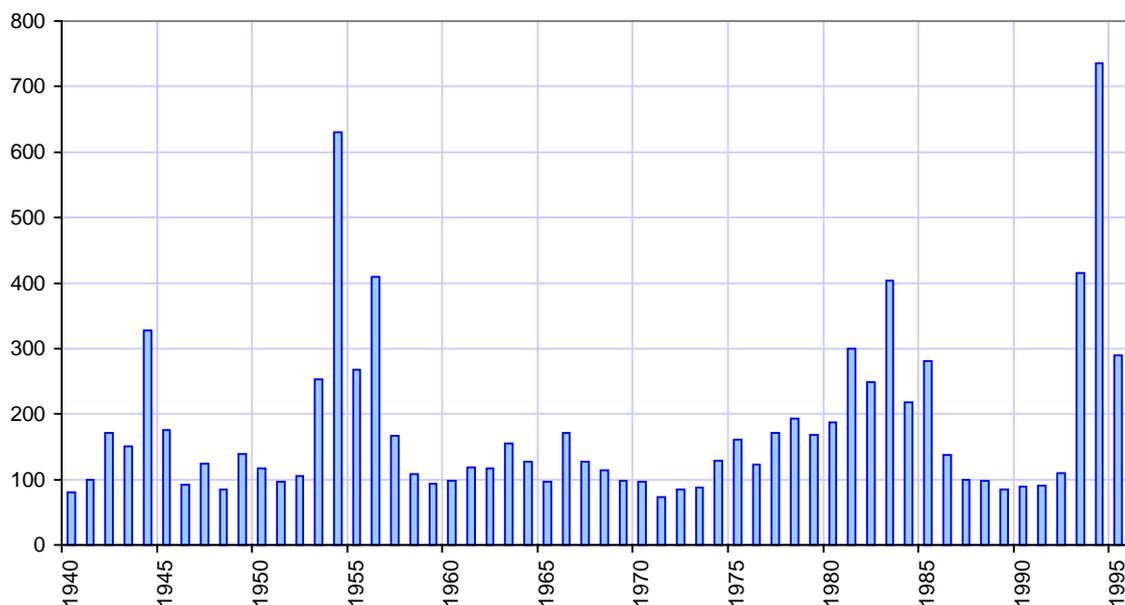


Figura 177. Volúmenes anuales tomados por el sistema en situación de no limitación

Como se observa, la mayoría de los años se captarían volúmenes inferiores a los 200 hm³, y no hay ningún año de todo el periodo en que no se requiera captar mínimos del orden de los 100 hm³/año. La media global es próxima a los 200 hm³/año, y ocasionalmente se pueden requerir cantidades superiores a los 400 hm³/año para suplir crisis de servicio a las que se llega sin reservas.

Ello muestra la necesidad de recibir un aporte externo permanente y moderado, que lamine tales crisis, y, junto con esta componente de fondo, otros aportes más irregulares, y que llegan a alcanzar valores muy altos, controlados por las rachas secas de aportaciones en la propia cuenca.

Resulta interesante comparar estos resultados con los obtenidos realizando el mismo análisis para el Segura y para las Cuencas Internas de Cataluña: ambos casos ilustran patrones de comportamiento extremos, entre los que se sitúa claramente el régimen del Júcar.

9.3.2. ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS

Una vez realizados los análisis básicos del sistema, y evaluada la necesidad de aportes externos, procede realizar otros análisis, complementarios de los anteriores, con objeto de estudiar la sensibilidad y el impacto sobre estos aportes de efectos como los posibles ahorros de suministro y el cambio climático. Otras posibilidades de intensificación de disponibilidades propias como la reutilización o el uso conjunto ya han sido introducidas en los anteriores análisis básicos.

Las posibles disminuciones de las necesidades hídricas de la cuenca como consecuencia de programas de gestión de la demanda y ahorros por mejoras y modernizaciones en las infraestructuras de suministro, tanto de los abastecimientos urbanos como de los regadíos, pueden suponer, en efecto, una disminución de las necesidades de aportes externos cuya cuantía debe ser evaluada. Asimismo, y en sentido contrario, la posible disminución de aportaciones naturales como consecuencia del cambio climático podría tener un efecto intensificador de estas necesidades externas.

La resultante de estos efectos contrapuestos es incierta, pero puede ser calculada estimativamente, debiendo interpretarse estas evaluaciones como un análisis de sensibilidad y de robustez de los resultados básicos obtenidos.

A tales análisis de sensibilidad se dedican los epígrafes siguientes.

9.3.2.1. POSIBILIDADES DE AHORRO EN ABASTECIMIENTOS URBANOS

Atendiendo a a las posibilidades de reducción de la demanda por medidas de gestión y ahorro en los abastecimientos urbanos, cabe indicar que, como se mostró en el Libro Blanco, en los últimos años se ha observado un descenso global de las dotaciones medias empleadas en el país, tal y como se muestra en la tabla adjunta, en la que se incluyen también las pérdidas medias.

Año	Dotación media (l/hab/día)	Agua no registrada (%)
1987	309	30
1990	313	32
1992	302	29
1994	265	28
1996	289	29

Tabla 99. Evolución reciente de la dotación de abastecimientos y volúmenes no registrados medios en España

En el descenso de la dotación de los años 1992 y 1994 debe tenerse en cuenta la presencia de una fuerte sequía, con su correspondiente moderación de la demanda, y las medidas de ahorro y de reducción de fugas llevadas a cabo en un buen número de poblaciones. En 1996 la dotación se recupera, pero a niveles más contenidos que los del comienzo de la década, permaneciendo el buen efecto de moderación de consumos inducido por la sequía. Como se observa, un valor encajado de la máxima reducción es del orden del 8%.

En lo que se refiere a pérdidas y agua no controlada, una parte del agua distribuida no es registrada por las entidades suministradoras. Estos volúmenes suelen corresponder

a la limpieza de calles y riego de jardines, errores de medición y pérdidas, tanto en tratamiento como en distribución. El valor medio de estas cantidades no registradas oscila entre un 34% en el caso de las grandes áreas metropolitanas y un 24% en las poblaciones inferiores a 20.000 habitantes. Las cuantías observadas oscilan entre poco más de un 10 y algún caso excepcional que alcanza el 50%. En las poblaciones superiores a 20.000 habitantes la evolución temporal de este valor medio se sitúa relativamente estable, en torno al 30%, según se muestra en la tabla. En poblaciones inferiores a 20.000 hab., el porcentaje es algo mayor (en torno al 31% en 1996).

Sin duda, una de las fuentes más importantes de posibles ahorros es la reducción de las pérdidas que se producen en las redes, fundamentalmente en las más antiguas. Existe, sin embargo, un límite técnico y económico para las pérdidas, que algunos especialistas sitúan entre el 10 y el 15%. Alcanzar estos límites requiere disponer de sofisticados sistemas automáticos de control que permitan conocer en tiempo real el estado de la red, y detectar los posibles incidentes para poder actuar con la necesaria rapidez.

Contrastando estos mínimos técnico-económicos con el ahorro máximo registrado en sequía, y con los valores medios actuales del país, se concluye que puede haber un margen máximo de maniobra en torno al 10-15%, siendo esta cifra, en consecuencia, una estimación encajada del ahorro medio máximo teórico que puede conseguirse en los abastecimientos urbanos. En circunstancias especiales, y desarrollando complejos y exhaustivos programas integrados de gestión de la demanda urbana, como el planificado de forma experimental en Alicante (modificaciones tarifarias, nuevos modelos de contratación, programas de mejoras de eficiencias en los distintos usos específicos, reutilización de residuales por el propio abastecimiento, uso de recursos alternativos no potables, campañas de información, etc.), los ahorros máximos teóricos alcanzables son del orden del 25% (MIMAM, 1996). Una estimación más verosímil situaría estas cuantías en un 12%, lo que constituye una cifra ciertamente elevada considerando que las posibilidades de ahorro por mejora de la gestión de la red están prácticamente agotadas.

En el caso concreto de la cuenca del Júcar, recientes estudios (MOPTMA, 1995) han mostrado la posibilidad de desarrollar actuaciones de mejora y modernización de las redes urbanas en 52 municipios. Estas actuaciones sobre las redes, junto con una cierta moderación de consumos por los usuarios, pueden permitir alcanzar un ahorro total real del orden del 6%, inferior a la horquilla media para el país dada anteriormente.

En cualquier caso, y sea cual sea la cifra de ahorro finalmente alcanzable, para evaluar su impacto en la cuenca del Júcar, y analizar su incidencia sobre la necesidad de recursos externos, se ha estudiado la sensibilidad de comportamiento del sistema global frente a distintas variaciones globales de todas sus demandas de abastecimiento, obteniéndose los resultados ofrecidos en los gráficos. En ellos se muestran familias de curvas con el número de fallos ordinarios, número de fallos absolutos, volumen medio anual de socorro (hm^3) y número de años requeridos, volumen máximo total anual de socorro (hm^3), y salidas medias anuales del sistema (hm^3), en función del aporte externo recibido (entre 150 y 300 $\text{hm}^3/\text{año}$), y con una curva para cada nivel de ahorro medio en las demandas de abastecimiento (6 curvas, del 80 al 105% del requerimiento previsto).

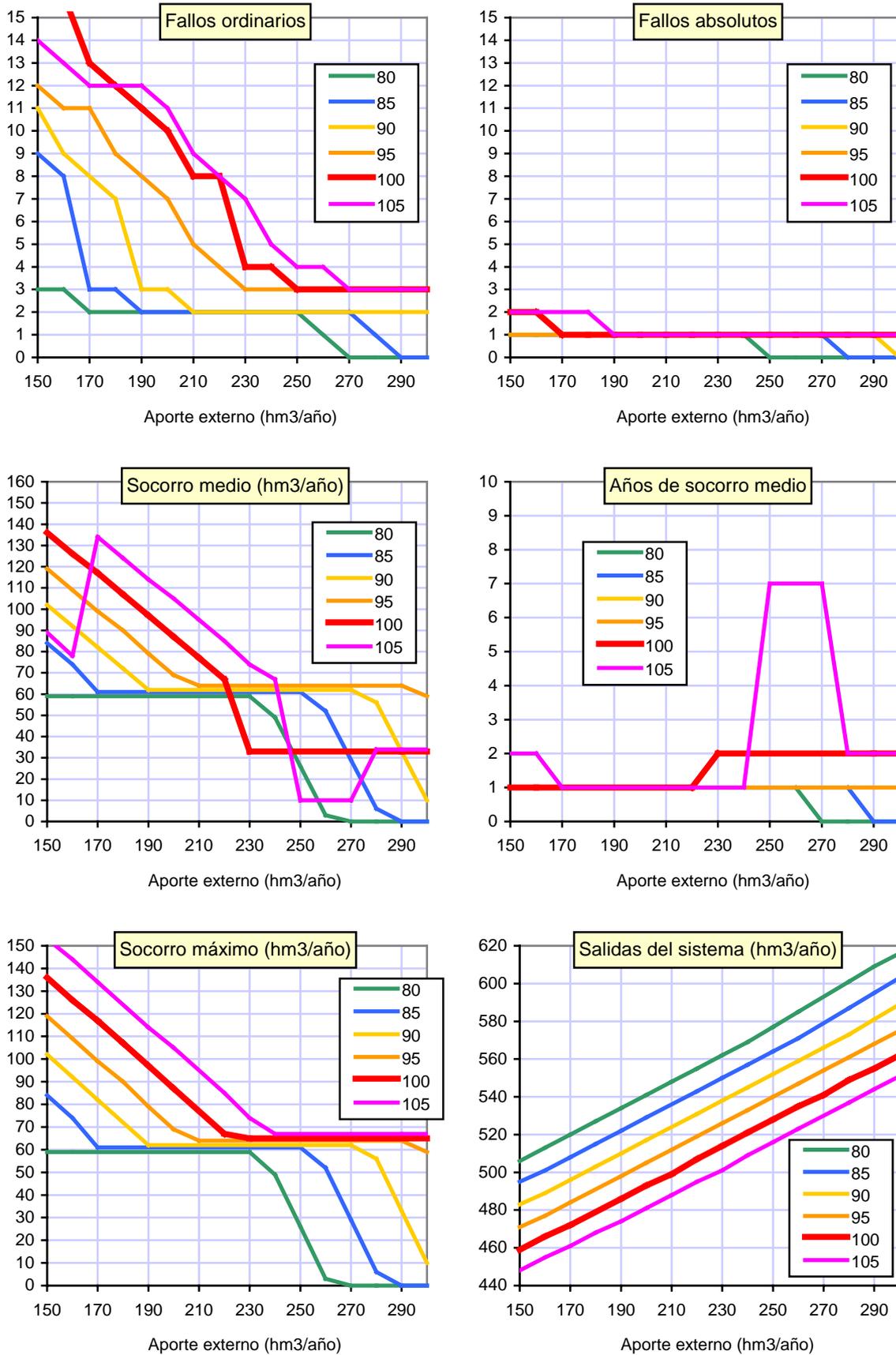


Figura 178. Indicadores de comportamiento según ahorros en los abastecimientos urbanos

Como se observa, el número de fallos ordinarios se reduce para ahorros del 10-15% (máximos previsible), pero no llega a anularse en ningún caso hasta alcanzar los 290 hm³/año de aporte para el 15%, y ni siquiera con los 300 previstos para ahorros del 10%. Con ahorros del 6% la situación es idéntica a la nominal a partir de 250 hm³/año trasvasados. La figura de fallos absolutos revela la persistencia de un fallo para trasvases de hasta 280 ó 300 según se considere el 15 ó el 10% de ahorro respectivamente, y un comportamiento idéntico al nominal para ahorros del 6%.

Por otra parte, si se inspecciona el gráfico de volúmenes máximos de socorro anual, se observa que trasvases inferiores a 250 hm³/año generan la necesidad de socorros de al menos 60 hm³/año, que pueden llegar a superar los 100 hm³/año máximos admisibles si las transferencias son inferiores a 170 hm³/año, y ello aún cuando se consiguiesen objetivos de ahorros del 15%. Si el ahorro conseguido es del 6%, no hay diferencia práctica con la situación nominal. Además, los socorros medios son similares a los máximos, ya que los fallos suelen darse solo un año.

Finalmente, las salidas medias del sistema muestran un comportamiento muy regular, con tasas de circulación similares y sin efectos de quiebra para los distintos niveles de ahorro.

Puede concluirse, en definitiva, la imposibilidad no ya de suprimir las transferencias, sino ni siquiera de eliminar plenamente los fallos residuales de suministro y suprimir socorros, aunque se desarrollase un exhaustivo plan de ahorro y mejora de redes urbanas con objetivos globales medios de reducción del 15% en todas las demandas de abastecimiento de la cuenca del Júcar.

Si los ahorros alcanzables son del 6% -cifra más próxima a la realidad de la cuenca del Júcar-, la situación es prácticamente indistinguible de la nominal tanto desde el punto de vista de los fallos de demandas como de los volúmenes de socorro necesarios, y, en consecuencia, sigue requiriéndose un aporte externo de similar cuantía que en esta hipótesis.

9.3.2.2. POSIBILIDADES DE AHORRO EN REGADÍOS

Los ahorros de agua como consecuencia de las actuaciones de mejora y modernización de los regadíos son una de las fuentes potenciales más importantes para disminuir la demanda hídrica y, en consecuencia, los posibles aportes externos requeridos.

En el marco del Plan Nacional de Regadíos (MAPA, 1998) se han llevado a cabo algunos estudios básicos orientados a la caracterización de los regadíos existentes, y a la evaluación de estas posibilidades de ahorro en distintas áreas de riego. Sus análisis se centran fuera de las conducciones principales, y se diferencia entre consolidación (eliminación de la infradotación actual) y mejora (ahorros en regadíos bien dotados o sobredotados).

Tales estudios resultan de interés para este Plan Hidrológico Nacional, en el que, puesto que ya se ha considerado la eliminación de la sobreexplotación como objetivo básico, y se han computado las correspondientes necesidades en la definición del

sistema, queda por indagar el posible efecto de ahorros como consecuencia de la mejora de los regadíos existentes con dotaciones suficientes o abundantes, a los que se aplican mejoras de eficiencia o sistemas de riego susceptibles de traducirse en menores suministros de agua.

Según los estudios de tipificación de regadíos del PNR, la superficie de actuación de mejora supera el millón de hectáreas, y podría generar un ahorro global de agua de 1876 hm³/año de los que 261 corresponderían a la cuenca del Júcar. Ello supone del orden de un 11% del total demandado en la cuenca con destino a regadíos, por lo que esta es una primera estimación de los niveles alcanzables por este concepto.

Ha de tenerse presente, en todo caso, que para ofrecer estas cifras el Plan Nacional de Regadíos considera las áreas de riego de forma aislada, y suma los totales obtenibles en las distintas áreas. Ello es lógico considerando los objetivos de este Plan, pero puede introducir alguna distorsión a nuestros efectos teniendo en cuenta el carácter no acumulativo de los sistemas hídricos, en los que hay situaciones de reuso de retornos que pueden alterar apreciablemente estas cifras. No obstante, se considera que este 11% es un primer orden de magnitud adecuado para nuestro análisis.

Por otra parte, se dispone de otros trabajos previos (MOPTMA, 1995) en los que se ha realizado también una estimación del ahorro alcanzable en los regadíos tanto por mejora de las infraestructuras principales de conducción, como de las aplicaciones en parcela. En el caso del Júcar, estos estudios muestran una cuantía total de ahorro efectivo, por suma de ambos conceptos, de 273 hm³/año, lo que supone del orden del 12% de la demanda, cifra perfectamente encajada con la del Plan de Regadíos aunque los conceptos manejados no son plenamente coincidentes (ahorro suma de áreas en un caso, ahorro efectivo en otro, no conducciones primarias en un caso, actuaciones completas en el otro).

Con estos órdenes de magnitud presentes, se ha evaluado el efecto que tendría sobre las transferencias de recursos la puesta en marcha de todas las actuaciones de modernización previstas, para lo que se ha estudiado la sensibilidad de comportamiento del sistema global frente a distintas variaciones de todas sus demandas de regadío, obteniéndose los resultados ofrecidos en los gráficos. En ellos se muestran, como antes con los abastecimientos, familias de curvas con el número de fallos ordinarios, número de fallos absolutos, volumen medio anual de socorro (hm³) y número de años requeridos, volumen máximo total anual de socorro (hm³), y salidas medias anuales del sistema (hm³), en función del aporte externo recibido (entre 150 y 300 hm³/año), y con una curva para cada nivel de ahorro medio previsto en las demandas de regadío (6 curvas, del 80 al 105% del requerimiento previsto).

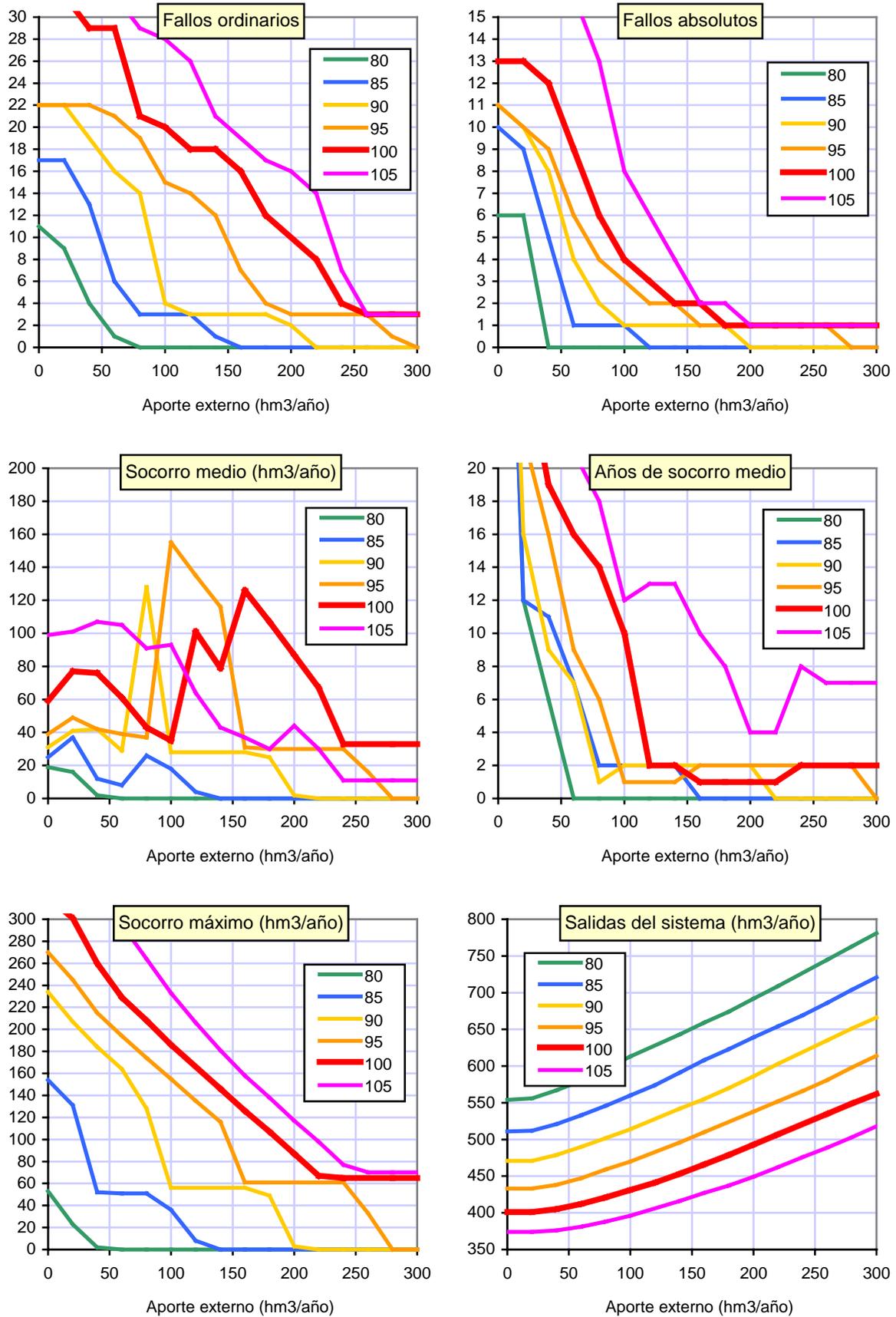


Figura 179. Indicadores de comportamiento según ahorros en los regadíos

Como se observa, el número de fallos ordinarios se reduce apreciablemente para ahorros del orden del 10%, pero no llega a anularse hasta alcanzar los 220 hm³/año de aporte. Si el aporte externo es nulo, fallarían 22 demandas de las 34 consideradas. La figura de fallos absolutos revela la persistencia de un fallo para trasvases de hasta 180 hm³/año con el 10% de ahorro. La reducción sensible de los fallos absolutos requiere aportes externos mínimos de 100 hm³/año, y un aporte nulo implica fallos absolutos de 11 demandas del sistema.

Por otra parte, si se inspecciona el gráfico de volúmenes máximos de socorro anual se observa que trasvases inferiores a 180 hm³/año generan la necesidad de socorros de al menos 60 hm³/año, que pueden llegar a superar los 100 hm³/año máximos admisibles si las transferencias son inferiores a 90 hm³/año, y ello aún cuando se consiguiesen los objetivos de ahorro del 10%. Además, el examen de los socorros medios muestra valores muy sostenidos en torno a los 40-100 hm³/año durante uno o dos años, según el nivel de ahorro alcanzado. Con el 10%, se requieren 200 hm³/año de aporte externo para suprimir el socorro. Es interesante observar el fuerte agravamiento de una situación de incremento del 5% en los actuales requerimientos para regadío.

Finalmente, las salidas medias del sistema muestran un comportamiento muy regular, con tasas de circulación similares y sin efectos de quiebra para los distintos niveles de ahorro. Los suaves cambios de curvatura revelan tasas de circulación progresivamente moderadas a medida que aumenta el aporte externo.

Puede concluirse, en definitiva, que el desarrollo de todas las medidas de mejora y modernización previstas en el Plan Nacional de Regadíos y otros estudios previos, que harían posible un ahorro máximo de recursos para riego en el ámbito del Júcar del orden del 10-12%, pueden reducir la necesidad de aportes externos en alguna medida, pero no alcanzan no ya a suprimirla, sino a rebajarla a niveles inferiores a los 100 hm³/año.

Debe tenerse presente, además, que, tal y como sucede en la cuenca del Segura, las dotaciones empleadas en el Plan de cuenca han sido evaluadas con criterios ajustados. Ello hace que estas cifras de aporte mínimo deban contemplarse con la necesaria cautela, pues pueden encubrir duplicidades que reduzcan ficticiamente las verdaderas necesidades de los aportes externos.

9.3.2.3. EFECTOS DEL POSIBLE CAMBIO CLIMÁTICO

Además de las posibilidades de ahorro y gestión de la demanda, es interesante comprobar la sensibilidad del sistema frente a posibles efectos de cambio climático. Tales efectos sobre los sistemas hidráulicos han sido analizados en el Libro Blanco del Agua, cuya conclusión al respecto puede resumirse en que no procede modificar las demandas hídricas previstas, pero sí cabe reducir las aportaciones en cuantías que son inciertas, pero que pueden tentativamente cifrarse, a efectos de diseño, en un 5% medio global al segundo horizonte del Plan (la horquilla correspondiente al Júcar está en el 6-12% de disminución de aportaciones). Asimismo, se prevé también un aumento de irregularidad de las aportaciones, cuya cuantificación se ignora.

Con objeto de tener una idea del impacto que este fenómeno podría tener sobre el funcionamiento del sistema y su necesidad de aportes externos, se ha estudiado el supuesto de programas de ahorro en abastecimientos y regadíos hasta los niveles globales antes indicados, del 6% y el 12% respectivamente, junto con una reducción de aportaciones por cambio climático, de cuantía variable. Se excluye de esta reducción global la actual aportación del ATS destinada al Segura, que se limita a circular por el sistema Júcar sin servir sus demandas propias. Para conseguir tal efecto de mera circulación, esa aportación se igualará a la demanda externa que atiende.

Nótese que, a diferencia de otras aproximaciones anteriores, que estudian de forma simple los efectos de la regulación sobre almacenamientos aislados, y con disminuciones de recursos fijas y predeterminadas, el análisis aquí ofrecido introduce la disminución de aportaciones de forma rigurosa, considerando en toda su complejidad el funcionamiento del sistema hidráulico completo, y no se limita a algún escenario específico, sino a toda la gama de posibilidades, de forma continua.

Los resultados obtenidos, según el nivel de reducción de aportaciones considerado, son los mostrados en la figura adjunta.

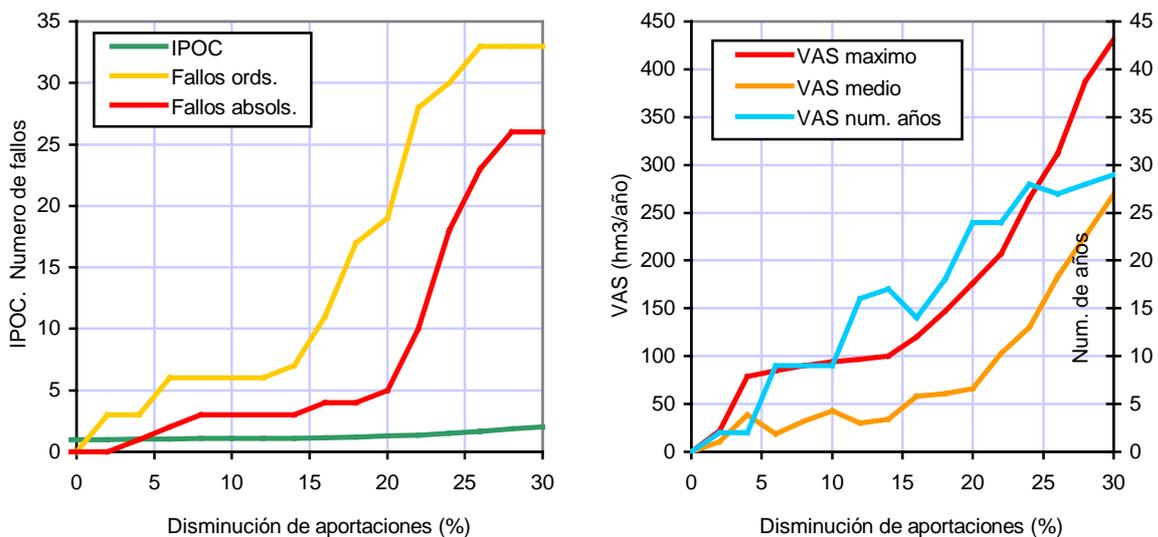


Figura 180. Sensibilidad del sistema frente a efectos de cambio climático

Como puede verse, si las aportaciones disminuyesen entre un 6 y un 12% como consecuencia del cambio climático, los posibles ahorros totales, tanto de abastecimientos urbano-industriales como por modernizaciones y mejoras de regadío, no podrían llegar a compensar tal merma de recursos, y el sistema comenzaría a presentar fallos y a requerir socorros. Con el criterio de diseño global del 5%, todos los ahorros previstos no pueden compensar la disminución de aportaciones, y el sistema presentaría 5 fallos ordinarios y 2 absolutos, requiriendo socorros máximos próximos a los 100 hm³/año, y socorros medios de unos 20 hm³/año durante 10 años de la serie. Este funcionamiento no resulta muy estricto, por lo que sería necesario reducir las demandas o aumentar las transferencias externas.

El sistema del Júcar es, pues, sensible a posibles disminuciones de aportaciones por el cambio climático, lo que subraya la necesidad de desarrollar todas las posibilidades de ahorro e incremento de las disponibilidades propias existentes, y recibir un aporte externo de un orden de magnitud al menos similar al obtenido en los análisis básicos.

9.3.3. CONCLUSIONES

Considerando cuanto se ha expuesto en epígrafes previos, puede concluirse que, a los efectos de este Plan Hidrológico Nacional, el ámbito de la cuenca del Júcar puede suponerse, de forma conceptual y simplificada, como un sistema agregado en el que los aportes externos pueden entrar, sin perjuicio de su origen, por la conducción del ATS o por una conducción desde el bajo Ebro, en cuantía total de 300 hm³/año.

Para el cálculo de esta cifra se han considerado las posibilidades de reutilización existentes, y la intensificación del uso de aguas subterráneas del sistema. Asimismo, se ha comprobado que la aplicación intensiva de medidas de ahorro y modernización, tanto de las redes de abastecimiento urbano como de regadíos, no alcanza a eliminar la necesidad de aporte externo, aunque puede reducirla moderadamente. La decisión final sobre el nivel relativo de uno u otro tipo de actuación ha de venir dado por las condiciones económicas y ambientales de las distintas alternativas existentes. En sentido contrario al de los ahorros opera una hipotética disminución de aportaciones propias como consecuencia del cambio climático. La resultante sobre los aportes externos de ambos efectos contrapuestos sugiere mantener las cuantías obtenidas en niveles similares a los obtenidos en los análisis anteriores.

La incorporación de los aportes externos al sistema puede concebirse como realizada en varias áreas virtuales de entrega, o macrounidades de demanda, que denominamos como Castellón Norte, Mijares-Castellón, Castellón Sur (que integran el subsistema de Castellón), Turia, Villena (topónimo de la toma con el que designamos al subsistema de Alicante), Tous (topónimo que designa a la parte del subsistema Júcar dominada desde el Ebro) y La Roda (topónimo de toma que designa al área de Albacete y parte del subsistema Júcar no dominada por el Ebro), tal y como se muestra en el esquema adjunto.

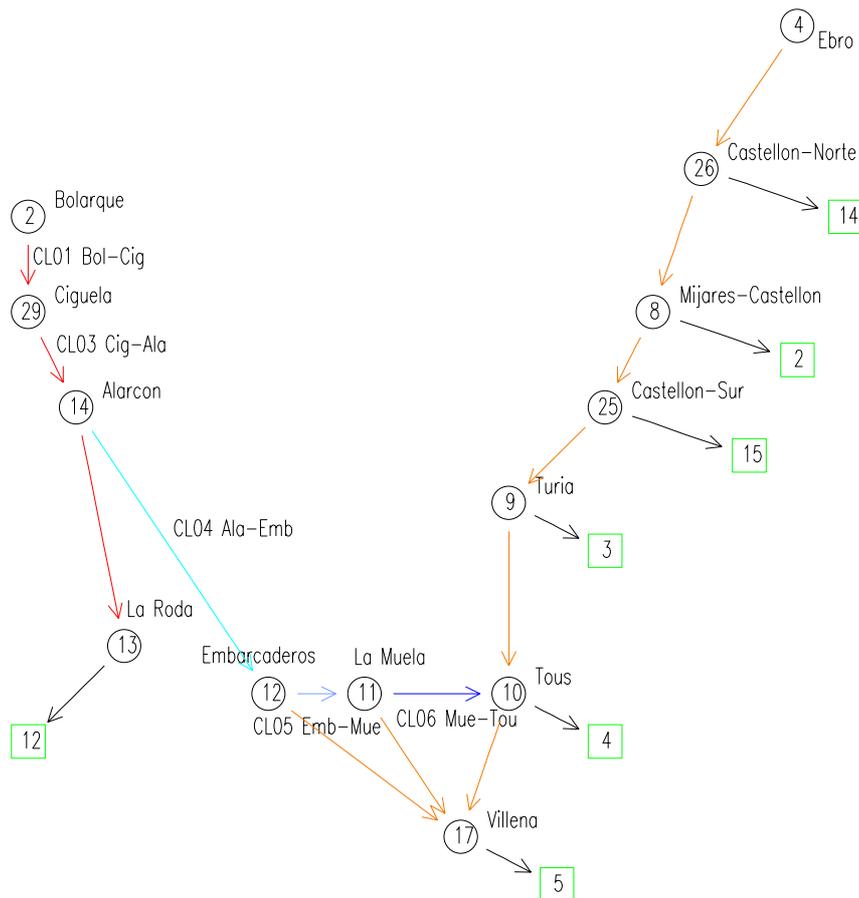


Figura 181. Puntos de entrega de aportes externos y esquema de circulación general en el ámbito del Júcar

Los análisis realizados permiten asimismo evaluar las entregas necesarias en cada macrounidad de demanda, debiendo encontrarse en la horquilla definida por el máximo aporte desde el ATS y el máximo aporte desde el Ebro. Estas dos hipótesis extremas, que acotan el espacio factible de aportes externos al sistema, dan lugar a las cantidades mostradas en la tabla siguiente, y que son las pertinentes a efectos de la optimización global de transferencias de la planificación nacional.

Unidad	Hipótesis de Aporte max. por ATS ($\text{hm}^3/\text{año}$)	Hipótesis de aporte max. por Ebro ($\text{hm}^3/\text{año}$)
Castellón Norte	20	20
Mijares-Castellón	40	40
Castellón Sur	20	20
Turia	0	0
Tous	0	60
Villena	160	160
La Roda	60	0
Total:	300	300

Tabla 100 . Demandas agregadas

A su vez, el sistema del Júcar es de tránsito hacia el Segura y Sur, con posibles aportes por los dos mismos ejes antedichos del ATS y el Ebro. Bajo esta consideración, se limitaría a proporcionar la función de transporte hacia estas cuencas, sin perjuicio de alguna posible modulación de los caudales de tránsito.

10. CUENCAS INTERNAS DE CATALUÑA

10.1. INTRODUCCIÓN

Los análisis realizados en el Libro Blanco del Agua en España muestran a las Cuencas Internas de Cataluña como un territorio en el que hay sistemas de explotación en situación de escasez coyuntural. En este Libro se apunta asimismo que para superar tal riesgo de escasez, los sistemas afectados deben ser estudiados respecto a la posibilidad de reequilibrios internos en el ámbito de su Plan Hidrológico, o a la necesidad de aporte de recursos procedentes del exterior. En consecuencia, las Cuencas Internas de Cataluña, de carácter intracomunitario, deben ser consideradas en el estudio de las posibles transferencias externas a dilucidar por este Plan Hidrológico Nacional, siendo tal estudio el que se desarrolla en las páginas que siguen.

La referencia inicial básica para nuestro estudio es el vigente Plan Hidrológico de las Cuencas Internas de Cataluña, complementado con otros documentos posteriores que actualizan o precisan algunas determinaciones del Plan, tal y como se irá indicando en cada caso.

Este Plan Hidrológico identifica en su ámbito territorial un conjunto de cuatro sistemas de explotación de recursos denominados Norte, Centro, Sur y Baix Ebro-Montsià. A efectos de su análisis para la planificación hidrológica nacional, estos sistemas de explotación se han simplificado y agregado en un sistema único, que permite su estudio con la resolución adecuada a esta escala de planificación, y su armonización técnica con el resto de los sistemas estudiados en el presente Plan Nacional. Junto a ello, y con el objetivo de incorporar el periodo de datos más reciente, se ha procedido a la actualización de series hidrológicas, así como a estudiar distintas posibilidades de gestión de la demanda e incremento de las disponibilidades propias y trasvasadas, tal y como se verá en los correspondientes epígrafes.

Tras la descripción de los distintos elementos que integran el sistema, y la previsión de su situación en el futuro, se procederá a su análisis desde el punto de vista de la necesidad y cuantía de posibles transferencias externas, que es el pertinente a los efectos de este Plan Hidrológico Nacional.

10.2. ELEMENTOS DEL SISTEMA

En síntesis, los elementos y magnitudes fundamentales del sistema de explotación único agregado, definido para todo el ámbito del Plan Hidrológico de las Cuencas Internas de Cataluña, son los que se describen seguidamente.

10.2.1. APORTACIONES

Los criterios para el establecimiento y ubicación de las aportaciones hídricas consideradas son similares a los del resto de sistemas analizados en este Plan Hidrológico, y dan lugar a un conjunto de puntos básicamente coincidente con el empleado en el modelo de ATLL (1996b). Asimismo, y como en el resto de sistemas analizados, las nuevas series de aportaciones mensuales se han extendido hasta el año hidrológico 1995/96 mediante el modelo de evaluación de recursos desarrollado para el Libro Blanco del Agua en España.

En la figura siguiente se pueden observar los puntos de incorporación al sistema de las series mensuales de aportaciones consideradas.

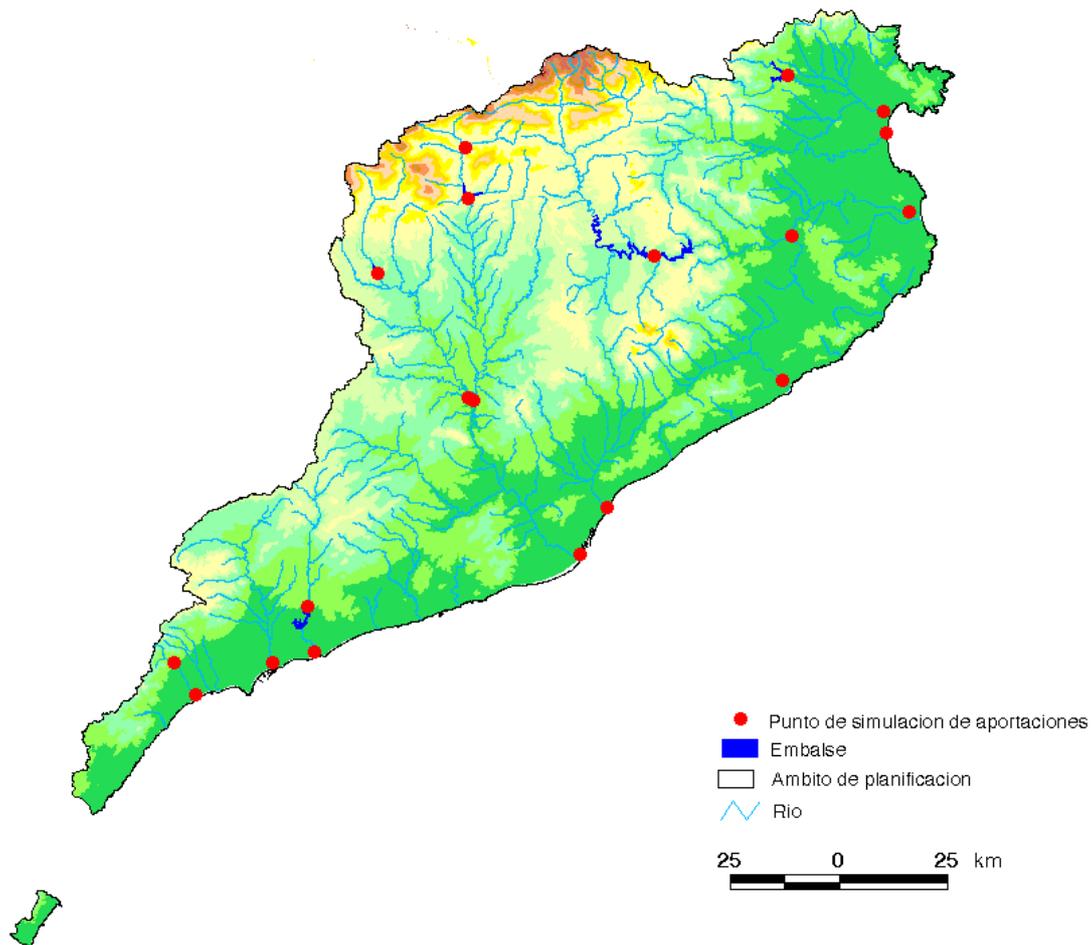


Figura 182. Puntos básicos de evaluación de recursos

La siguiente tabla resume los puntos y cuantías consideradas en nuestro análisis y sus coeficientes propuestos (cuya justificación se irá viendo más adelante), junto con las cantidades totales estimadas en el Plan Hidrológico de las Cuencas Internas de Cataluña, allí denominadas *recursos brutos*. Esta estimación se basó en trabajos previos sobre evaluación de recursos CHPO (1984), continuación de los pioneros análisis de comienzos de los 70 realizados por la Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental, y en numerosos estudios disponibles sobre los acuíferos en explotación de la cuenca. En el

marco del Plan Hidrológico se realizó una nueva restitución al régimen natural, que es la considerada. Posteriormente, en ATLL (1996b) se ampliaron estas series restituidas hasta el año 1989/90, ofreciéndose también en la tabla sus resultados como contraste. Las medias mostradas permiten comprobar el buen acuerdo global entre las distintas estimaciones.

Punto de aportación	Ap. incr. media (hm ³ /año)	Aportac. Acumulada (hm ³ /año)	PH CIC (hm ³ /año)	ATLL (1996b) (hm ³ /año)	Coef.
Alto Ter	331	331			1,1
Ter en Sau	151	482	496	595 (Susqueda)	1,1
Ter completo	326	808	956	829	0,9
Cardener en Sant Ponç	87	87			1
Cardener en Manresa	127	214			1
Llobregat en Figols	74	74			1
Llobregat en La Baells	106	180		236	1
Llobregat tras Cardener	144	538		592 (Abrera)	0,90
Llobregat en el delta	174	712	742	718 (Martorell)	0,90
Total:	2315	-	-		

Tabla 101. Aportaciones hídricas consideradas en el sistema

Asimismo, la figura adjunta ilustra este buen encaje de las aportaciones mostrando las series anuales en régimen natural empleadas por el Plan Hidrológico de las Cuencas Internas de Cataluña y extendidas, y las consideradas por este Plan Hidrológico Nacional, en tres puntos básicos del sistema como son el Cardener en Sant Ponç, el Llobregat en La Baells, y el Ter en el Pasteral.

En la misma figura se muestran también las evoluciones temporales del ratio entre las medias de las series PHCIC y PHN.

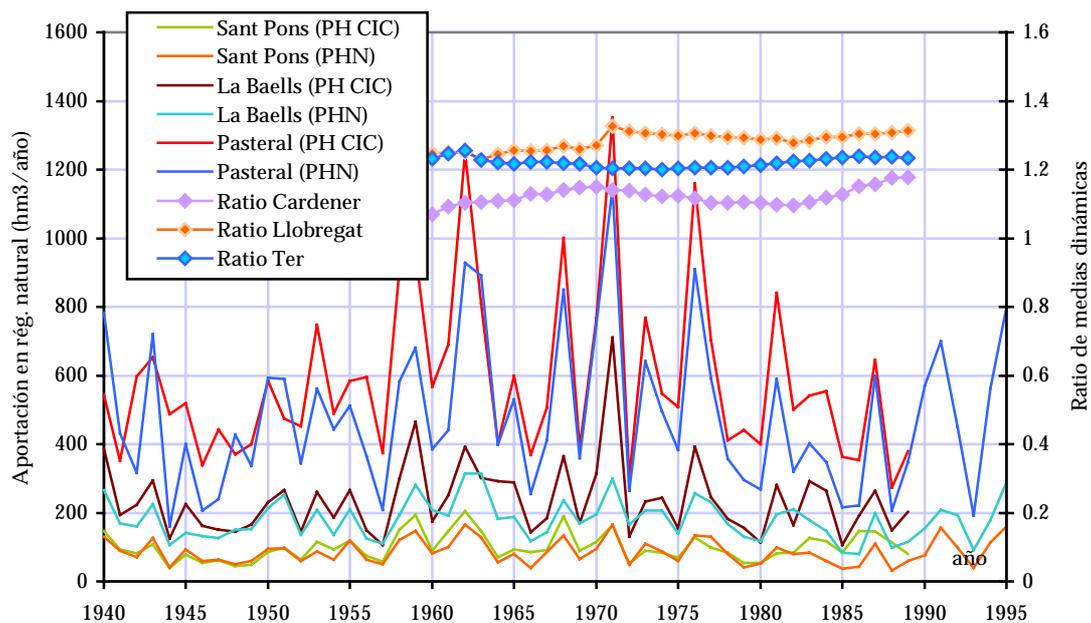


Figura 183. Series de aportaciones anuales en puntos básicos

Puede verse que la concordancia general es buena, se reproduce correctamente el patrón de comportamiento y rachas de las series, y, en el periodo común, las medias de las series del Plan Hidrológico de las Cuencas Internas son algo mayores que las PHN, lo que coloca nuestra estimación del lado de la seguridad con respecto a aquella. Procede únicamente afectar a las series del Ter en Sau de un coeficiente de 1'2 con objeto de trasladar los datos desde Sau al Pasteral, que es el punto que consideraremos en el modelo, y de conformidad con los valores del PHCIC (la ratio obtenida es 1'23).

Procede asimismo afectar a la serie del Ter en el curso bajo de un coeficiente reductor, estimado en 0'9, con objeto de trasladar ligeramente la serie aguas arriba, hacia un punto dominante de las derivaciones para los riegos del Bajo Ter.

Por último, tal y como muestra la tabla, y por las razones que se verán más adelante, se propone aplicar otros coeficientes reductores de 0'9 a las series del Llobregat en Abrera y el delta.

Además de estas aportaciones propias del sistema, se incluyen dos posibles aportes externos que, sin perjuicio de que el origen del agua pueda ser cualquiera de los previstos en este Plan Hidrológico Nacional, se incorporarían físicamente al sistema por los puntos de Abrera (bien directamente o a través del Anoia), o de Cardedeu. Obviamente, la cuantía de tales aportes no es un dato previo, sino que será un resultado del presente análisis.

10.2.2. DEMANDAS

Bajo los supuestos básicos de este Plan Hidrológico Nacional de garantía para los abastecimientos actuales y futuros, de eliminación de la infradotación y sobreexplotación de acuíferos, y de no incremento de las superficies de riego con cargo a recursos trasvasados, se han calculado las demandas básicas actuales y futuras a considerar en el ámbito territorial de las Cuencas Internas de Cataluña, conforme a las determinaciones globales establecidas en su Plan Hidrológico, y el detalle desagregado de demandas ofrecido en recientes estudios como el de ATLL (1996b) y otros.

La figura adjunta muestra la distribución territorial de los actuales regadíos y poblaciones, y permite apreciar la ubicación relativa de las demandas hídricas en las manchas de riego y la gran concentración urbana del área de Barcelona.

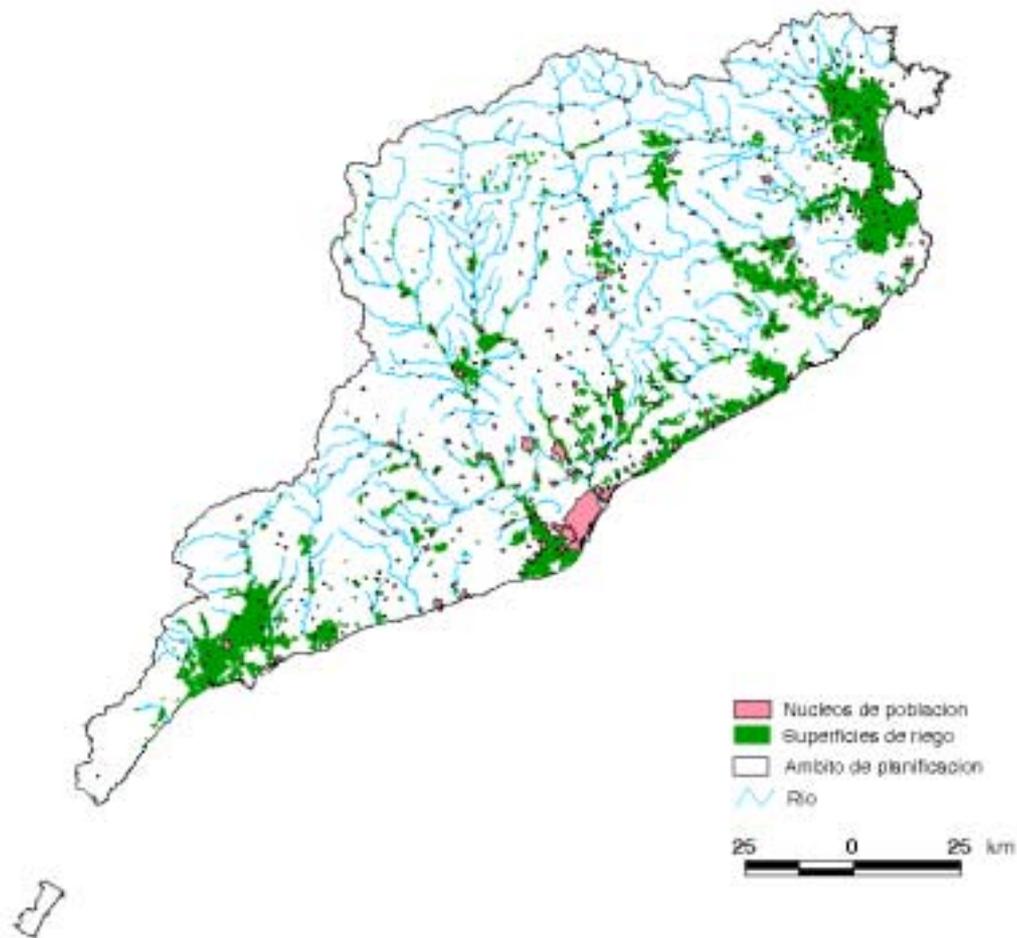


Figura 184. Mapa de situación de poblaciones y regadíos

Seguidamente se describen los criterios adoptados y resultados obtenidos para la estimación de las demandas en situación actual y en los distintos sistemas de explotación, tras lo que se ofrecerá una previsión de las demandas futuras a considerar en este Plan.

10.2.2.1. SISTEMA DE EXPLOTACIÓN NORTE

Dentro del sistema de explotación Norte, se han considerado tres subsistemas: el Muga-Fluviá, el Ter, y el Tordera.

Según el Plan Hidrológico de las Cuencas Internas, en el **subsistema Muga-Fluviá** se dispone actualmente de 156 hm³/año, que pueden incrementarse en el futuro hasta 257, básicamente mediante el aumento de regulación debido a la presa de Esponellá en el río Fluviá. Esto supone del orden del 60% de los recursos naturales del sistema (439 hm³/año), por lo que se estima un objetivo viable e incluso superable. Si no fuese aconsejable y se desestimase la construcción de Esponellá, el sistema se mantendría con holgura en sus parámetros actuales, sin las ampliaciones futuras.

En efecto, conforme al PHCIC las demandas existentes se elevan a 117 hm³/año (24 urbano-industriales, 63 de regadíos, y 30 ecológica), que se elevarían en el futuro a 214 hm³/año (36, 148 y 30 respectivamente). Como se observa, el mayor crecimiento se prevé en regadíos (unas 7.500 nuevas has) , y la cifra global es inferior a las disponibilidades previstas, con un remanente futuro de unos 40 hm³/año. Si no se desarrollan estas ampliaciones de riego no sería imprescindible la nueva regulación y persistiría un balance positivo. En consecuencia, y a los efectos del análisis global, puede suponerse que el Muga-Fluviá es un subsistema autosuficiente y excedentario, y que lo seguirá siendo en el futuro, aunque en menor medida y con posibles regulaciones complementarias, según el grado de desarrollo de las nuevas demandas en su cuenca.

No obstante, lo relativamente moderado de sus posibles excedentes (un 15% de las disponibilidades totales del subsistema, y un 6% de la actual demanda Ter-Llobregat, que sería la destinataria de los recursos), unido a la necesidad de preservación ambiental (40 hm³/año resultan ser un 8-9% de los recursos naturales totales, cantidad inferior al 20% de reserva objetivo propuesta en el Libro Blanco del Agua en España) desaconseja, en principio, plantear la posibilidad de una transferencia interna desde este subsistema hacia el subsistema del Ter, por lo que puede, a nuestros efectos, suponerse autónomo y autosuficiente, e ignorarse en el análisis global.

En el **subsistema del Ter**, y conforme a la caracterización para el modelo propuesto en ATLL (1996b), se consideran en situación actual: una demanda de 28 hm³/año aguas arriba de Susqueda, correspondiente a los aprovechamientos existentes en ese ámbito del *Alto Ter* (Ribes, Camprodón, S. Joan, Alto Fresser, Ripoll, Ges, Gurri, Vic, Sau, etc.), y con un retorno de 20 hm³/año (el 71%). El hecho de que exista tal importante demanda aguas arriba de las regulaciones del Ter sólo puede explicarse por la importante componente de flujo base proporcionada por los acuíferos del área de cabecera (unidad Cadí-Taga-Ripoll), con recarga superior a los 150 hm³/año, y bombeos casi inexistentes, lo que permite asegurar su suministro.

Las demandas del *Ter hasta Girona*, excepto su abastecimiento, se agregan en una unidad de demanda única mixta (abastecimientos e industrias de Pardina y Anglés, y riegos de Bescanó-Salt) de 20 hm³/año, y el abastecimiento de *Girona y Costa Brava* se agrega en otra unidad de 13 hm³/año. Aguas arriba de Girona se considera también la derivación de la acequia de Monar, con 3 m³/s continuos (95 hm³/año) que se consideran retornados íntegramente al Onyar en la ciudad.

Aguas abajo de la incorporación del Onyar, los aprovechamientos existentes se suponen agregados en dos unidades de demanda, una *mixta del Bajo Ter*, de 46 hm³/año, que incluye los abastecimientos e industrias de Girona, Sentmenat, Llemana y Terri (4 hm³/año) y los regadíos de Llemana, Cerviá, S. Jordi y Colomes (42 hm³/año); y otra demanda de *regadíos del Bajo Ter*, que asigna a estos riegos un total de 42 hm³/año. Por otra parte, la demanda del sistema Ter-Llobregat derivada en el Pasteral, con caudales transportados por el canal de trasvase y servidos en alta por Aigües Ter-Llobregat (ATLL), se considera, a efectos de cómputo, conectada al complejo Sau-Susqueda, con unos caudales derivados no predeterminados, y sin más limitación que el máximo continuo derivable de 8 m³/s, equivalente a 252 hm³/año (21

hm³/mes). Estos caudales asignados actuales se podrían mantener en el futuro con el mismo destino, o reducirse y contribuir al aumento de los flujos ambientales circulantes en el Ter.

Además de estas demandas consuntivas, el PHCIC incluye una demanda ecológica de 107 hm³/año, tal y como se describe en el correspondiente epígrafe de caudales mínimos.

El total de demandas apuntadas suma 244 hm³/año. Si a ellos se suman los 107 ecológicos se obtiene un total de 351 hm³/año, cifra un 20% superior a los 292 del PHCIC, y, en consecuencia, del lado de la seguridad con respecto a las previsiones del Plan. La diferencia puede estar en la diferente consideración de los retornos y los caudales ecológicos como tales o como derivaciones para otros usos, que además cumplen esta finalidad.

En cuanto al **subsistema de la Tordera**, el PHCIC lo identifica como muy problemático, con disponibilidades anuales actuales del orden de 53 hm³ y demandas totales de 71, lo que lo hace ya deficitario. Para resolver esta situación se prevé que no aumentarán los regadíos actuales (con requerimientos de 24 hm³/año), y se deberán recibir en el futuro 30 hm³/año del total de los 252 asignados para trasvase desde el sistema norte al sistema centro, a cuyos efectos se conectará al canal de ATLL mediante una toma antes de la llegada a Cardedeu.

Desde el punto de vista de la modelación, el subsistema de la Tordera puede pues considerarse asimilado a un complejo de aprovechamientos equivalente a una demanda que agota todos sus recursos propios sostenibles, y es por tanto irrelevante a los efectos del análisis del sistema global, y otra demanda virtual de abastecimiento urbano-industrial nula en situación actual y de 30 hm³/año en el futuro, servida desde la conducción de trasvase de ATLL.

10.2.2.2. SISTEMA DE EXPLOTACIÓN CENTRO

Dentro del sistema de explotación Centro, se consideran 5 subsistemas: Besòs-Maresme, Alto Llobregat, Bajo Llobregat, Anoia y Garraf-Foix.

El subsistema principal, que es el del **Llobregat**, se considera constituido, hasta la confluencia con el Cardener, por una demanda industrial servida por el *Canal de Berga*, con toma aguas arriba del embalse de La Baells, de cuantía estimada en 70 hm³/año (máximo de 78 hm³/año según la capacidad del canal de 2,49 m³/s), y que retorna en su práctica totalidad al río aguas abajo de la presa, y una demanda mixta (urbana, industrial y de regadíos) que denominamos *Berga-Sallent*, y que engloba las existentes desde La Baells hasta el Cardener, con cuantía de 19 hm³/año.

Los requerimientos del Cardener se suponen representados por una demanda mixta de abastecimientos, industrias y regadíos (Alto y Bajo Cardener, Cardona, Solsona, y Manresa), que denominaremos *Manresa y otros* por ser ésta la demanda dominante, y que tiene una cuantía total de 25 hm³/año con un retorno de 20 (el 80%).

Aguas abajo de la confluencia del Llobregat y Cardener, se supone conectada una unidad de demanda del Llobregat (*Monistrol-Olessa*) que, con cuantía de 20 hm³/año, integra todas las existentes hasta Abrera, y otra demanda de 13 hm³/año que integra los abastecimientos e industrias de Tarrasa servidos por la *toma de Abrera* (13 hm³/año).

Por otra parte, además de identificar estas demandas hídricas ordinarias en la cuenca alta y media del Llobregat, se ha comprobado la existencia de importantes mermas de caudal en el río, a su paso por los aluviales del curso inferior. En los análisis y modelación del sistema realizados en ATLL (1996b), este fenómeno se tuvo en cuenta introduciendo una demanda consuntiva ficticia de $79 \text{ hm}^3/\text{año}$ para considerar las detracciones totales por infiltraciones en las cubetas aluviales de Sant Andreu y de Abrera (estimadas en $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$, equivalentes a $16 \text{ hm}^3/\text{año}$), y en el delta del Llobregat (estimadas en $2 \text{ m}^3/\text{s}$, equivalentes a $63 \text{ hm}^3/\text{año}$).

Nótese que estas mermas son, en definitiva, el eco de una demanda o requerimiento funcional que actúa sobre el acuífero, y que se muestra de forma diferida en el espacio y en el tiempo, pero con el mismo valor medio a largo plazo en situación de equilibrio. Indagando sobre tal requerimiento diferido, se concluye que éste no es sino la demanda generada por las captaciones directas de estos acuíferos (los denominados *recursos locales*, fuera de las redes regionales).

En efecto, además de las demandas básicas servidas por las redes regionales ATLL-AGBAR, que se describirán más adelante, existe una parte importante de las necesidades urbano-industriales de la zona que se surte con suministros propios, mediante captaciones subterráneas. En ATLL (1996a), los recursos locales captados de las cubetas de S. Andreu y Abrera y el delta del Llobregat se cifraron en $86 \text{ hm}^3/\text{año}$ (7, 25 y 54 respectivamente), cifra que coincide sensiblemente con las filtraciones estimadas en el otro estudio, por lo que puede concluirse que, en efecto, se trata del mismo fenómeno, y su cuantificación está bien acotada.

Además de estas captaciones, existen también tomas locales en otros acuíferos de la cuenca del Llobregat (riera de Rubí/Arenes, Penedés y Anoia) que ese mismo estudio evalúa en un total de $15 \text{ hm}^3/\text{año}$ (5'7, 6'8 y 2'8 respectivamente), y que pueden considerarse como una detracción de los caudales naturales del río, antes de llegar al delta. Si la aportación incremental media en régimen natural entre la confluencia con el Cardener y el delta es de $174 \text{ hm}^3/\text{año}$, estas detracciones suponen un 9% de tales recursos.

Puede verse que, conforme a estas cifras, la cantidad total actual de autosuministro con recursos locales en los acuíferos del Llobregat y el ámbito de la red regional sería de unos $101 \text{ hm}^3/\text{año}$, cifra similar a la proporcionada por otra estimación disponible (ATLL, 1996b), que los fijó en unos $92 \text{ hm}^3/\text{año}$. Si a éstos se suman los $55 \text{ hm}^3/\text{año}$ de suministros locales fuera del Llobregat (11 de Garraf, 35 del Besós, 5 del Maresme, y 4 del Tordera), el total de recursos locales aplicados en este ámbito asciende a $156 \text{ hm}^3/\text{año}$.

En definitiva, y a los efectos de nuestro análisis, puede adoptarse el criterio de considerar todas las detracciones locales de las cubetas y el delta del Llobregat ($86 \text{ hm}^3/\text{año}$) como dos demandas agregadas continuas y sin retornos. La primera de ellas corresponde a las *filtraciones en las cubetas* de Sant Andreu y Abrera, que ciframos en $32 \text{ hm}^3/\text{año}$, y la segunda corresponde a las *captaciones locales*, o bombeos locales del delta, estimados en $54 \text{ hm}^3/\text{año}$, y que supondremos atendidos desde un embalse ficticio representativo del acuífero del delta, cuya funcionalidad se describirá más adelante, al referirnos a los almacenamientos del sistema.

Además, y como criterio de seguridad para tener en cuenta las detracciones de caudales por extracciones de otros acuíferos, se afectarán todas las aportaciones propias del Llobregat aguas abajo del Cardener de un coeficiente de 0'9, en lugar del 0'91 aplicado solo a la incremental del delta, que sería lo correspondiente a las estimaciones antedichas.

Se incluye también una demanda de *regadíos del Baix Llobregat* (en esencia atendidos con el canal de la Derecha y el canal de la Infanta Carlota), cifrada en 50 hm³/año por el PHCIC, que incluye todos los consumos agrícolas del Llobregat desde Abrera hasta el mar, y cuyo retorno contribuye significativamente, como se verá, a la recarga del acuífero del delta.

Además de todas las demandas descritas hasta aquí, existe una de fundamental importancia en la cuenca, que es la generada por la conurbación del área metropolitana de Barcelona y sus zonas próximas. Esta gran demanda urbano-industrial es servida por la red regional de suministro desde tres puntos básicos de distribución, que son las estaciones potabilizadoras de Sant Joan Despí, Abrera y Cardedeu, a las que se aportan recursos procedentes de los ríos Llobregat y Ter. Desde el punto de vista territorial y funcional, puede suponerse que esta gran demanda está integrada por 8 unidades de demanda básicas que son (ATLL 1996b):

1. *Barcelona-Llobregat* o Sant Joan Despí (58 hm³/año).
2. *Barcelona Ter-Llobregat*, con servicio desde ambos ríos (83 hm³/año).
3. *Barcelona-Ter* o Trinitat, que incluye a Ripollet y Sant Cugat (119 hm³/año).
4. *Alella-Masnou*, que incluye Alella, Cabrera, Cabrils, El Masnou, Premiá de Dalt, Premiá de Mar, Tiana, Vallromanes, Vilassar de Dalt y Vilassar de Mar (8 hm³/año).
5. *Abrera-Garraff-Penedés*, que incluye 8 hm³/año para los abastecimientos e industrias con servicio desde Abrera de Castellbisbal, Martorell, Masquefa, Pallejá, Papiol, Rubí, Sant Esteve, Sant Andreu de la Barca y Tarrasa, además de las demandas urbano-industriales de la zona del Garraf-Penedés, con cuantía de 700 l/s (22 hm³/año, similares a los 26 totales del subsistema Garraf-Foix según PHCIC), atendidos desde la depuradora de Abrera tras la entrada en servicio de la Llosa del Cavall (8+22 = 30 hm³/año totales).
6. *Vallés Occidental*, que incluye Barberá, La Llagosta, Mollet, Palau de Plegamans, Polinyá, Sabadell, Sant Quirç, Santa Perpetua y Tarrasa (18 hm³/año).
7. *Vallés Oriental*, que incluye Canovelles, Granollers, L'Ametlla, La Garriga, La Roca, Les Franqueses, Lliça d'Amunt, Lliça de Vall, Martorelles, Montmeló, Montornés, Parets, Sant Fost y Sta. María Martorelles (9 hm³/año).
8. *Cardedeu*, que es la directamente servida desde este punto, y que incluye Argentona, Caldes d'Estrach, Cardedeu, Dos Rius, Llinars, Mataró, S. Andreu de Lllaneres, S. Viçenç de Montalt y S. Antoni Vilamajor (11 hm³/año).

Estas 8 unidades básicas del ámbito ATLL suman un total de 336 hm³/año atendidos por la red regional, que añadidos a los 156 demandados en su ámbito y atendidos con recursos locales arroja un total para el área de 492 hm³/año actuales. Si a éstos se

añaden los 197 (70+19+25+20+13+50) identificados en el resto de la cuenca, se obtienen 689 hm³/año de demanda total actual vinculada al subsistema del Llobregat. Tales cifras resultan suficientemente encajadas con los 613 hm³/año (586+37-10) de demandas actuales del Alt y Baix Llobregat estimados en el PHCIC, con los 675 estimados por Vilaró (1995) para el Baix Llobregat, Besós y Maresme, con los 449 estimados por Vilaró (1996) para área de Barcelona, o con los 350 estimados por ATLL (1999) para la red Ter-Llobregat, pese a que no siempre coinciden exactamente los ámbitos territoriales referidos. Tal acuerdo nos confirma la razonable bondad de las estimaciones realizadas y de las magnitudes propuestas en el análisis.

Pese a su presumible importancia, no consideraremos por el momento retornos de estas unidades, suponiendo que se producen de forma dispersa y se reciclan, reutilizan o reintegran en la situación actual sin dar lugar a nuevas disponibilidades netas.

Por otra parte, además de estas demandas identificadas existen otros requerimientos de circulación de flujos (ambientales e industriales), tal y como se describirá en el epígrafe de caudales mínimos.

Los otros subsistemas del sistema centro (Besós-Maresme, Anoia y Garraf-Foix) no son relevantes a los efectos de este análisis, y, además, sus demandas urbano-industriales y captaciones locales ya han sido consideradas y están, en buena medida, introducidas en la red regional.

10.2.2.3. SISTEMA DE EXPLOTACIÓN SUR

En cuanto al **sistema de explotación Sur**, constituido básicamente por las cuencas de los ríos Francolí, Gaià y Riudecanyes, presenta unos recursos totales propios del orden de 120 hm³/año, en su práctica totalidad de origen subterráneo, de los que están actualmente disponibles unos 90. No se prevé que sea posible aumentar en el futuro esta cuantía de disponibilidades propias más allá de los 95 hm³/año, ya con el sistema técnicamente agotado y alta tasa de reutilización.

Hasta los años 80, las poblaciones e industrias de la zona tenían que utilizar los acuíferos como único recurso, lo que dio lugar a que se produjesen los problemas más serios de intrusión marina en todo el litoral catalán, y a que naciesen una serie de industrias distribuidoras de agua procedente de diversos campos de pozos (Vilaró, 1996). La concentración de núcleos turísticos, la ciudad de Tarragona y el complejo petroquímico, provocaron un déficit de unos 50 hm³/año, que se satisfacía en parte con aguas salobres (Batista, 1996).

Tal situación de progresivo agotamiento y degradación de los recursos propios, con aguas de mala calidad, saladas por intrusión marina en los acuíferos costeros sobreexplotados, condujo a plantear una importación de agua desde el Ebro a la provincia de Tarragona, autorizada por la Ley 18/1981, y gestionada por el Consorcio de Aguas de Tarragona. Así, este sistema de explotación cuenta desde 1989 con un aporte externo procedente de ahorros en los canales del delta del Ebro, con cuantía máxima teórica de hasta 126 hm³/año (4 m³/s continuos previstos en la Ley).

En la actualidad, la demanda del sistema de explotación Sur se atiende con aguas subterráneas propias y con este trasvase, empleándose unos 45-50 hm³/año de aguas subterráneas para regadíos en el Campo de Tarragona, y otros 60-65 para abastecimientos urbano-industriales, de los que aproximadamente el 75% (cerca de 50 hm³/año) procede del Ebro.

En estos momentos, la población total abastecida con el trasvase es de 411.000 personas, lo que supone el 72% de la población fija de toda la provincia y prácticamente el 100% de la demanda turística, evaluada en unas 500.000 personas más (López Bosch, 1999).

La figura adjunta, elaborada con datos ofrecidos por el Consorcio de Aguas de Tarragona, muestra la evolución de los volúmenes anuales y mensuales servidos por el Consorcio desde el comienzo de su funcionamiento, en agosto de 1989. Si a estos suministros se añaden las pérdidas totales (entre un 5 y un 10%), se obtiene el caudal derivado del Ebro por los canales del delta. Se ha incluido, asimismo, la evolución anual de la tarifa del agua para Ayuntamientos, industrias y media, en pesetas corrientes (López Bosch, 1999).

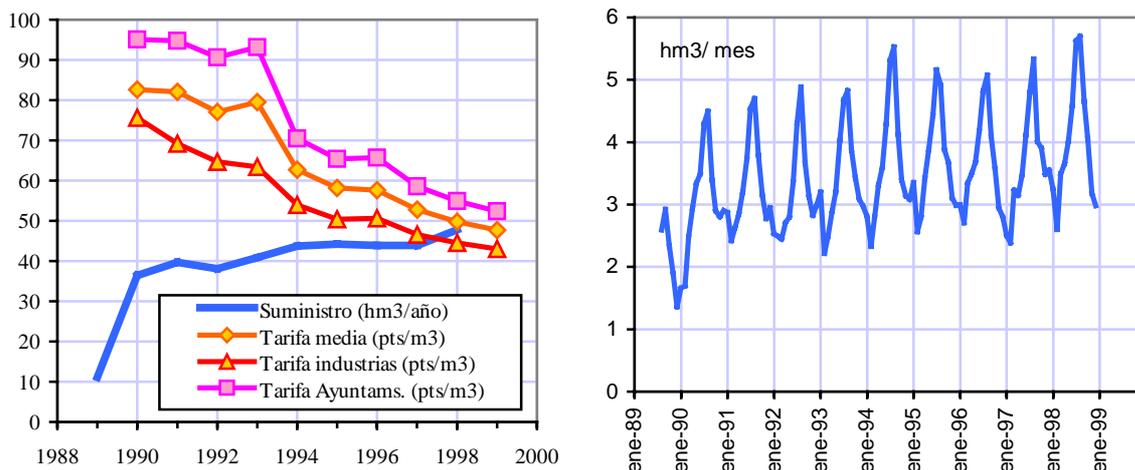


Figura 185. Series anuales y mensuales de volúmenes servidos por el Consorcio de Tarragona y tarifas aplicadas

Puede verse que los recursos anuales suministrados han ido creciendo ligeramente desde 1990 hasta hoy, a una tasa media del 3'6% anual. Se observa también que la estacionalidad de la demanda es muy acusada, con máximos en verano de origen turístico próximos a los 6 hm³/mes, frente a mínimos en invierno inferiores a 3 hm³/mes.

Asimismo se observa que las tarifas aplicadas han ido disminuyendo con el paso del tiempo a una tasa media del 5'7% anual en pesetas corrientes (11% en pesetas constantes), lo que se debe fundamentalmente a la disminución de los tipos de interés, y al efecto de escala por progresivo aumento de los volúmenes suministrados.

Desde la entrada en servicio del trasvase, los acuíferos muestran una apreciable recuperación, habiendo también disminuido la salinidad de los pozos próximos al litoral.

Es interesante constatar que si se extendiese el servicio de abastecimiento a la totalidad de la población fija de Tarragona y la estacional aumentase en igual medida, esto supondría a lo sumo un 40% de aumento del suministro actual, es decir, aproximarse a los 70 hm³/año, con lo que habría aún un margen del orden de 45 hm³/año para crecimientos turísticos e industriales futuros.

En definitiva, se trata de un sistema de explotación bien resuelto y recuperado, y en el que, aún suponiendo que el crecimiento del pasado se mantenga igual en el futuro, no cabe esperar problemas de déficit en los horizontes de la planificación hidrológica, por lo que puede ignorarse a los efectos de este Plan.

10.2.2.4. SÍNTESIS DE DEMANDAS ACTUALES

Resumiendo cuanto se ha expuesto, la tabla siguiente muestra las unidades de demanda finalmente consideradas en el esquema (que no son obviamente todas las realmente existentes, sino solo las relevantes a los efectos de modelación de este Plan Nacional), indicando su cuantía actual total anual, su distribución estacional, y el porcentaje de retorno aprovechable en el sistema.

Unidad de demanda	Demanda. (hm ³ /año)	Distribución mensual de la demanda (%)												Ret. (%)
		OC	NV	DC	EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG	ST	
Alto Ter	28	7.7	7.4	7.6	7.6	6.9	7.7	8.2	9.5	9.5	10	9.8	8	71
Ter hasta Girona	20	5.8	5.2	5.4	5.4	4.9	5.8	8.1	12	13	14	13	7.4	
Girona-Costa Bava	13	7.2	7	7.2	7.2	6.5	7.2	7	7.2	11	11	11	11	
Acequia Monar	95	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	
Mixta Bajo Ter	46	5.6	5	5.2	5.2	4.7	5.6	8.1	12	13	15	13	7.4	
Regadíos del Bajo Ter	42	5.3	4.7	4.9	4.9	4.4	5.3	8.1	13	14	15	14	7.3	
Canal de Berga	70	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	100
Berga-Sallent	19	6.1	5.5	5.7	5.7	5.1	6.1	7.5	10	12	14	14	7.8	
Manresa y otros	25	6.5	6	6.2	6.2	5.6	6.5	7.6	10	11	13	13	7.9	80
Monistrol-Olesa	20	5.8	4.8	5	5	4.5	5	6.9	10	14	16	15	7.3	
Filtraciones cubetas	32	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	
Toma de Abrera	13	8.7	8.1	8.7	8.7	6.9	8.7	8.1	8.7	8.1	8.7	8.7	8.1	
Captaciones locales	54	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	
Riegos Baix Llobregat	50	7.9	3.7	10	12	11	5.9	7.2	8.1	8	8.6	9.8	8.6	50
Barcelona-Llobregat	58	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	
Barcelona Ter-Llobregat	83	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	
Barcelona-Ter	119	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	
Alella-Masnou	8	7.4	7.3	7.7	7.3	6.5	6.6	7	8	10	12	11	9.5	
Abrera-Garraf-Penedés	30	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	
Vallés Occidental	18	8.3	8	8.4	8.3	7.5	8.1	8	8.4	8.5	9	8.9	8.4	
Vallés Oriental	9	8.3	8.1	8.4	8.3	7.4	8.2	7.9	8.4	8.6	9.1	9	8.5	
Cardedeu	11	7.9	7.7	8.1	7.9	7.1	7.5	7.6	8.3	9.1	10	9.7	8.9	
Total:	863	7.9	7.3	7.9	8.0	7.2	7.7	8.0	9.1	9.3	9.9	9.7	8.1	

Tabla 102. Síntesis de demandas actuales consideradas

Como puede verse, de los 863 hm³/año considerados, 336 (casi un 40%) corresponden a las 8 unidades básicas del abastecimiento urbano-industrial del entorno de Barcelona, servido por la red regional, lo que da una idea de su fundamental importancia a los efectos de nuestro análisis. La distribución estacional media agregada, prácticamente continua, revela también la importancia básica de la componente urbano-industrial de este sistema.

Tras la descripción de la situación actual, procede analizar las previsiones para la situación futura, que es la que debe considerarse a los efectos de este Plan Hidrológico Nacional.

10.2.2.5. PREVISIÓN DE DEMANDAS FUTURAS

Ha de indicarse, en primer lugar, que la previsión de demandas futuras (y, específicamente, del área y entorno de Barcelona) constituye la cuestión central del Plan Hidrológico de las Cuencas Internas de Cataluña, desde el punto de vista de la planificación hidrológica nacional.

En efecto, lo usual en las otras cuencas analizadas en este Plan Hidrológico Nacional como posibles receptoras de transferencias externas, es que existan graves déficit en la disponibilidad de agua para riegos ya existentes, y el abastecimiento urbano-industrial ocupe un lugar secundario desde el punto de vista de las cantidades requeridas. Las incertidumbres asociadas a su crecimiento futuro quedan, pues, embebidas en el monto total del déficit de regadíos, y no resultan decisivas para las determinaciones globales.

Sin embargo, en la Cataluña intracomunitaria sucede justamente lo contrario: las demandas de regadío son en general reducidas y sostenibles, y la incertidumbre asociada al desarrollo de los abastecimientos urbano-industriales se torna el elemento decisivo para la posible necesidad de transferencias externas.

En consecuencia, es del mayor interés examinar con algún detalle la evolución de los requerimientos urbano-industriales del área de Barcelona y zonas próximas, asociada al ámbito de la red regional, y que resulta ser, con mucha diferencia, la más significativa de todo el sistema y aún de todo el ámbito territorial de este Plan Hidrológico. Esto nos proporcionará una cierta perspectiva histórica, conveniente para mejor entender el momento presente y su posible evolución en el próximo futuro.

10.2.2.5.1. La evolución del abastecimiento al área de Barcelona

Arrancando la revisión histórica a mediados del siglo XX, los 100 hm³/año demandados en el año 1950 se proporcionaban íntegramente con aguas subterráneas procedentes de pozos principalmente del acuífero del Llobregat y, en menor cuantía, del acuífero del Besós. La calidad de este agua venía experimentando ya entonces un cierto empeoramiento, lo que, unido al crecimiento de la demanda y la consecuente necesidad de mayores caudales, propició la puesta en servicio en 1954, por la Sociedad de Aguas de Barcelona, de la planta potabilizadora de Sant Joan Despí, que captaba por primera vez aguas superficiales del río Llobregat con destino a los abastecimientos del área. Desde esta fecha hasta mediados de los 60, la demanda crece continuamente, y se sirve cada vez menos con pozos del Llobregat, aumentando la captación de aguas superficiales del río.

El enorme crecimiento observado (la demanda se duplica en apenas 10 años) hace necesario recurrir a otras fuentes alternativas, por lo que se autoriza el trasvase de aguas desde el Ter y su tratamiento en la planta de Cardedeu, que entra en servicio en 1967. La demanda continúa creciendo con rapidez, y en pocos años el suministro con aguas trasvasadas desde el Ter y tratadas en la planta potabilizadora de Cardedeu se convierte en la principal fuente de recursos del sistema, con un volumen aportado entre 150 y 200 hm³/año, seguida de las aguas superficiales del Llobregat, tratadas en Sant Joan Despí y en la nueva planta potabilizadora de Abrera, inaugurada en 1980, y con valores conjuntos del orden de 100 hm³/año. Recientemente se ha conectado la planta de Abrera con Barcelona, disponiéndose en la actualidad de una red mallada que permite satisfacer las demandas del área desde cualquiera de las tres plantas potabilizadoras origen de recursos.

A los requerimientos del área de Barcelona se añaden a su vez demandas propias de las zonas de influencia de Cardedeu y Abrera, hasta llegar a la situación actual en la que el suministro del Besós ha desaparecido por problemas de calidad, las principales fuentes son las aguas superficiales del Ter y el Llobregat, y el suministro de aguas subterráneas bombeadas del delta del Llobregat para estos abastecimientos se ha reducido a cuantías medias del orden de 20 hm³/año, pero jugando un papel crucial para la regulación de emergencias y fallos -de cantidad o calidad-, en el sistema superficial. Cuando no hay recursos suficientes o son inutilizables por su contaminación, se capta agua subterránea hasta más de 250.000 m³/día, lo que supone un 30% de la demanda total de un día medio (Ferrer Embodas, 1996).

El proceso señalado se muestra en la figura adjunta (Jové Vintrol, 1995), en la que puede verse la evolución de demandas anuales del área de Barcelona en los últimos 50 años, y el origen de los recursos aplicados.

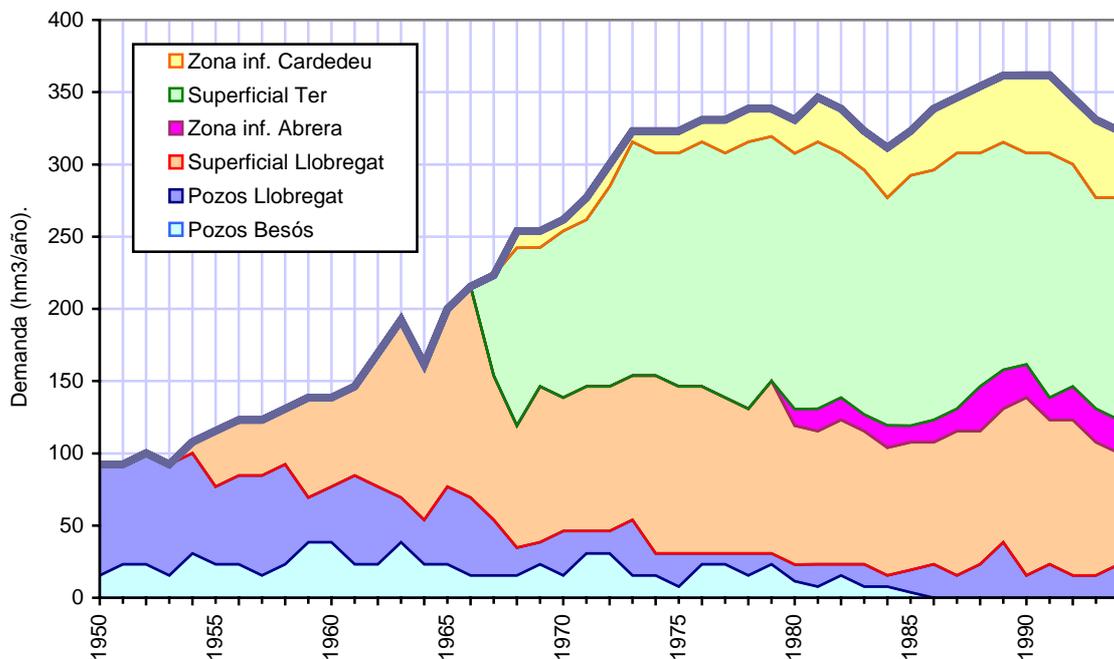
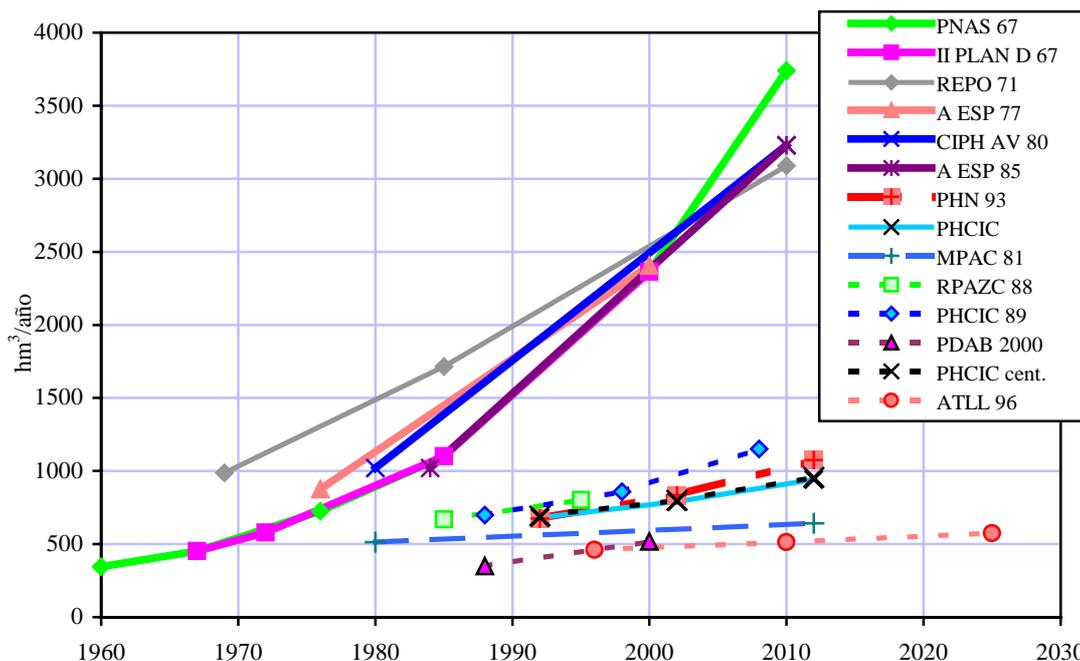


Figura 186. Evolución de las demandas de abastecimiento del área de Barcelona

El examen de esta figura muestra que tras un gran crecimiento a tasas medias próximas al 7% anual en el periodo 1955-75 (años de la gran emigración a Barcelona), la demanda servida por la red regional ha permanecido relativamente estable desde mediados de los 70 hasta hoy, con valores entre 300 y 350 hm³/año (como se vió, 336 en nuestro análisis según la estimación actual de ATLL, 1996b), y con fuentes básicas de suministro también sensiblemente estabilizadas y sostenibles. Este relativo estancamiento es el rasgo básico de la actual situación de requerimientos hídricos del área.

10.2.2.5.2. Las previsiones de crecimiento

Es interesante contrastar estos datos con las previsiones históricas de crecimiento de las demandas urbanas realizadas en distintas fechas por diferentes autores, para lo cual la figura adjunta muestra catorce evaluaciones disponibles según las diversas fuentes indicadas. El primer punto es el momento en que se formula la previsión, y las líneas muestran la previsión formulada. Las líneas de trazo continuo se refieren al ámbito territorial de las Cuencas Internas, mientras que las de trazo discontinuo se refieren a la zona central del ámbito de Barcelona y su entorno.



Fuentes: Plan Nacional de Abastecimiento y Saneamiento de 1967 (PNAS 67); II Plan de Desarrollo Económico y Social, 1967 (II Plan/D 67); Estudio de los recursos hidráulicos totales del Pirineo Oriental, 1971 (REPO 71); El Agua en España, 1977 (A/Esp77); Comisión Interministerial de Planificación Hidrológica-Avance 80, 1980 (CIPH Av 80); El Agua en España, 1985 (A/Esp85); Documentación básica, 1990 (Doc/Bas 90); Anteproyecto de Plan Hidrológico Nacional, 1993 (PHN 93); Plan Hidrológico de cuenca (PHC); Marco para el plan de aguas de Cataluña (MPAC 81); Estudio de la Red Primaria de Aguas en la zona Centro (RPAZC 88); Plan de abastecimiento de agua al ámbito de Barcelona para el año 2000 (PDAB 2000); Estudio de la demanda de agua en el ámbito de ATLL (1996).

Figura 187. Distintas previsiones de evolución de la demanda urbana

Sin perjuicio de las distintas interpretaciones, metodologías y objetivos de los diferentes estudios, y de que sus correspondientes ámbitos territoriales no son siempre

coincidentes, la inspección de esta figura muestra nítidamente un resultado básico, y es que todos los estudios realizados con anterioridad a los años 80 muestran una previsión de crecimiento futuro muy elevado, con tasas del orden del 6-7% anual acumulado, mientras que todos los estudios posteriores a esa fecha muestran una previsión de crecimiento de demandas mucho más moderada, con tasas en torno al 1-2% anual. La más reciente y detallada estimación (ATLL, 1996a) obtiene una tasa del 0'85%.

Ello es explicable si se examina esta figura junto con la anterior, de evolución de suministros observada en las últimas décadas, en la que, como se indicó, se aprecia un periodo de gran desarrollo, a tasas también del 7%, que fué extrapolado hacia el futuro en una proyección que la disminución de natalidad y, sobre todo, la desaparición de flujos migratorios, hizo irreal al cabo de pocos años. La tasa media real observada en el periodo 1973-1994 es del 0'31%, sustancialmente inferior a todas las previsiones disponibles.

Profundizando más en este fundamental asunto, la figura adjunta muestra la evolución histórica reciente (1970-1991) de la población en el ámbito estudiado, según la elaboración de ATLL (1996a), realizada con datos del Instituto Nacional de Estadística, junto con la previsión PHCIC del Plan Hidrológico de las Cuencas Internas, la previsión LB-INE realizada para el ámbito de las Cuencas Internas de Cataluña en el Libro Blanco del Agua en España, con datos del INE, y la previsión IEC de población futura según el Plan Territorial Metropolitano de Barcelona, consistente en la adaptación al ámbito de este Plan de las proyecciones demográficas elaboradas por el Institut d'Estadística de Catalunya en su análisis de la población objetivo de Cataluña para el 2026. Resulta de gran interés analizar la población pues, sin perjuicio de las correcciones inducidas por las dotaciones unitarias, es sin duda la principal variable controladora de la demanda urbana, y la que explica una mayor parte de su varianza total.

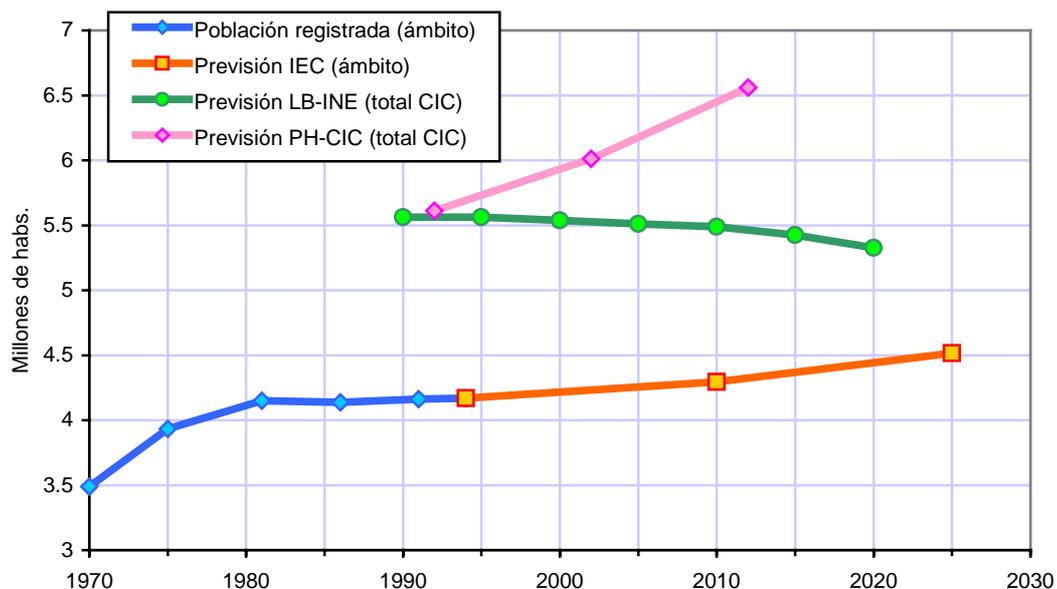


Figura 188. Evolución observada y prevista de la población en el ámbito CIC y el entorno de Barcelona

En primer lugar, puede verse en el gráfico que la población en el área y entorno de Barcelona es del orden del 75% de la de todo el ámbito, lo que reafirma la importancia crucial de esta zona desde el punto de vista de la planificación hidrológica de cuenca y nacional.

Asimismo, se observa que frente al estancamiento demográfico registrado desde comienzos de los 80, la previsión del PH-CIC muestra unas tasas de crecimiento muy elevadas, que no se están dando actualmente y no parecen viables en el futuro, mientras que la previsión IEC supone que se acaba el estancamiento actual y se produce una cierta reactivación del crecimiento de población del área a medio y largo plazo, aunque a tasas inferiores a las del PH-CIC.

En contraste con estas proyecciones demográficas del PH-CIC y del IEC, las previsiones LB-INE, muestran que, al igual que sucederá globalmente en el resto de España, el territorio de las Cuencas Internas de Cataluña no experimentará un incremento de población en el futuro, sino que ésta se mantendrá estable o incluso decrecerá ligeramente. Concretamente, si se producen aumentos de población en este ámbito será en el área del sistema de explotación Sur, y no en el Centro, donde se ubica la gran conurbación urbana cuya demanda futura analizamos. Éste área centro experimentará una variación de población en el periodo 1991-2020 inferior a la media global española, que ya de por sí se prevé negativa (-0,79%).

Descartando la previsión PH-CIC, y centrando la atención en las otras dos, cabe afirmar que, sin perjuicio de que los ámbitos analizados son distintos, la diferencia de resultados es significativa, y solo puede explicarse atendiendo a la naturaleza finalista del análisis IEC (cómo han de comportarse los diferentes componentes demográficos para alcanzar la imagen-objetivo poblacional catalana de 7,5 millones de habitantes en el 2026), frente a la naturaleza puramente descriptivo-predictiva y no finalista del análisis LB-INE. Es claro que la consecución de tales objetivos poblacionales solo podría alcanzarse con políticas que incentiven activamente la inmigración extranjera.

Más aún, incluso este objetivo demográfico no parece posible conforme a las proyecciones más recientes sobre la población en Cataluña, que ofrecen estimaciones para el 2030 en la horquilla entre 5,76 y 7,17 millones de habitantes según se consideren escenarios futuros más o menos optimistas (Módenes Cabrerizo, 1998). Ello supone una reducción media del orden del 15% (entre el 5 y el 23%) respecto al objetivo enunciado, y cinco años después del 2026.

Lo antedicho permite concluir que las demandas futuras PHCIC parecen estar claramente sobrestimadas, e incluso el supuesto adoptado para las previsiones de demanda de ATLL (1996a) resulta ser una cota máxima conservadora, sin riesgo a equivocarse en el largo plazo de la planificación hidrológica. Valores un 10% inferiores parecen razonables como previsión más verosímil, pese a lo cual, y como cautela prudencial, adoptaremos los resultados de ese trabajo, que es la más reciente y completa estimación disponible sobre demandas hídricas futuras de la zona.

10.2.2.5.3. Estimación de la demanda futura

La síntesis de tales resultados es que existe una demanda actual en el área servida por la red de ATLL y SGAB de 460 hm³/año, que puede considerarse globalmente satisfecha. Nótese que el valor resulta bien encajado con los 492 adoptados en este Plan, máxime si se considera que los ámbitos afectados no son necesariamente idénticos. Esta situación actual se ve no obstante condicionada por un deterioro de la calidad, especialmente de los recursos locales, lo que lleva a que éstos tiendan a ser sustituidos por suministro de la red regional. Ello hace que, empleando la terminología de ATLL, quepa hablar de una *demanda latente* para esta red regional, y que no es sino la resultante de la posible sustitución de recursos locales que presentan problemas de garantía o de calidad, junto con los posibles incrementos reales de requerimientos hídricos en el futuro.

Debe notarse que el concepto es equívoco, pues una mera sustitución de caudales no supone la generación neta de demanda, al liberar al sistema el mismo recurso –bien que de peor calidad- que se había detraído.

Sin perjuicio de tales precisiones, la demanda latente actual se ha evaluado en 25 hm³/año, de los que 18 son sustitución de recursos y 7 son incrementos de demanda. Ello supone pues una demanda total de 467 hm³/año.

Considerando no la situación actual sino la previsible a corto plazo, la demanda latente para la red regional se estima en 54 hm³/año por mayores sustituciones de bombeos, y manteniéndose en los mismos 467 hm³/año la demanda total de la zona para este corto plazo.

A medio plazo (2010), la demanda prevista total es de 513 hm³/año, lo que supone un incremento de 53 hm³/año respecto a la situación actual. Desde el punto de vista de la red regional, y considerando el efecto de las sustituciones de recursos locales, el incremento de demanda se ha evaluado en 100 hm³/año, siendo 47 el total máximo de sustituciones previstas.

En el largo plazo (2025), la prognosis de demanda total es de 574 hm³/año, lo que supone un incremento de 114 hm³/año respecto a la situación actual. Desde el punto de vista no del sistema sino de la red regional, y considerando las ya realizadas sustituciones de recursos locales, el incremento de demanda se ha evaluado en 161 hm³/año.

La figura adjunta muestra estas previsiones de ATLL (1996a) para la red regional, conjuntamente con la evolución histórica del pasado reciente. Se incluyen también dos proyecciones lineales de las tendencias observadas desde 1973, una considerando todos los datos, y otra ignorando el periodo de disminución 1992-95.

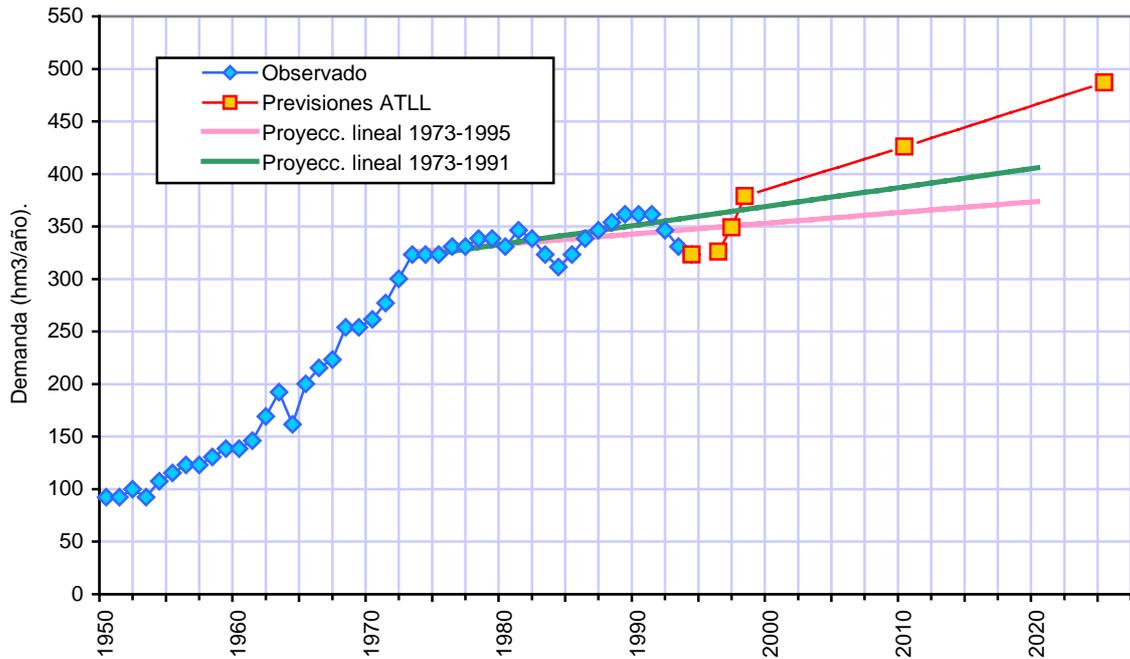


Figura 189. Evolución de demandas de la red regional

Como se observa, tras un rápido aumento debido a la satisfacción de la demanda latente actual y optimización del suministro, los crecimientos de futuro de la previsión ATLL (1996a) son relativamente importantes, y desde luego mayores que las proyecciones de tendencias lineales medias del periodo 1973-1995 y del periodo 1973-1991.

Es importante llamar la atención sobre un hecho subyacente a las estimaciones anteriores, y es el de que las sustituciones son la parte más importante de los incrementos de demanda previstos. Ello implica que una parte significativa de las posibles transferencias externas estaría destinada no a nuevas demandas, sino a la sustitución de caudales actualmente utilizados, desde una perspectiva de mejora de la calidad del agua. Ello conduce a otras cuestiones colaterales como la de los precios resultantes del agua, y su impacto sobre la aceptabilidad de las sustituciones previstas. Precios muy elevados tenderán a desincentivarlas, con lo que la demanda real puede verse disminuida frente a las previsiones realizadas. Cabe también suponer el efecto contrario, por el que una mayor degradación de las aguas superficiales y subterráneas propias acelere los intercambios e incremente su magnitud. Dilucidar tales cuestiones es complejo, y cae fuera del alcance y objetivos de este Plan Hidrológico Nacional.

En consecuencia, y adoptando un criterio cauteloso y conservador, admitiremos las mencionadas previsiones para nuestros análisis, por lo que, homogeneizándolas con los horizontes temporales de la planificación hidrológica, una estimación segura del incremento de demanda de la red regional a largo plazo sería del orden de los 140 hm³/año. Las proyecciones de tendencias lineales darían valores de incremento entre 50 y 80 hm³/año. Todas estas previsiones son notablemente inferiores a las del PHCIC, que se descarta a estos efectos.

Sintetizando lo expuesto, puede concluirse que, desde el punto de vista de la modelación del sistema, cabe considerar una nueva demanda básica en el ámbito de la red regional de Barcelona y su entorno, que es la virtual integradora de las sustituciones e incrementos futuros de demanda urbano-industrial, y que se cifra en 140 hm³/año. Ello supone asimismo la sustitución parcial de captaciones propias del acuífero del delta del Llobregat hasta un nivel sostenido de unos 50 hm³/año, y un aumento de los retornos de la zona que, salvo en el caso del Baix Llobregat, que se verá más adelante, supondremos difusos, diluentes, y no generadores de nuevos recursos utilizables.

Desde el punto de vista de la modelación, y dada la topología mallada y redundante de la red regional, la demanda virtual futura puede suponerse conectada tanto a Abrera como a Cardedeu, con servicio indistinto desde ambos puntos.

En cuanto a su distribución estacional, la supondremos igual a la media actual de las 8 unidades básicas antes definidas, lo que da lugar a los valores porcentuales mensuales mostrados en la tabla.

OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
8.4	8.1	8.5	8.4	7.6	8.4	8.1	8.5	8.3	8.8	8.6	8.3

Tabla 103. Distribución estacional del incremento de demandas de Barcelona y su entorno

Para el resto de las demandas futuras del sistema, en ATLL (1996b) se estima que en la cuenca del Ter habrá un apreciable aumento de demandas, pues el abastecimiento a Girona y Costa Brava pasa de 13 a 32 hm³/año, y los riegos del Bajo Ter pasan de 42 a 73 hm³/año, mientras que las demandas del Llobregat se mantienen todas a su mismo nivel actual excepto la correspondiente a Barcelona y su entorno, ya comentada.

Es dudoso que en el futuro se vaya a ampliar el regadío en la cuenca del Ter en las cuantías indicadas, y sin nuevas construir regulaciones específicas, pero, de forma conservadora, se asume esta posibilidad –traducible en todo caso a mejoras ambientales– a nuestros efectos de cálculo. Asimismo, se considera que posibles pequeños incrementos de las demandas del Llobregat, no previstos en estos momentos, quedarían en todo caso absorbidos por el margen cautelar de incertidumbre de la gran demanda futura urbano-industrial de Barcelona. Por último, surge un nuevo requerimiento de recursos para el subsistema del Tordera, de 30 hm³/año, que debe atenderse, como se indicó, desde el canal Ter-Llobregat, y con cargo a su máxima derivación actual de 8 m³/s.

10.2.2.5.4. Reutilización

En cuanto a la reutilización de aguas regeneradas, a los actuales efectos del Plan Hidrológico Nacional, en sintonía con los objetivos del PHCIC, y en la misma línea de rigor planteada en el resto de sistemas estudiados, se considera exigible el mayor esfuerzo posible de reutilización de retornos en todo el ámbito territorial, si bien dada la componente mayoritaria del abastecimiento urbano-industrial de esta cuenca, no será posible obtener cantidades tan significativas como en el caso de los retornos de

regadíos. Además, el hecho de que gran parte de esta demanda se concentre cerca de la costa dificulta aún más las posibilidades de reuso del agua, que requerirá con frecuencia su impulsión a cotas superiores, aguas arriba.

Desde un punto de vista territorial, y tal y como se vió anteriormente, los principales regadíos de las Cuencas Internas se sitúan en los sistemas Norte y Sur, mientras que los abastecimientos dominan en el sistema Centro. Ello hace que, desde el punto de vista de la demanda, las posibilidades de empleo de aguas regeneradas sean en principio mayores precisamente en aquellas cuencas más autosuficientes, donde no se prevé la necesidad de aporte de recursos externos. Es razonable que la mayor eficiencia en el empleo del agua en estas cuencas vaya en su propio beneficio –mejoras ambientales en los ríos- y no se destinen sus recursos a ser transferidos al área de Barcelona.

Una estimación de las posibilidades de reutilización en Cataluña (Mujeriego, 1995) arroja cifras del orden de los 40-80 hm³/año. Ciñéndonos al ámbito de influencia de ATLL, las cantidades estimadas son de 34 hm³/año de los que 10 son para regadíos agrícolas -básicamente en el Canal de la Derecha- 4 para riego de zonas verdes, y 20 para refrigeración de industrias (ATLL, 1999a). De estas cifras, solo las de riego agrícola son susceptibles de actuación unitaria generadora de recursos para la red regional (aporte puntual y directo al canal), dado el carácter diseminado de zonas verdes e industrias.

Otras experiencias de interés en el ámbito de las cuencas internas son las llevadas a cabo por el Consorci de la Costa Brava, en el sistema de explotación Norte, que además de emplear la reutilización para el suministro de instalaciones deportivas y riegos, desarrolla una interesante labor de experimentación y difusión de estas técnicas (Sala y Serra, 1998).

Además de las acciones locales y retornos ya enunciados, se da una situación singular en el área metropolitana de Barcelona, en la que próximamente se dispondrá de unos importantísimos caudales regenerados en la nueva estación depuradora del Baix Llobregat. Esta planta tratará 420.000 m³/día (unos 150 hm³/año), parte de los cuales pueden emplearse, una vez tratados, en atención a regadíos e industrias, lucha contra la intrusión marina, recarga del acuífero, y mejoras ambientales del delta. No se conoce aún la cuantificación detallada de tales posibilidades por lo que, a falta de precisar sus cuantías relativas, cabe suponer estimativamente unos 15 hm³/año para sustitución de regadíos, 20 para recarga y mejora del acuífero, y 15 para actuaciones ambientales en el delta. Todo ello supone en definitiva 50 hm³/año, que es un tercio del total tratado en la planta.

Considerando las incertidumbres de estas cifras, y con un criterio prudencial, supondremos englobadas aquí las posibles actuaciones unitarias de la previsión de ATLL antes expuesta.

Es importante tener en cuenta que maximizar la utilización de estos retornos con destino a riegos o caudales mínimos en la zona del delta permite liberar parcialmente recursos regulados para estos fines, lo que redundará obviamente en una mayor garantía global del sistema y una menor necesidad de transferencias externas. El 33% global parece en principio un mínimo prudente y razonable, por lo que lo adoptaremos en nuestro análisis.

A efectos de cómputo, esta reutilización puede introducirse como un retorno de las unidades de demanda de Barcelona-Llobregat y Barcelona Ter-Llobregat (demanda conjunta actual de $141 = 58 + 83 \text{ hm}^3/\text{año}$) del orden de $50 \text{ hm}^3/\text{año}$ (coef. 0,36), que puede físicamente aplicarse tanto a recargar el acuífero como a riegos y caudal ambiental del delta.

10.2.2.5.5. Síntesis de demandas futuras

Resumiendo todo lo expuesto, la tabla siguiente muestra las estimaciones de demandas futuras consideradas para el sistema, mostrando en color las modificaciones previstas respecto a la situación actual.

Unidad de demanda	Demanda ($\text{hm}^3/\text{año}$)	Distribución mensual de la demanda (%)											Ret. (%)	
		OC	NV	DC	EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG		ST
Alto Ter	28	7.7	7.4	7.6	7.6	6.9	7.7	8.2	9.5	9.5	10	9.8	8	71
Ter hasta Girona	20	5.8	5.2	5.4	5.4	4.9	5.8	8.1	12	13	14	13	7.4	
Girona-Costa Bava	32	7.2	7	7.2	7.2	6.5	7.2	7	7.2	11	11	11	11	
Acequia Monar	95	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	
Mixta Bajo Ter	46	5.6	5	5.2	5.2	4.7	5.6	8.1	12	13	15	13	7.4	
Regadíos del Bajo Ter	73	5.3	4.7	4.9	4.9	4.4	5.3	8.1	13	14	15	14	7.3	
Tordera	30	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	
Canal de Berga	70	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	100
Berga-Sallent	19	6.1	5.5	5.7	5.7	5.1	6.1	7.5	10	12	14	14	7.8	
Manresa y otros	25	6.5	6	6.2	6.2	5.6	6.5	7.6	10	11	13	13	7.9	80
Monistrol-Olesa	20	5.8	4.8	5	5	4.5	5	6.9	10	14	16	15	7.3	
Filtraciones cubetas	32	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	
Toma de Abrera	13	8.7	8.1	8.7	8.7	6.9	8.7	8.1	8.7	8.1	8.7	8.7	8.1	
Captaciones locales	54	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	
Riegos Baix Llobregat	50	7.9	3.7	10	12	11	5.9	7.2	8.1	8	8.6	9.8	8.6	50
Barcelona-Llobregat	58	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	36
Barcelona Ter-Llobregat	83	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	36
Barcelona-Ter	119	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	
Alella-Masnou	8	7.4	7.3	7.7	7.3	6.5	6.6	7	8	10	12	11	9.5	
Abrera-Garraf-Penedés	30	8.5	8.2	8.5	8.5	7.7	8.5	8.2	8.5	8.2	8.5	8.5	8.2	
Vallés Occidental	18	8.3	8	8.4	8.3	7.5	8.1	8	8.4	8.5	9	8.9	8.4	
Vallés Oriental	9	8.3	8.1	8.4	8.3	7.4	8.2	7.9	8.4	8.6	9.1	9	8.5	
Cardedeu	11	7.9	7.7	8.1	7.9	7.1	7.5	7.6	8.3	9.1	10	9.7	8.9	
Incr. fut. área Barcelona	140	8.4	8.1	8.5	8.4	7.6	8.4	8.1	8.5	8.3	8.8	8.6	8.3	
Total:	1083	7.9	7.3	7.9	8.0	7.2	7.7	8.0	9.1	9.3	9.9	9.7	8.2	

Tabla 104. Síntesis de demandas futuras consideradas

En cuanto a niveles de garantía, se adoptan los criterios estándar de la planificación hidrológica nacional, cifrados en déficit anuales acumulados de cuantías porcentuales [2,3,10] y [50,75,100] para abastecimientos urbano-industriales y riegos respectivamente. Las demandas ficticias de filtraciones o aprovechamientos fluyentes se procurarán satisfacer con la mayor preferencia, sin definir a priori su fallo de suministro. Para las demandas mixtas, relativamente frecuentes en este ámbito, se calcularán sus umbrales ponderados de fallo de forma proporcional a los indicados déficit máximos básicos según los distintos usos.

Además de tales criterios de caracterización del fallo ordinario, el coeficiente de fallo absoluto (umbral de fallo) se fija en un 3'0, dado el gran dominio de usos urbanos para los que se ha adoptado un criterio de fallo muy estricto, del orden de 3 veces inferior al estándar de la O.M. de 1992 sobre coordinación técnica. Ello supone, en definitiva, que el fallo ordinario de la O.M. pase a tener aquí la consideración de fallo absoluto.

10.2.3. CAUDALES MÍNIMOS

Siguiendo lo establecido en el Plan Hidrológico de las Cuencas Internas de Cataluña, y que se recoge por este Plan Nacional, los caudales mínimos circulantes en los distintos tramos fluviales, de relevancia a nuestros efectos, son los enumerados seguidamente.

En el subsistema del Ter, se establece una demanda ecológica, en los horizontes actual y futuro, de 107 hm³/año circulantes en desembocadura.

Igualmente, se ha fijado una demanda ambiental en el Bajo Llobregat de 10 hm³/año, que asimilaremos a un desagüe mínimo y permanente al mar, de tal cuantía, y en régimen continuo (unos 320 l/s). En el horizonte futuro, estos 10 hm³/año se elevan a 100.

Cabe indicar que estos valores futuros en las desembocaduras del Ter y Llobregat son sensiblemente coincidentes con la determinación realizada por la Junta d'Aigües en 1996, que los cifraba en 3 m³/s (95 hm³/año) en ambos casos (ATLL, 1999a).

Además de estas necesidades ambientales, los ríos de estas cuencas se caracterizan por una fuerte concentración de aprovechamientos industriales y pequeños saltos, al hilo de la corriente, mediante numerosos azudes de derivación, muy pequeños o nulos almacenamientos, y retornos al cauce. Inicialmente en régimen fluyente, la construcción de los embalses de cabecera los ha transformado en usuarios de aguas reguladas, intermedios entre estos embalses y los grandes centros de consumo, situados aguas abajo, a largas distancias de las presas de regulación.

Esta configuración y modo tradicional de aprovechamiento fluvial, de excepcional importancia en la historia económica de Cataluña, constituye un rasgo muy singular de esta cuenca, y se traduce, desde el punto de vista de nuestra modelación, en la necesidad de prever unos desembalses continuos desde cabecera, no tanto para las demandas singulares identificadas aguas abajo, sino para mantener un flujo permanente de mantenimiento y alisado de las pequeñas puntas de estos aprovechamientos dispersos y numerosos. Dado que tal flujo es concurrente con una deseable circulación mínima ambiental, se impondrá en el sistema como si de un caudal ecológico se tratase, sin perjuicio de la posibilidad de su anulación en situaciones críticas, considerando la naturaleza jurídica fluyente de los aprovechamientos afectados.

Con criterio empírico, los desembalses mínimos continuos, desde los embalses de La Baells y Sant Ponç se cifran en 3 y 1,5 m³/s respectivamente, valor éste último superior al 1 m³/s propuesto en ATLL (1996b). Asimismo, y con igual criterio, supondremos un desembalse mínimo hacia el Ter desde Susqueda de 3 m³/s, concordante con lo observado en el aforo del Pasteral.

La siguiente tabla resume los caudales mínimos propuestos que, siguiendo los criterios conceptuales adoptados en el Libro Blanco, se introducirán como restricciones de funcionamiento al sistema global de explotación de recursos.

Punto	Caudal mínimo actual			Caudal mínimo futuro		
	m ³ /s	hm ³ /año	hm ³ /mes	m ³ /s	hm ³ /año	hm ³ /mes
Ter en desembocadura		107	8,9		107	8,9
Baix Llobregat desembocadura		10	0,8		100	8,3
Desemb. Sant Ponç	1,5	47	3,9	1,5	47	3,9
Desemb. Baells (con C.I.Berga)	3	95	7,9	3	95	7,9
Salida del Pasteral hacia el Ter	3	95	7,9	3	95	7,9

Tabla 105. Caudales mínimos

10.2.4. ELEMENTOS DE REGULACIÓN SUPERFICIAL

El cuadro resumen de volúmenes máximos mensuales y volumen mínimo (hm³) de todos los embalses considerados en este análisis, es el adjunto. Se considera que los volúmenes máximos útiles se reducen en un 5% con respecto al total, y que, según se expone en ATLL (1996b), por razones de explotación vinculadas al deterioro de la calidad del agua, no es deseable bajar más de un 20% del embalse existente. Con todo ello resultan las capacidades finales (hm³) ofrecidas en la tabla, y que han sido, en todos los casos, excedidas en algún momento del registro histórico.

Embalse	Volumen total	Volumen max. útil	Volumen muerto	Mínimo de explotación	Volumen mínimo	Superficie (ha)
Sau	168	160	0	34	34	805
Susqueda	233	221	18	47	47	466
Sau-Susqueda	401	381	18	81	81	1271
La Baells	115	109	20	23	23	365
Llosa del Cavall	91	86	0	18	18	200
Sant Ponç	25	24	1	5	5	256
Llosa-S.Ponç	116	110	1	23	23	456

Tabla 106. Embalses de regulación considerados

Además de estos embalses, se introducen en el esquema tres almacenamientos ficticios: uno para representar al delta del Llobregat, al que nos referiremos más adelante, y dos para modelar posibles aportes externos procedentes del Ebro o Ródano. Estos dos embalses, junto con unas aportaciones también ficticias continuas o en régimen de 8 meses, permitirán simular con versatilidad distintos supuestos de funcionamiento de las transferencias externas.

Aunque el Plan Hidrológico de las Cuencas Internas de Cataluña prevé la construcción de distintos nuevos grandes embalses, en este análisis del sistema para el Plan Nacional se descarta tal supuesto, y se supone que serían, en todo caso, pequeños depósitos reguladores de maniobra, no construyéndose ninguno que pueda afectar significativamente al sistema global que se analiza. En consecuencia, la infraestructura de regulación futura se considera igual a la actual.

Este supuesto es un criterio razonable de diseño, y no prejuzga, obviamente, las decisiones que puedan adoptarse al respecto por las Administraciones competentes sobre tales infraestructuras.

Asimismo, y en aras a optimizar la explotación de la cuenca, se permite la regulación de recursos en cualquier embalse del sistema, con independencia de la tipificación jurídica de los destinos del agua, y buscando maximizar el servicio a las demandas existentes respetando sus diferentes prioridades. Este óptimo funcionamiento hidráulico puede conllevar, en su caso, efectos sobre la titularidad de derechos o la imputación de costes mediante las adecuadas figuras impositivas, cuyo análisis queda, obviamente, fuera del alcance de este Plan Nacional.

Estudiados los elementos de regulación superficial de los recursos propios, quedaría por evaluar únicamente las posibilidades de nuevos bombeos de aguas subterráneas y de uso conjunto, cuestión a la que se dedica el siguiente epígrafe.

10.2.5. ELEMENTOS DE REGULACIÓN SUBTERRÁNEA Y USO CONJUNTO

La recarga de las aguas subterráneas representa en las Cuencas Internas de Cataluña una fracción algo superior al 30% de la aportación total de la cuenca. En la actualidad se estiman unas extracciones del orden de 350 hm³/año, las cuales suponen un porcentaje superior al 25% de las demandas totales de la cuenca.

El objetivo del presente análisis es estudiar las posibilidades de incrementar las disponibilidades de recursos en la cuenca mediante la intensificación del uso de las aguas subterráneas. Para ello se ha realizado una sencilla estimación de los recursos subterráneos no utilizados en la actualidad. Al no disponer de información del Plan Hidrológico de cuenca sobre recargas y bombeos en los acuíferos, se han utilizado fundamentalmente los datos procedentes del Libro Blanco de las Aguas Subterráneas (MOPTMA-MINER, 1994) y de otras fuentes de información que los actualizan, y que se indicarán en cada caso. Tras este análisis, se contrastarán sus resultados con los ofrecidos en otros estudios disponibles, extrayendo unas conclusiones básicas pertinentes a nuestros efectos de la planificación nacional.

10.2.5.1. ANÁLISIS BÁSICOS

Un análisis muy preliminar del posible incremento disponibilidades podría consistir en hallar las diferencias entre las recargas y bombeos a la escala global del ámbito de Cuencas Internas de Cataluña. Sin embargo esta simple estimación distaría mucho de ser rigurosa, pues parte del aumento de disponibilidades debidas a los bombeos quedaría embebida en las correspondientes a los embalses, dado que estos bombeos podrían disminuir las aportaciones entrantes a los embalses si se sitúan en acuíferos que drenan hacia ellos, y, en consecuencia, mermar considerablemente la cifra de regulación superficial. En teoría, otra parte sí que serviría para aumentar las disponibilidades ya que significaría mejorar la regulación del sistema mediante la utilización de los acuíferos que drenan a las cuencas vertientes a los embalses.

Puede admitirse en la práctica que, en las Cuencas Internas de Cataluña, la utilización de los acuíferos situados aguas arriba de los embalses no mejoraría significativamente las disponibilidades, tal y como se deduce al analizar los recursos naturales y disponibles en las cuencas vertientes a dos de los principales almacenamientos de la cuenca, el de La Baells en el Llobregat y el de Sau en el Ter, cuyos datos se muestran en la tabla adjunta.

Embalse	Recurso natural ($\text{hm}^3/\text{año}$)	Recurso disponible ($\text{hm}^3/\text{año}$)	Porcentaje de regulación
La Baells	180	149	83
Sau	482	376	78

Tabla 107. Porcentajes de regulación en las cuencas vertientes a La Baells y Sau

Según estas cifras, las cuencas vertientes a esos embalses (v. figura adjunta) ya tienen una regulación importante, con porcentajes del orden del 80%. Los datos reflejados en la tabla anterior han sido obtenidos mediante los modelos de simulación de aportaciones naturales y de optimización de los sistemas de explotación de recursos utilizados en el LBAE y con los cuales ya se estimaron las cifras globales para cada uno de los ámbitos de planificación, tal y como allí se expuso.

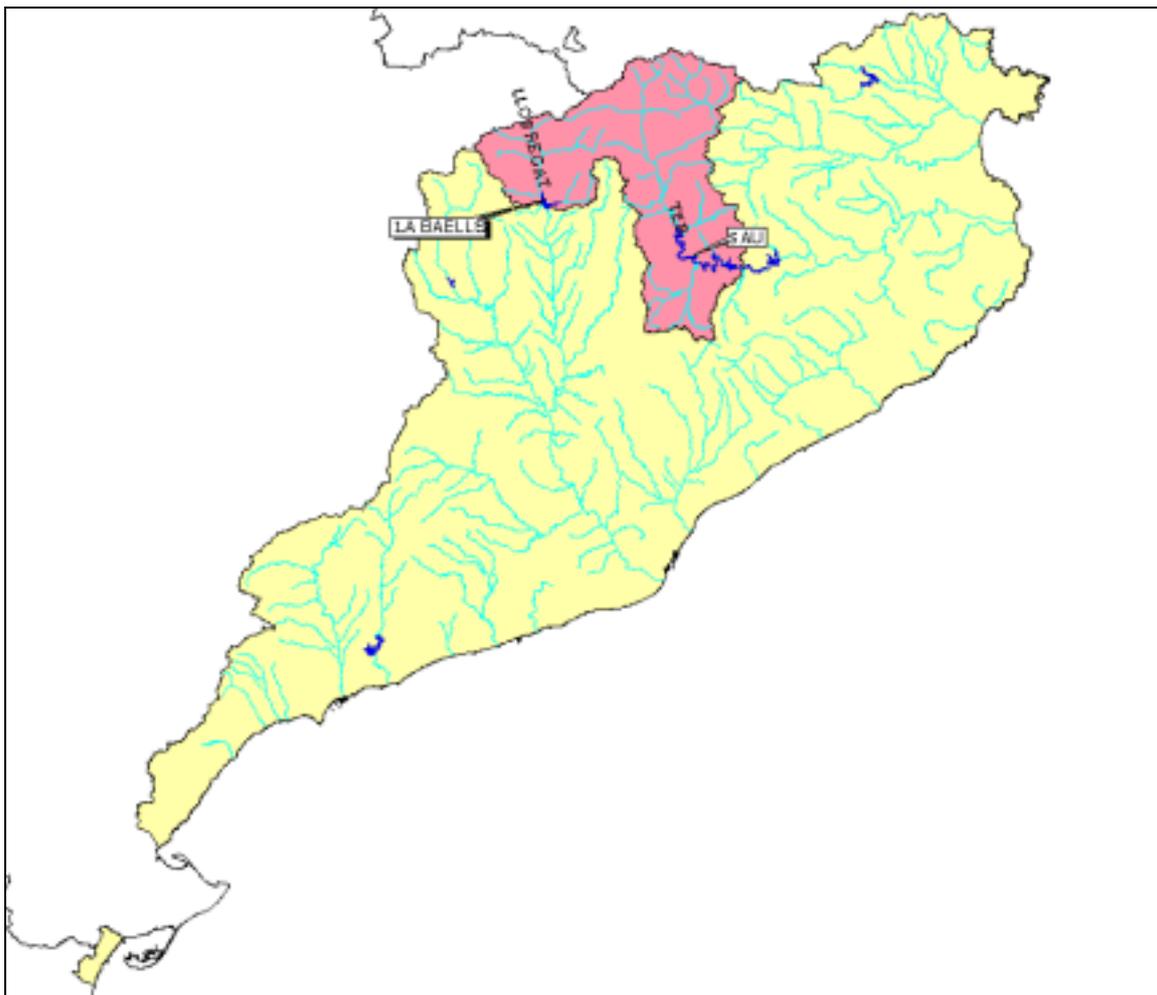


Figura 190. Cuencas vertientes a los embalses de La Baells y Sau

Es por tanto razonable que el análisis se centre en los acuíferos situados aguas abajo de los embalses, configurados en las unidades hidrogeológicas mostradas en la figura.

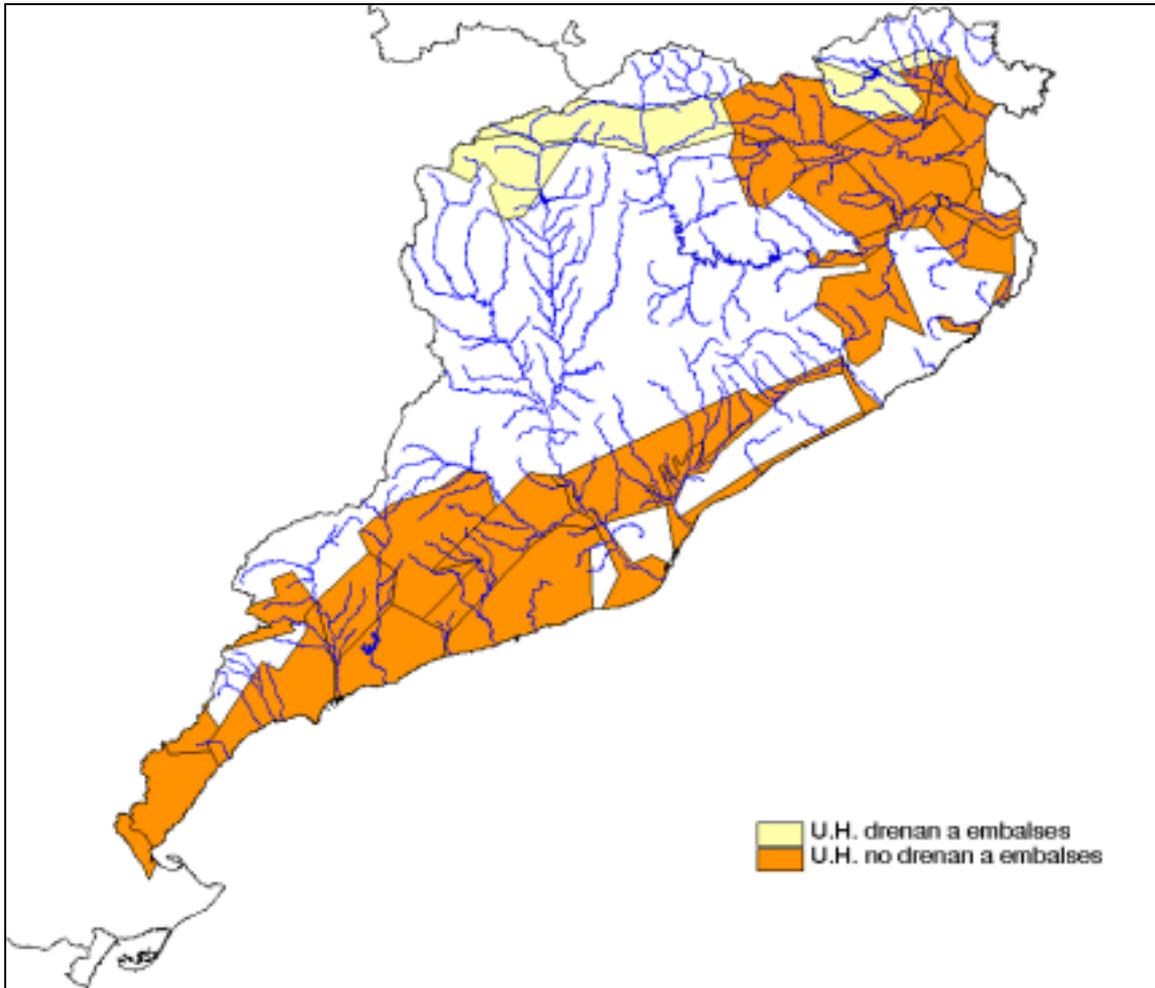


Figura 191. Selección de unidades hidrogeológicas en las Cuencas Internas de Cataluña

Para realizar este análisis se han considerado dos hipótesis: las derivadas de asumir, o no, que parte de las extracciones de las aguas subterráneas se utilizan para reducir los problemas de sobreexplotación. En la primera hipótesis el recurso que todavía podría utilizarse sería como máximo igual al sumatorio de las diferencias entre las recargas y bombeos de todas las unidades hidrogeológicas consideradas. En la segunda hipótesis el recurso sería mayor al no considerar que las posibles extracciones adicionales pueden servir para atender en parte la sobreexplotación existente. En este caso el recurso todavía utilizable se ha obtenido como el sumatorio de las diferencias entre las recargas y bombeos en aquellas unidades donde los bombeos son inferiores a las recargas.

Evidentemente, el procedimiento empleado hace que estos teóricos recursos potenciales adicionales deban entenderse como un límite superior absoluto que sirve para acotar las máximas posibilidades de extracción de agua de los acuíferos en las Cuencas Internas de Cataluña, y no como el verdadero valor objetivo al que debe

dirigirse la gestión de la cuenca. Consideraciones medioambientales y de calidad del agua requerirán una reducción a la baja de tales máximos potenciales.

En la tabla adjunta, de elaboración propia a partir de información contenida en el Plan de cuenca y otras fuentes, se muestra una estimación de los incrementos potenciales de esas extracciones en las unidades hidrogeológicas consideradas de la cuenca, observándose que el incremento máximo teórico sería de unos 330 hm³/año en lo que representaría casi un 100 % de aumento respecto a los bombeos actuales. Las dos hipótesis tienen valores muy próximos al ser la sobreexplotación de acuíferos muy baja.

Infiltración por lluvia y cauces (hm ³ /año)	Infiltración por excedentes de riego (hm ³ /año)	Recarga (hm ³ /año)	Transferencias (hm ³ /año)	Bombeo actual (hm ³ /año)	Incremento potencial teórico de bombeo (considerando la sobreexplotación)	Incremento potencial teórico de bombeo (sin considerar la sobreexplotación)
614	70	684	6	357	333	338

Tabla 108. Incremento en la explotación de las aguas subterráneas

Las cifras globales anteriores proceden de integrar los recursos adicionales estimados en las unidades hidrogeológicas, sin hacer ninguna consideración locacional. Conviene también analizar como se distribuyen esos recursos potenciales a través del territorio de la cuenca, para lo que en la figura adjunta se muestran las cifras de infiltración debida a lluvia y cauces, los bombeos, y la diferencia entre las transferencias subterráneas que entran y salen de una cada unidad hidrogeológica.

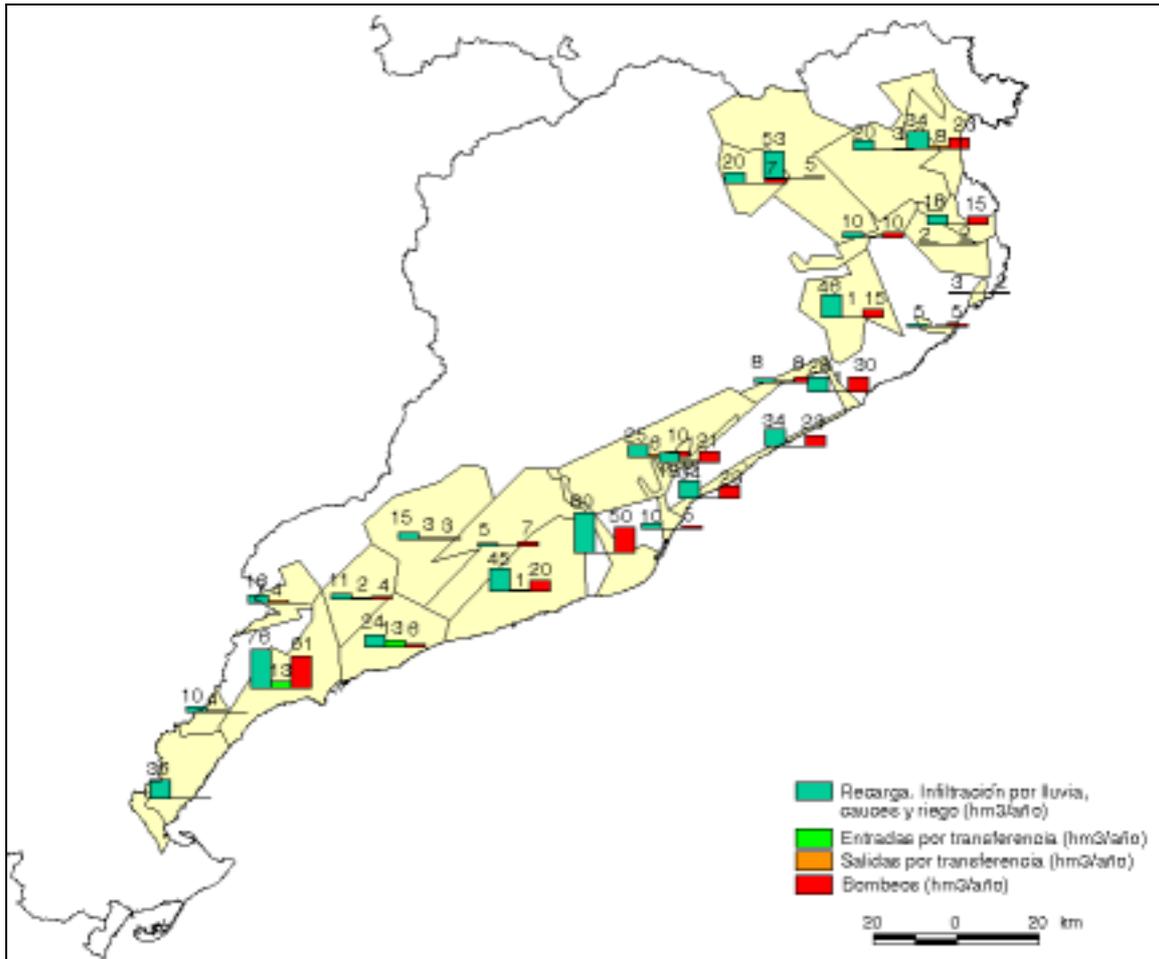


Figura 192. Recargas y bombeos en las unidades hidrogeológicas consideradas de las Cuencas Internas de Cataluña

A partir de los datos anteriores se han obtenido las diferencias entre la suma de las recargas más las transferencias, y los bombeos, en las diferentes unidades hidrogeológicas consideradas, mostrándose los resultados de forma sintética en la siguiente figura.

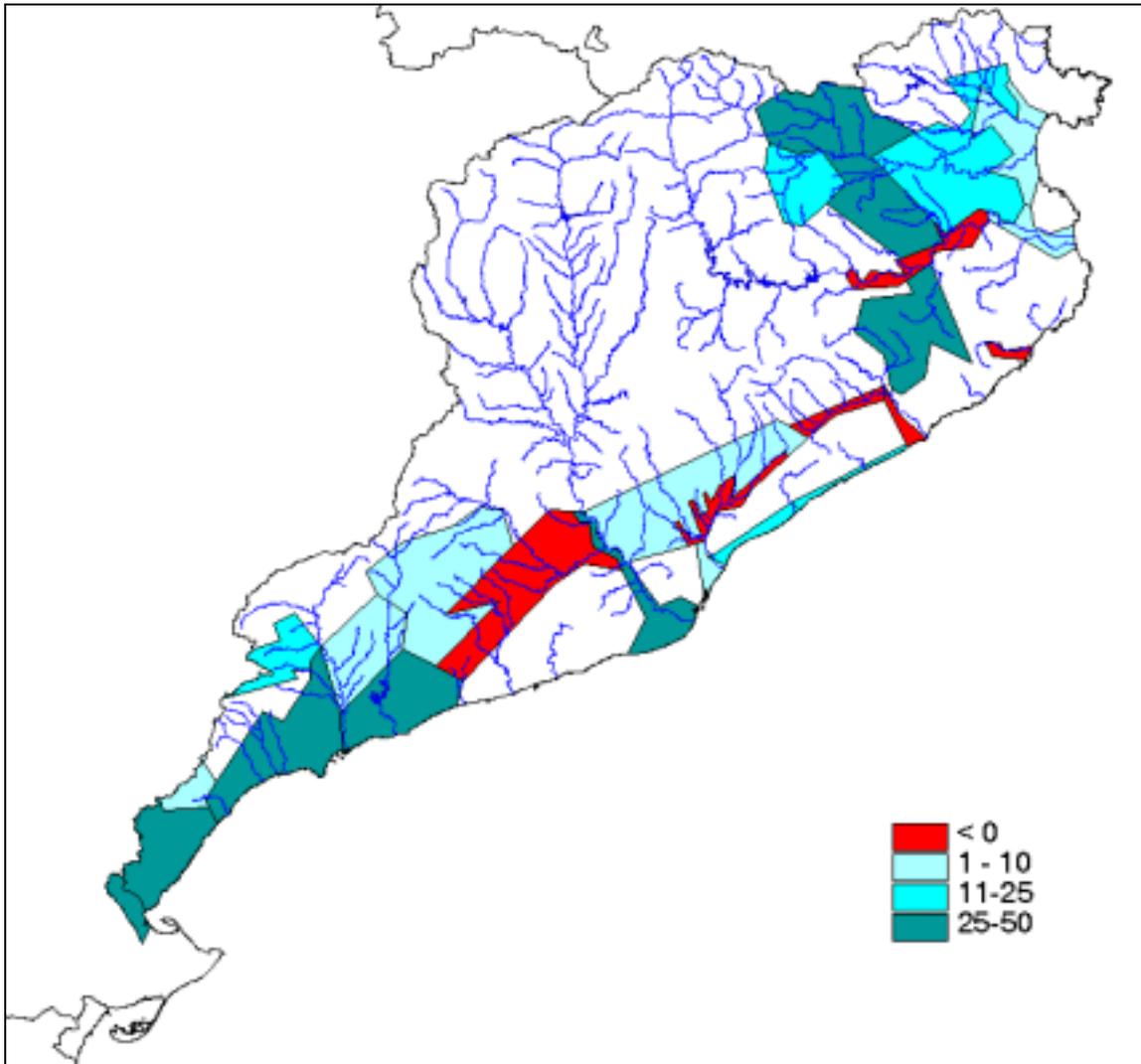


Figura 193. Diferencia entre recargas más transferencias y bombeos (en $\text{hm}^3/\text{año}$) en las unidades hidrogeológicas consideradas de las Cuencas Internas de Cataluña

El análisis de las figuras anteriores muestra con claridad que las principales zonas de las Cuencas Internas de Cataluña donde se podrían captar recursos subterráneos adicionales son las siguientes.

- En las unidades hidrogeológicas costeras del Sur, en las proximidades de Tarragona, podrían extraerse, teóricamente, del orden de $100 \text{ hm}^3/\text{año}$. Sin embargo, conviene recordar que, como se indicó al describir la situación del sistema de explotación Sur, en los últimos años se han reducido de forma importante los bombeos al disponer de una fuente alternativa, la aportación procedente de los canales del delta del Ebro. En la práctica, y dados los antecedentes existentes, no debería contarse con unos recursos adicionales de estos acuíferos superiores a unos pocos hm^3 anuales.
- El Delta del Llobregat es uno de los principales acuíferos de la cuenca. Aunque en los años 70 las extracciones alcanzaron los $130 \text{ hm}^3/\text{año}$, en la actualidad éstas se han reducido a algo menos de $50 \text{ hm}^3/\text{año}$, debido básicamente a la importantísima disminución de los usos industriales (Vilaró, 1996). Teniendo en cuenta que la suma

de la recarga natural y artificial puede estimarse en unos 80 hm³/año, todavía podrían utilizarse unos recursos adicionales teóricos de 30 hm³/año. Debe tenerse en cuenta, en cualquier caso, que esto significaría volver a aumentar los bombeos en el acuífero. Dada su importancia y situación estratégica, volveremos sobre este acuífero más adelante.

- En los acuíferos del Alt y Baix Maresme, que se encuentran bastante equilibrados en cuanto a las recargas y bombeos, teóricamente podrían extraerse del orden de unos 20 hm³/año a lo sumo. En la actualidad, en el área costera del Baix Maresme, desde Barcelona a Mataró, las aportaciones de aguas subterráneas se completan por ejemplo con agua derivada del acueducto Ter-Llobregat (Batista, 1996).
- Entre la cabecera del Tordera y la cuenca intermedia del Ter se localiza la unidad hidrogeológica de la Selva, donde se estima que podrían aprovecharse unos recursos adicionales teóricos de unos 30 hm³/año. No es, en cualquier caso, un acuífero que haya sido objeto de referencias sobre las posibilidades de una mayor explotación, por lo que habría que tomar con cierta cautela la cifra anterior.
- Los acuíferos de la zona Norte, en las cuencas de los ríos Ter, Fluvià y Muga, cuentan con unos recursos adicionales teóricos del orden de 100 hm³/año, destacando la unidad hidrogeológica de Banyoles, con casi 50 hm³/año. Conviene mencionar sin embargo que este acuífero tiene un tiempo de respuesta rápido, lo que significa que el efecto de las extracciones en el acuífero se transmite rápidamente a los caudales del río, provocando una disminución similar de éstos y, por tanto, no aumentando significativamente la regulación. En principio, los acuíferos del Ter, Fluvià y Muga son los que permitirían una mayor explotación adicional en todo el ámbito de las Cuencas Internas de Cataluña, con ciertas reservas en el acuífero del Bajo Ter, donde existen datos discrepantes sobre los bombeos según las distintas fuentes de información (MOPTMA-MINER [1994]; Batista [1996]; Molist [1996]), y donde se tiene constancia de la formación de conos de bombeos locales muy acusados en el abastecimiento de las poblaciones de Pals y Palafrugell, así como la existencia de problemas de contaminación por metales pesados (hierro y manganeso). Con relación a los acuíferos del Muga-Fluvià, conviene mencionar que el Plan Hidrológico de cuenca dice que *se considera conveniente la regulación de la explotación del acuífero de Muga-Fluvià, a fin de ordenar los aprovechamientos que localmente pueden ser importantes, en especial los destinados al abastecimiento.*

10.2.5.2. OTROS ANÁLISIS DISPONIBLES

Los resultados anteriormente expuestos han sido obtenidos mediante un análisis básico de balances hidrogeológicos de las unidades del ámbito. Es oportuno contrastar tales resultados con otros estudios previos disponibles (MOPTMA, 1995) orientados específicamente a investigar la posibilidad de intensificación del uso de las aguas subterráneas. En estos trabajos se han analizado las unidades hidrogeológicas considerando el hecho de que los excedentes actuales sean o no utilizados, de que se

trate de unidades costeras, o de que existan valores ecológicos de deseable conservación relacionados con la unidad.

La conclusión obtenida para el ámbito de las Cuencas Internas de Cataluña es que los posibles incrementos de explotación (unos 21 hm³/año) se concentran básicamente en el sistema Norte y se basan en la explotación por bombeo de acuíferos aluviales. A largo plazo, y tras su completa recuperación, se propone incrementar la explotación del Campo de Tarragona. No se propone mejorar los aprovechamientos de La Selva con objeto de no afectar las numerosas fuentes termales y manantiales y los valores naturales relacionados con esta unidad. Las reducciones más importantes se proponen en el sistema Centro, y son del mismo orden de magnitud que el incremento de extracciones, por lo que el saldo global de todo el ámbito es sensiblemente equilibrado. Este trabajo supone la existencia de los embalses de Santa Coloma, La Llavina, Carme, Jorba, Esponellá, Sant Jaume, etc., previstos en el Plan Hidrológico de las Cuencas Internas de Cataluña. Dado que la viabilidad de estos embalses es muy dudosa, los resultados de extracciones sugeridas podrían ser revisados al alza, especialmente en el sistema Norte.

10.2.5.3. RESULTADOS BÁSICOS

En definitiva, sintetizando cuanto se ha expuesto, cabe extraer como conclusión básica que aunque en una primera aproximación, de carácter global, podrían utilizarse unos recursos subterráneos adicionales teóricos máximos del orden de 300 hm³/año, cuando se realiza este análisis de forma territorial, y se tienen en cuenta otras consideraciones como los antecedentes en la explotación, los problemas de calidad e intrusión marina, las características y tiempos de respuesta de los acuíferos, las afecciones ambientales por secado de manantiales, etc., la cifra anterior se reduce significativamente a valores que, en un análisis preliminar, podrían ser del orden de hasta unos 100 hm³/año, y situados preferentemente, tal y como se ha expuesto, en el sistema de explotación Norte.

Los efectos de tales bombeos máximos sobre la regulación del sistema podrían estudiarse analizando la diferencia de circulaciones entre el régimen actual y el nuevo régimen con mayor bombeo, y estudiando la modulación de estos flujos en relación con los requerimientos del sistema. Tales análisis pueden realizarse con relativa facilidad mediante modelos de simulación detallados, obviamente fuera del alcance y objetivos de este Plan Nacional. Nótese que el hecho de que las mayores posibilidades se prevean en el sistema Norte hace que su utilidad relativa desde el punto de vista de las posibles transferencias externas se vea muy reducida, ya que serían básicamente las cuencas del Muga, Fluviá y Ter las que mejorarían su situación hidráulica, pero no la del Llobregat, en el sistema Centro, que es donde se concentra masivamente la demanda hídrica actual y futura.

Por otra parte, cabe también concebir la cuantía de 100 hm³/año no como una disponibilidad continua, sino como una reserva disponible que puede movilizarse a voluntad en periodos críticos. Ello conduce a que tal caudal pueda ser considerado una primera estimación del volumen máximo adicional movilizable como socorro excepcional ante crisis de suministro del actual sistema de explotación, y así se tendrá en cuenta en nuestro análisis.

Debe señalarse que tal concepto es muy apropiado con el carácter costero de muchos acuíferos de la zona, cerca de las áreas de demanda, y que pueden jugar un importante papel como almacenamientos de reserva para proporcionar puntas de explotación y suministros de emergencia.

10.2.5.4. EL DELTA DEL LLOBREGAT

Como ya se indicó, existe un acuífero -de entre todos los descritos- de excepcional importancia en el sistema global de explotación de las Cuencas Internas, que es el del Bajo Llobregat, estratégicamente situado en las inmediaciones de la gran concentración de demandas de Barcelona, muy estudiado, y con buenas posibilidades para uso conjunto, por lo que lo analizaremos seguidamente con algún mayor detalle.

Desde el punto de vista de su funcionalidad como elemento de almacenamiento de agua, la capacidad de embalse de este acuífero se ha estimado en 230 hm³, de los que el año 1976 se llegaron a movilizar 110, con un descenso piezométrico de 17 mts. (Molist Sagarra, 1996).

La evolución de sus extracciones es la ofrecida en la figura adjunta, en la que se muestran las extracciones totales del acuífero según ATLL (1996a), los bombeos totales, las extracciones totales netas (totales menos la recarga artificial), y las extracciones totales netas del delta propiamente dicho, sin incluir las del valle bajo, tomadas de Bocanegra y Custodio (1994).

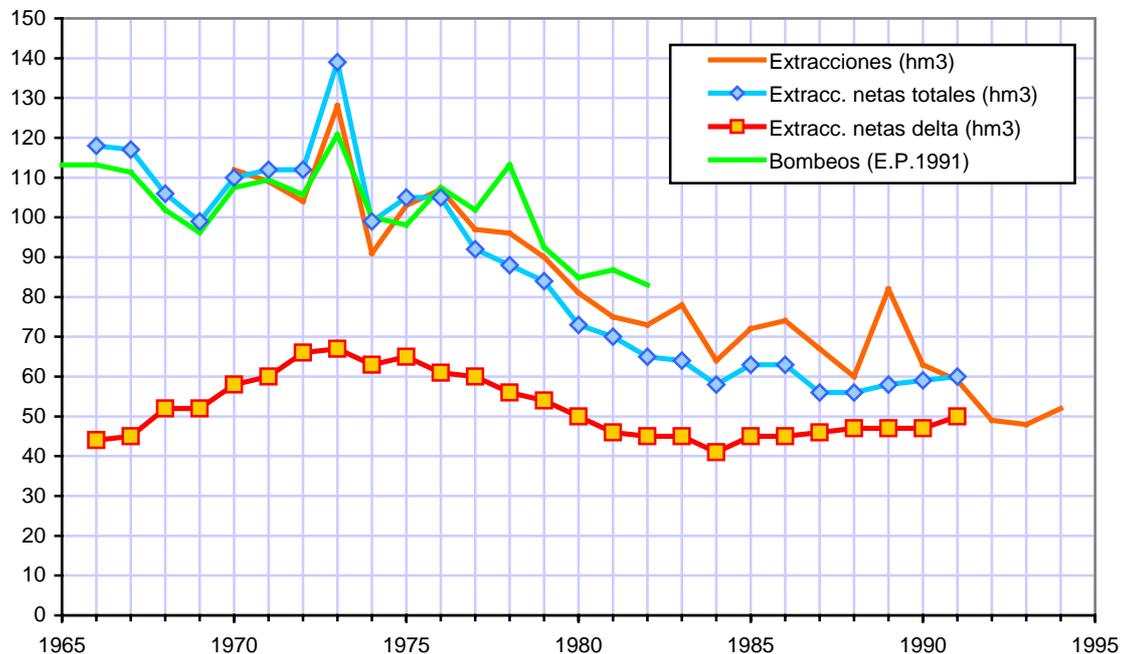


Figura 194. Evolución de extracciones anuales del acuífero del delta del Llobregat

Como puede verse, las estimaciones de las distintas fuentes son sensiblemente coincidentes, y todas apuntan hacia un descenso progresivo de las extracciones desde mediados de los años 70, hasta situarse en valores actuales en torno a los 50 hm³/año.

La figura adjunta muestra la pasada evolución de los componentes del balance hídrico en el acuífero, deducidos de un modelo de simulación del flujo desarrollado para el Plan Hidrológico del Pirineo Oriental (Bocanegra y Custodio, 1994), y en el periodo donde aún no había descendido significativamente el nivel de extracciones.

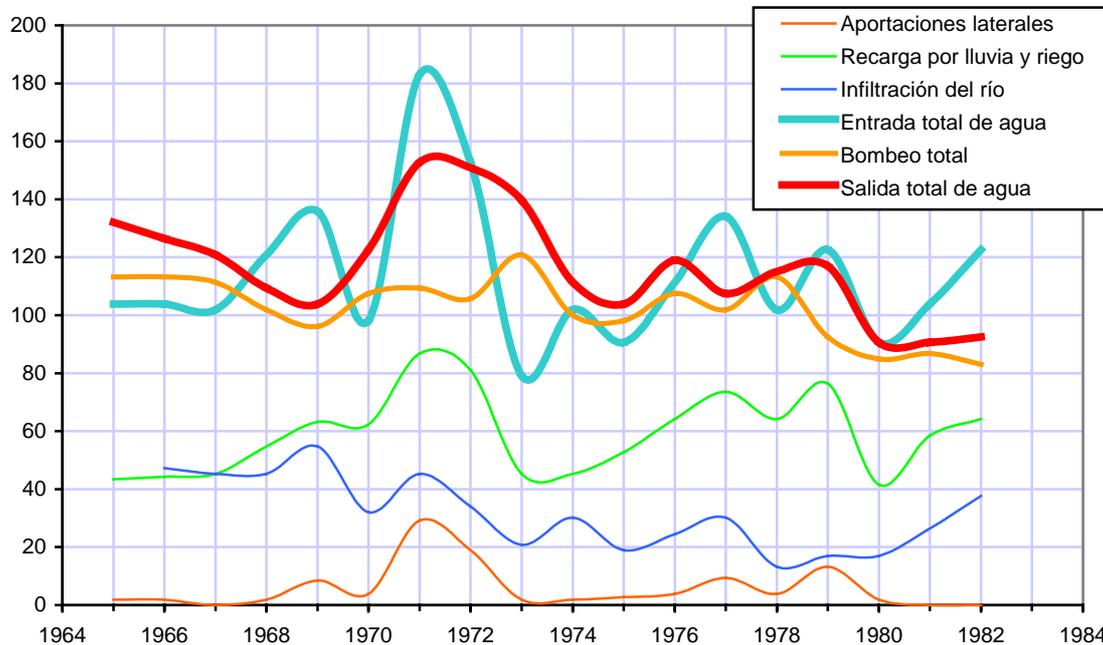


Figura 195. Evolución del balance de agua ($\text{hm}^3/\text{año}$) en el acuífero del delta del Llobregat

Como puede verse, una parte importante de la recarga es debida a la infiltración del río, aunque ha ido disminuyendo con el paso del tiempo debido a la construcción de encauzamientos para defensa contra avenidas, disminución de crecidas por mayor regulación aguas arriba, merma de caudales por derivaciones, etc. Una estimación razonable de la merma fluvial actual podría estar en torno a los $20\text{-}30 \text{ hm}^3/\text{año}$, con un máximo estimado del orden de 60 , lo que equivale a $5 \text{ hm}^3/\text{mes}$ de capacidad máxima de recarga natural por infiltración fluvial. Si a ello se añade la posible recarga artificial con aguas procedentes de la depuradora del Baix Llobregat, estimada inicialmente en unos $20 \text{ hm}^3/\text{año}$, la capacidad total máxima de recarga resulta ser del orden de $80 \text{ hm}^3/\text{año}$ (unos $7 \text{ hm}^3/\text{mes}$). Asimismo, la recarga fluvial mínima observada es del orden de $13 \text{ hm}^3/\text{año}$, equivalente a $1 \text{ hm}^3/\text{mes}$.

Además de ésta, la otra componente fundamental de la recarga, más importante aún, es la debida a la lluvia y riegos sobre el acuífero, de las que la lluvia es despreciable frente al excedente del riego. Los regadíos del Baix Llobregat emplean en general dotaciones elevadas (hasta $20.000 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$, con una media del orden de 10.000), con lo que se consiguen efectos positivos de limpieza y lavado sin fungicidas, y de recarga del acuífero. Con unos excedentes de regadío del orden de $600 \text{ mm}/\text{año}$ (Bocanegra y Custodio, 1994), la recarga inducida por este concepto sería del orden de los $35 \text{ hm}^3/\text{año}$, magnitud encajada con la estimación mostrada en la figura. Puesto que la superficie regada en el delta se encuentra en retroceso debido a la creciente ocupación urbana, una estimación prudencial de esta recarga en el futuro podría estar en torno a

los 25 hm³/año, lo que viene a suponer del orden del 50% de la aplicación de 50 hm³/año que se ha supuesto como demanda de riego del Baix Llobregat (coeficiente de retorno de 0,5).

En definitiva, desde el punto de vista de nuestra modelación del sistema el acuífero del delta del Llobregat puede considerarse simplificada como un embalse de capacidad 110 hm³ (máximo movilizadado en 1 año), con recargas fluvial natural y artificial entre 13 y 80 hm³/año, recarga por excedentes de riego del orden de 25 hm³/año, y una capacidad de bombeo para alertas de 4 m³/s en Martorell, lo que supone unos 10,5 hm³/mes en punta, que reduciremos a 8 hm³/mes en régimen continuo.

Obviamente, una representación detallada del sistema río-acuífero requiere de estudios específicos y modelación distribuida del sistema subterráneo conectado al sistema de superficie. Tales simulaciones de detalle, de las que existen numerosos trabajos, corresponden, en su caso, a la planificación hidrológica de cuenca y quedan, obviamente, fuera del alcance y objetivos de este Plan Nacional.

10.2.6. CONDUCCIONES

El cuadro adjunto resume las capacidades de las conducciones básicas consideradas en el esquema, adoptadas básicamente de ATLL (1996b). Por analogía con los criterios adoptados en los otros análisis de este Plan Nacional, no se impone ninguna limitación de servicio estacional, y a las conducciones propias previstas en el Plan de cuenca se añaden ahora las vinculadas específicamente al Plan Nacional, que son las correspondientes a las posibles transferencias desde el Ebro y el Ródano.

CONDUCCIÓN	Q _{max} (m ³ /s)	Q _{max} (hm ³ /año)	Q _{max} (hm ³ /mes)
Canal de Berga	2.49	78.5	6.5
Canal de Manresa	1	31.5	2.6
Trasvase Ter-Llobregat	8	252.3	21.0
Toma de Abrera	8	252.3	21.0
Toma de S. Joan Despí	4.76	150.1	12.5
Abrera-Vallés Occidental	2	63.1	5.3
Abrera-S. Joan Despí	7	220.8	18.4
Abrera-Trinitat	10	315.4	26.3
Sant Joan -Barcelona	5	157.7	13.1
Trinitat-Barcelona	8	252.3	21.0
Alella-Vallés Oriental	1	31.5	2.6
Vallés Occ.-Alella	2	63.1	5.3
Cardedeu-Alella	10	315.4	26.3
Alella-Trinitat	10	315.4	26.3

Tabla 109 . Conducciones consideradas

10.2.7. ESQUEMA GENERAL

Con los elementos descritos en epígrafes anteriores se ha construido el sistema básico de explotación general de las Cuencas Internas de Cataluña, tal y como se muestra en el gráfico adjunto.

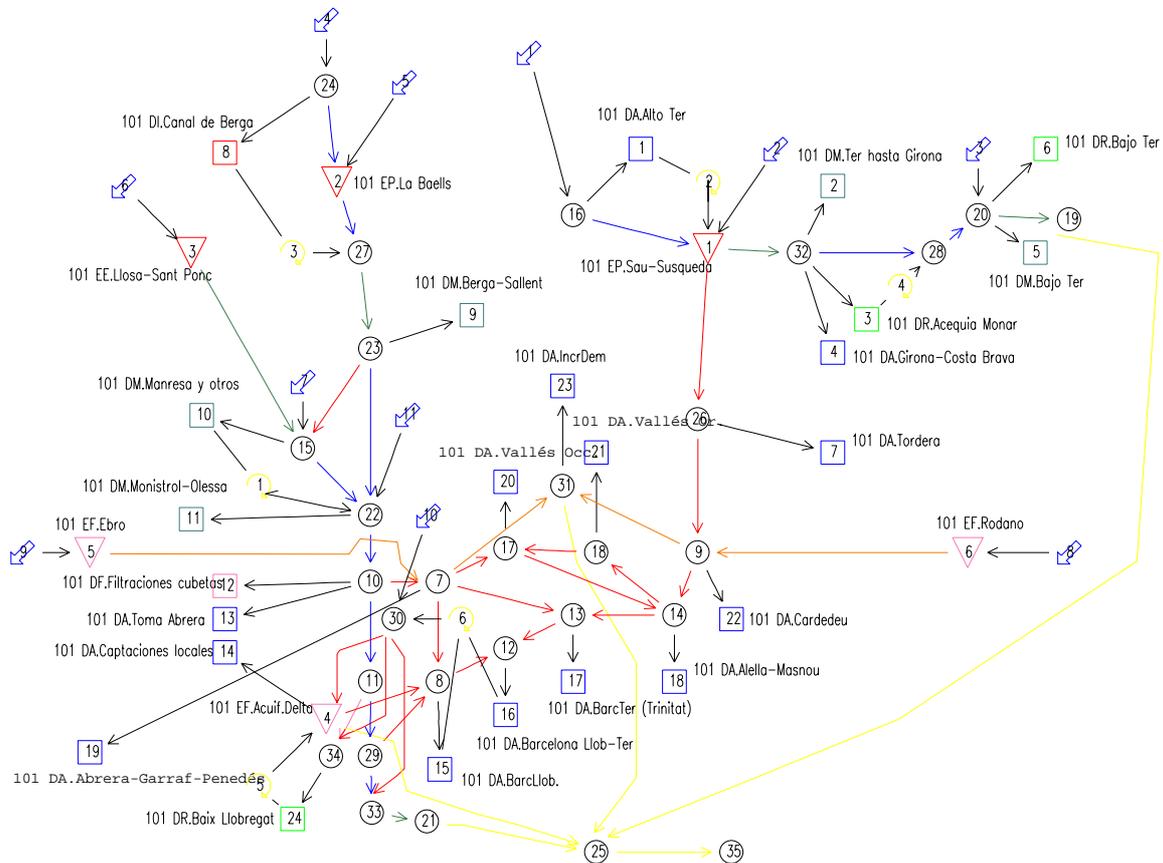


Figura 196. Sistema básico de explotación de las Cuencas Internas de Cataluña

Este sistema es el que se somete a optimización de la gestión y análisis de la regulación general, con los resultados que seguidamente se exponen.

10.3. ANÁLISIS Y RESULTADOS OBTENIDOS

Establecidos los elementos del esquema para la situación actual y futura, puede abordarse el análisis del sistema básico de explotación de las Cuencas Internas de Cataluña, examinando en primer lugar la situación actual, y estudiando después el horizonte a largo plazo desde el punto de vista de la posible necesidad de transferencias externas a este ámbito.

10.3.1. SITUACIÓN ACTUAL

Comenzando por el estudio de la situación actual, tras un somero ajuste del modelo se han comprobado, como meros elementos de contraste, algunos flujos significativos del sistema: los caudales circulantes por el Llobregat en el curso medio y bajo, los desembalsados desde el Ter para su cuenca propia, y los derivados del Ter hacia el Llobregat mediante el canal de trasvase.

Hay que indicar que este contraste atiende al aspecto general de los flujos principales, y no supone una calibración del modelo propiamente dicha, ya que el objetivo que se persigue no es reproducir el comportamiento del pasado, sino obtener cual es el mejor comportamiento posible en las condiciones de infraestructuras y demandas existentes y futuras, y cual es el rendimiento y garantías del sistema bajo este supuesto de explotación óptima, que es el de obligada consideración en este Plan Hidrológico Nacional.

Con este concepto del contraste, la figura adjunta muestra los aforos del Llobregat en el curso medio, tras la confluencia con el Cardener (estación del Castellbell), y los aforos cerca de desembocadura, en Sant Joan Despí. El primero es un punto representativo de los recursos desembalsados desde cabecera con destino a los consumos del curso bajo, y el segundo, ya en el tramo final del río, es representativo de la entrada al delta, en cabeza del sistema superficial de suministro de Aguas de Barcelona e indicativo de sus caudales superficiales disponibles (Ferrer Embodas, 1996). El hecho de que, como se vió, el suministro haya permanecido sensiblemente constante desde mediados de los 70, hace que las series puedan considerarse como estacionarias y comparables, salvo en lo relativo a las nuevas regulaciones desarrolladas en ese periodo.

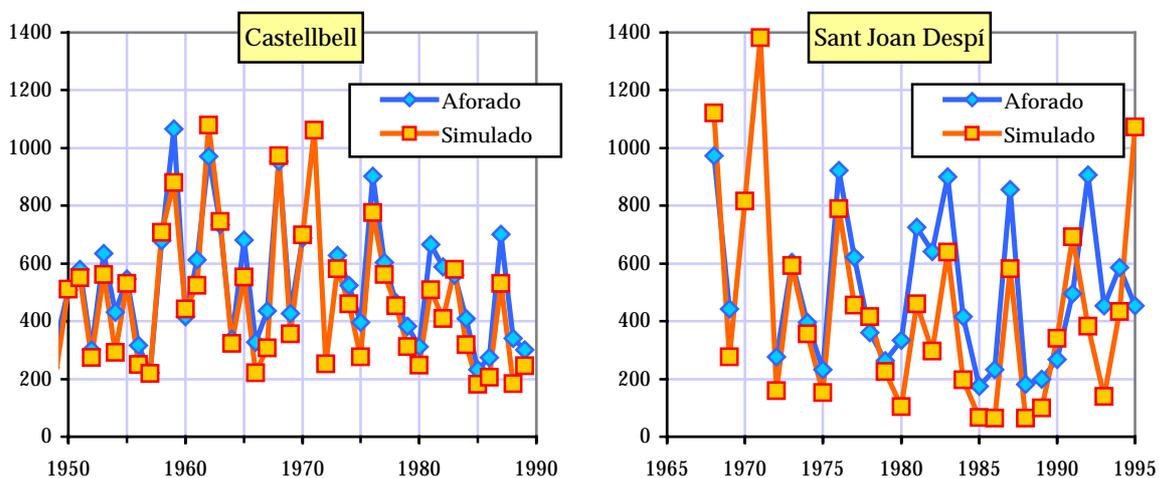


Figura 197. Aportaciones anuales aforadas y simuladas en el Llobregat ($\text{hm}^3/\text{año}$)

Como puede apreciarse, las aportaciones simuladas y observadas en Castellbell muestran un excelente acuerdo, lo que revela que los flujos descendentes desde el Llobregat y Cardener (suma de sueltas de los embalses y caudales no regulados) hacia los grandes aprovechamientos situados aguas abajo están muy bien caracterizados. Asimismo el flujo simulado en Sant Joan Despí presenta un comportamiento similar al

aforado, con rachas y extremos sensiblemente coincidentes, aunque mostrando un cierto efecto de reducción sistemática desde comienzos de los 80, explicable sin duda por la contribución a la satisfacción de la demanda metropolitana de Barcelona. En definitiva, el modelo queda del lado de la seguridad, reproduciendo bien los rasgos básicos de la circulación fluvial en la zona incluso en puntos tan complejos y de régimen tan alterado como el curso bajo del río.

Del mismo modo, y atendiendo ahora al río Ter, la figura adjunta muestra las salidas anuales hacia el Ter desde el Pasteral, y el flujo circulante por el canal de trasvase al Llobregat.

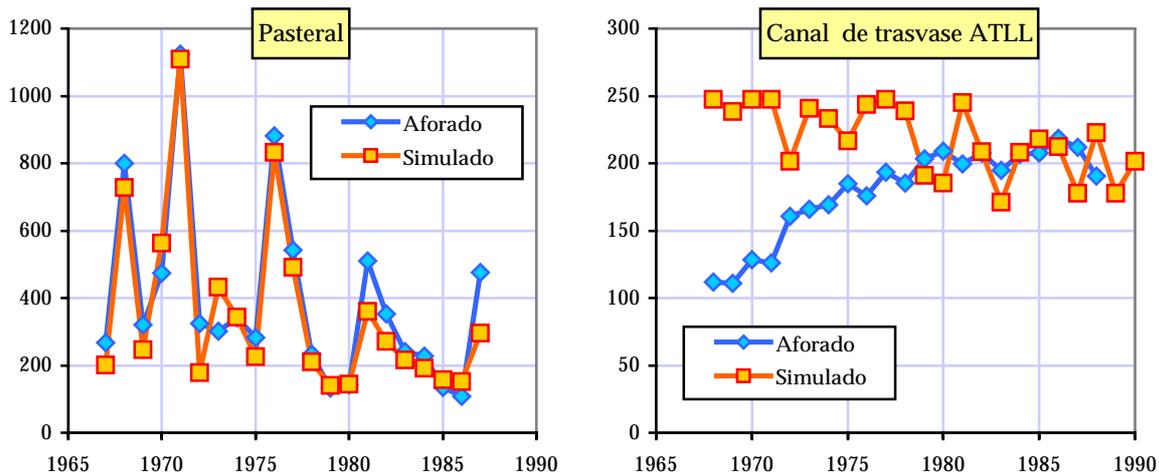


Figura 198. Aportaciones anuales aforadas y simuladas en el Ter ($\text{hm}^3/\text{año}$)

Como se observa, las aportaciones simuladas y observadas en el Pasteral muestran un excelente acuerdo, lo que revela que los flujos descendentes desde los embalses del Ter (suma de sueltas de los embalses y caudales no regulados) hacia aguas debajo de este río están muy bien caracterizados.

Por otra parte, el flujo circulante por el canal del trasvase al Llobregat está también bien encajado (prácticamente constante en torno a los $200 \text{ hm}^3/\text{año}$) desde finales de los años 70, y mal en el periodo anterior. Ello se explica simplemente considerando que desde su puesta en marcha a finales de los 60, hasta estos años, se produce un comportamiento transitorio de suministros crecientes que el modelo, que considera la situación actual estacionaria, obviamente ignora.

Nótese que es en torno a 1980 cuando se produce esta buena concordancia, coincidiendo con el ligero decalaje en Sant Joan Despí, que antes se comentó, lo que refuerza la tesis apuntada de que ambas circunstancias están relacionadas entre sí.

En síntesis, y contemplando los 4 puntos básicos de control, el modelo muestra un muy buen ajuste general, reproduciendo bien los rasgos esenciales de la circulación fluvial anual en el Ter y Llobregat, y el trasvase entre ambos.

Tras el examen de los flujos, es interesante observar los almacenamientos del sistema. Para ello, se han representado en la figura adjunta la serie de reservas históricas en el Ter (suma de Sau y Susqueda), la serie de reservas históricas en el Llobregat (suma de

Sant Ponç y La Baells, pues la Llosa entró en servicio muy recientemente y no es significativa a estos efectos), y la serie de reservas históricas totales sumando Ter y Llobregat. Junto con ellas se ha representado la serie artificial de reservas totales (Sau, Susqueda, S. Ponç, La Baells y la Llosa) obtenida en la simulación.

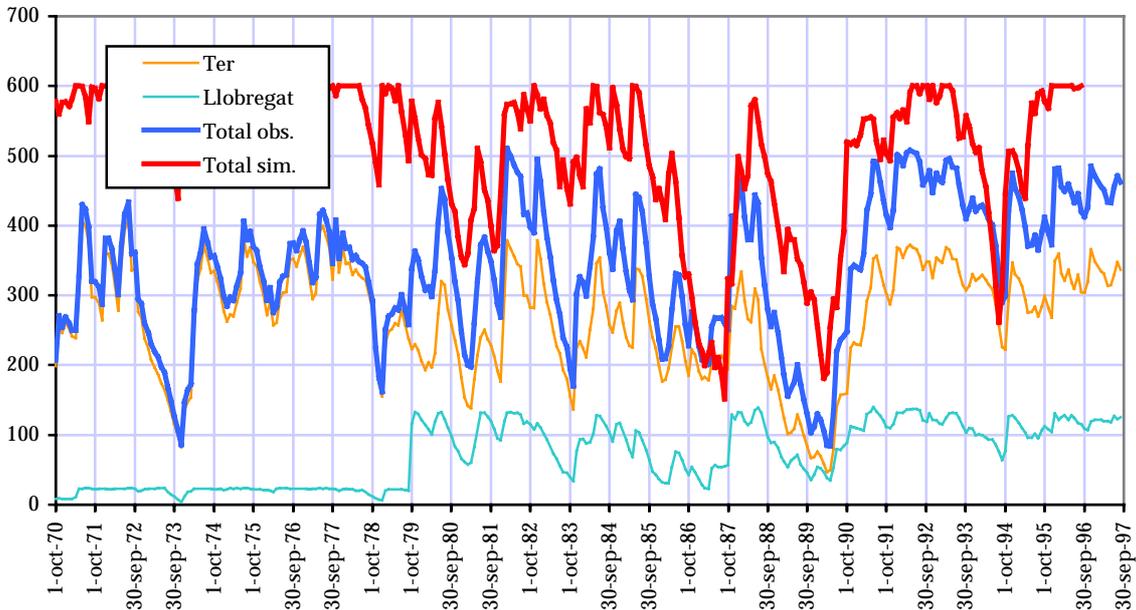


Figura 199. Existencias embalsadas (hm^3)

Como se observa, dejando a salvo el efecto de desplazamiento vertical debido básicamente a los distintos almacenamientos considerados (la simulación supone incluida la Llosa del Cavall, con casi 100 hm^3), el comportamiento de las dos series básicas totales es similar, con el mismo patrón de subidas y bajadas de almacenamiento. La mayor diferencia se observa en el primer periodo de datos (hasta comienzos de los 80), y se debe a las distintas disponibilidades de embalse existentes a lo largo del tiempo, que la modelación supone estacionarias e iguales a las actuales. Se aprecia también claramente el ciclo intraanual de los embalses y su carácter hiperanual, con rachas de llenado y vaciado de varios años de duración.

Puede verse que el periodo más crítico de finales de los 80 (con un mínimo de reservas en el año 1989-90) se presenta en ambos registros, mientras que el del año 1973-74 aparece muy atenuado en la simulación, debido, entre otras cosas, a los ya comentados diferentes almacenamientos. Esta crisis de finales de los 80, y el bajo nivel de reservas alcanzado, resulta indicativa de la vulnerabilidad del sistema, aunque no llegase estrictamente a producirse un fallo de garantías. El análisis de optimización del sistema confirma, en efecto, que no se producen fallos apreciables de suministro para ninguna de las demandas consideradas.

En definitiva, el diagnóstico de la situación actual se resume en ausencia de fallos de garantía, pero con la posibilidad de descensos de las reservas hasta niveles alarmantes, próximos a los mínimos de explotación, lo que indica que esta situación actual es positiva aunque ajustada, existiendo un cierto riesgo de presentación de crisis del

sistema, que podrían resultar especialmente graves dada su componente fundamental de abastecimiento urbano. La posibilidad de problemas puntuales relacionados con la calidad del agua, muy a tener en cuenta en un ámbito territorial tan fuertemente industrializado, refuerza este diagnóstico básico.

Intensificar adecuadamente las capacidades de uso conjunto, y considerar un posible equipamiento de desalación, como apoyo a las otras fuentes de suministro del sistema, parece en principio la mejor estrategia ante estas posibles crisis.

10.3.2. SITUACIÓN FUTURA

10.3.2.1. ANÁLISIS BÁSICOS

Considerando ahora la situación futura, en el horizonte a largo plazo, el análisis del sistema muestra que de las 24 demandas consideradas 20 presentarían fallos ordinarios de suministro, y 15 presentarían fallos absolutos. La garantía volumétrica global sería del 94%, llegaría a requerirse un volumen de socorro (el necesario para cumplir estrictamente el criterio de garantía) agregado máximo de 173 hm³/año, y la suma de socorros de todas las demandas alcanzaría un máximo de 283 hm³/año, requiriéndose socorros medios de 82 hm³/año durante 21 años de los 56 de la serie. Como es obvio, esta situación resulta completamente inadmisibles, y, dadas las cuantías indicadas, no puede superarse recurriendo a una mayor explotación de acuíferos ni reutilización, por lo que cabe analizar la posibilidad de transferencias externas.

Tales transferencias pueden proceder bien de desalación del mar, o bien de otros ámbitos territoriales de planificación, siendo el coste y las consideraciones ambientales las que deben dilucidar entre ambas posibilidades.

Atendiendo únicamente a las cuantías requeridas, y sin entrar por el momento en su procedencia, se ha estudiado el efecto de estos aportes externos sobre distintos indicadores de comportamiento del sistema, obteniéndose los resultados que se resumen en las figuras adjuntas.

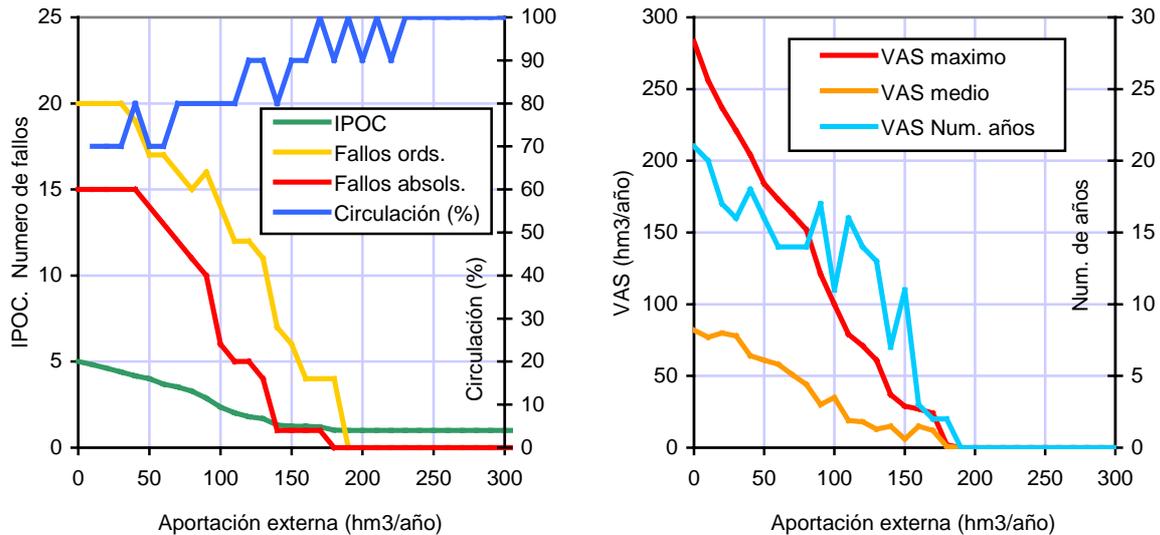


Figura 200. Indicadores de comportamiento según el volumen de aportación externa (régimen continuo a 12 meses)

Para cada volumen anual aportado al sistema en Cardedeu o Abrera, a caudal continuo todo el año, la primera figura muestra el índice ponderado de comportamiento del sistema (IPOC), el número de demandas con fallos ordinarios, el número de demandas con fallos absolutos, y la tasa de circulación del sistema (relación porcentual entre el aumento de las salidas del sistema y el aumento de sus entradas). La segunda figura muestra los volúmenes anuales de socorro (VAS, suma de los socorros requeridos por todas las demandas del sistema) máximo y medio, junto con el número de años en que se requiere este socorro medio.

Como puede verse, todos los indicadores muestran una situación inicial (aporte nulo) inadmisibles, que mejora rápidamente a medida que se va incrementando la aportación externa. Así, el número de fallos ordinarios y absolutos decrece rápidamente y se anula para aportes del orden de los 180-190 hm³/año, para los que el índice IPOC se hace igual a la unidad (ausencia de fallos). La tasa de circulación alcanza el 100% para aportes de unos 160 hm³/año, lo que revela que, a partir de estas cuantías, todo el aumento de aportaciones externas es devuelto al exterior del sistema (salidas al mar) sin retener internamente nada.

Asimismo, los volúmenes anuales de socorro tanto máximo como medio se reducen muy sensiblemente a medida que aumenta la aportación exterior, y llegan a su práctica anulación para aportes externos de unos 180 hm³/año. Si se considera que el máximo socorro disponible hidrogeológicamente (capacidad máxima de nueva movilización de aguas subterráneas en un año seco) es de unos 100 hm³/año, la aportación externa mínima necesaria, contando con este socorro, sería de unos 100 hm³/año.

Repitiendo ahora los análisis anteriores pero en el supuesto de que la aportación externa se produce en 8 meses del año, y se deja sin transferencia el periodo de verano (junio-septiembre), los resultados que se obtienen son los de los gráficos adjuntos.

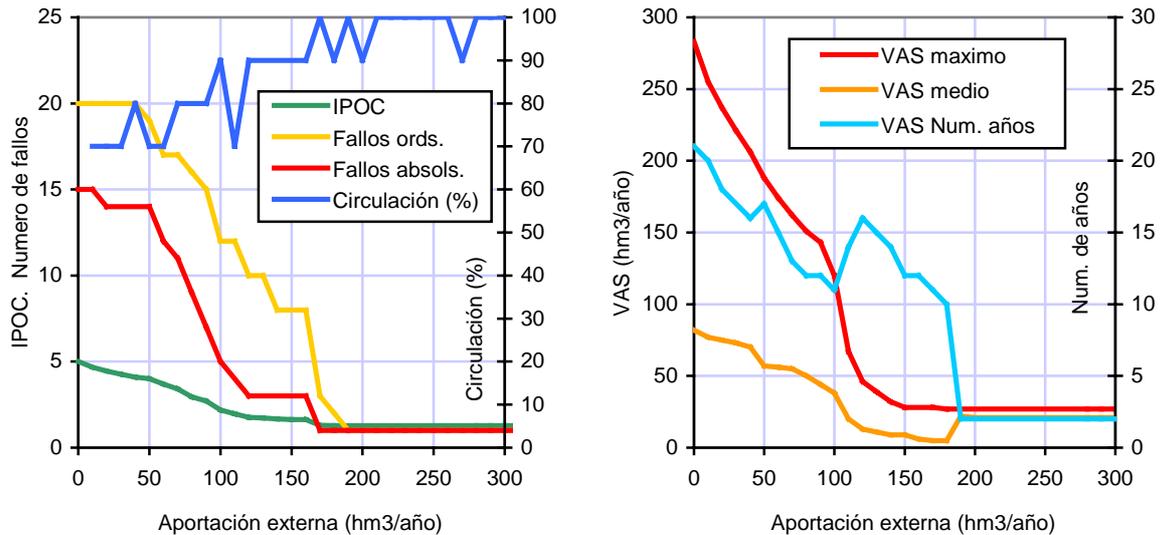


Figura 201. Indicadores de comportamiento según el volumen de aportación externa (régimen a 8 meses)

Como se observa, el comportamiento es muy similar al anterior, con la única diferencia de un efecto residual desfavorable de fallo en una demanda y socorro de unos 20 hm³/año en dos años de la serie. El hecho de que este comportamiento final sea permanente, con independencia del volumen transferido, apunta a un efecto puntual estructural, que, dadas sus magnitudes (una sola demanda y un socorro de 20 hm³ durante solo 2 años de los 56 estudiados), puede calificarse como irrelevante. El socorro máximo es estable a partir de 150 hm³/año, y el mínimo aporte requerido suponiendo una disponibilidad de socorros de 100 hm³/año sería, como en el caso anterior, de 100 hm³/año.

La similitud de resultados con el supuesto continuo, y la robustez de los indicadores mostrados permiten concluir razonablemente que el aporte externo requerido a largo plazo para la satisfacción de las demandas en el ámbito territorial de las Cuencas Internas de Cataluña puede cifrarse en unos 180 hm³/año, incorporados al sistema en los puntos de Abrera o Cardedeu. El que la incorporación sea a caudal continuo, los 12 meses del año, es ligeramente más favorable que en un régimen a 8 meses, aunque las diferencias prácticas de ambos regímenes pueden considerarse irrelevantes.

10.3.2.2. EL SUPUESTO DE CAPTACIÓN NO RESTRINGIDA

Avanzando más en el análisis del sistema, se ha estudiado su comportamiento bajo el supuesto de que no haya un suministro anual permanente, sino permitiendo que el sistema tome lo que necesite en cada momento, sin limitación inicial alguna, como si estuviese conectado a un embalse infinito.

Las figuras siguientes muestran los resultados obtenidos.

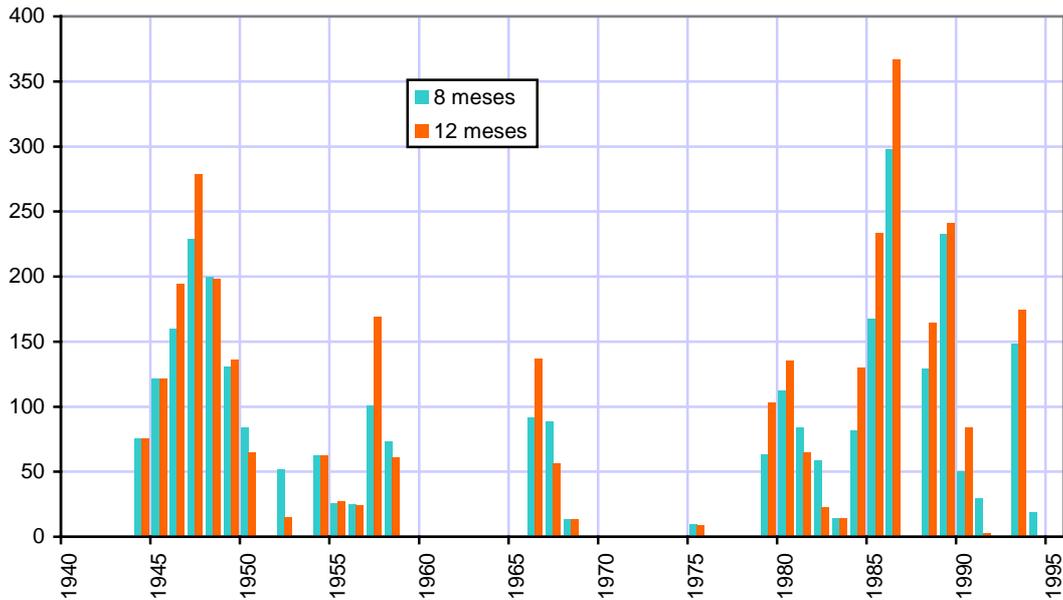


Figura 202. Volúmenes anuales tomados por el sistema en situación de no limitación

Como se observa, los resultados en ambos supuestos de régimen a 12 y a 8 meses son prácticamente iguales, derivándose cantidades anuales similares. Puede verse, asimismo, que hay muchos años en que no se requiere captar nada, y solo excepcionalmente se superarían los 200 $\text{hm}^3/\text{año}$ de derivación. Ello proporciona una expresiva imagen gráfica del riesgo de fallos al que antes se aludió.

Los gráficos de frecuencias adjuntos ilustran este aspecto con mayor claridad, apreciándose que casi la mitad de los años no se precisa transferencia, que hay rachas adversas que llegan a captar más de 300 $\text{hm}^3/\text{año}$, y que se llega a requerir valores inferiores a los 180 $\text{hm}^3/\text{año}$ en el 90% de los años, lo que confirma, por otra vía, la robustez de esta estimación. No será, pues, obligado derivar 180 hm^3 todos los años, sino que cabe cierto juego interanual con esta cuantía nominal máxima.

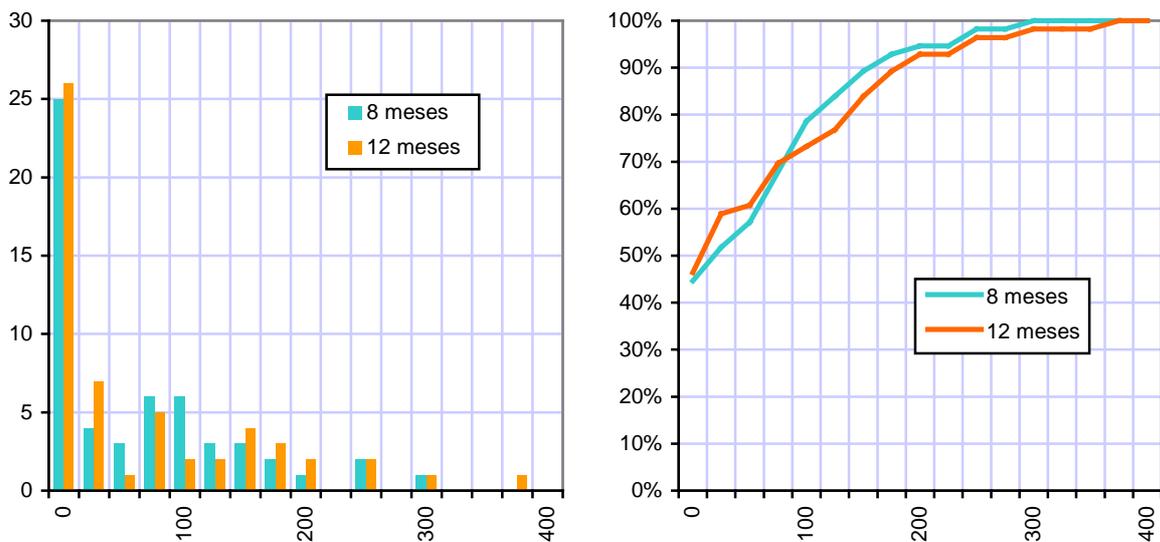


Figura 203. Histogramas de frecuencias de los volúmenes anuales tomados por el sistema en situación de no limitación

Considerando los datos de derivaciones mensuales en lugar de los anuales, bajo el mismo supuesto de captación sin límite, los histogramas obtenidos son los de la figura siguiente.

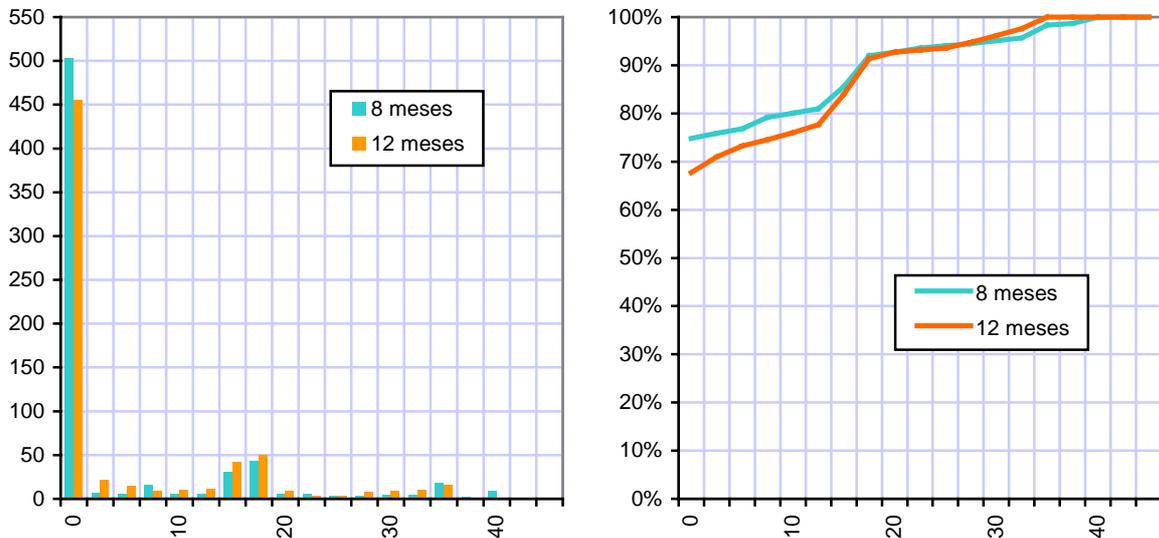


Figura 204. Histogramas de frecuencias de los volúmenes anuales tomados por el sistema en situación de no limitación

Puede verse que el 70-80% de los meses no se derivaría nada, más del 90% de los meses se captarían a lo sumo 18 hm³/mes (coef. de punta 1'2), y el 95% de los meses se derivarían menos de 30 hm³/mes (coef. de punta 2).

Es interesante comparar estos resultados con los obtenidos realizando el mismo análisis para las cuencas del Segura y el Júcar. La inspección conjunta de los tres gráficos permite apreciar nítidamente tres modos de comportamiento diferentes, ilustrativos de las tres distintas situaciones de requerimientos externos.

10.3.2.3. SENSIBILIDAD FRENTE A VARIACIONES DE LA DEMANDA FUTURA. GESTIÓN DE LA DEMANDA Y CAMBIO CLIMÁTICO

Dando un paso más en el análisis, cabe comprobar la sensibilidad de la transferencia propuesta de 180 hm³/año frente a posibles diferencias de la demanda futura con respecto a las estimaciones realizadas. Para ello se examina la respuesta del sistema suponiendo un aporte externo de 180 hm³/año a 8 meses (caso más desfavorable), y un incremento de demanda futura urbano-industrial para el entorno de Barcelona variable, en lugar de los 140 hm³/año previstos a largo plazo. Con ello pueden tenerse en cuenta efectos como posibles alteraciones del suministro por mayores ahorros, mejoras en las redes, diferentes niveles de sustitución de caudales con relación a los previstos, etc.

Los resultados obtenidos son los mostrados en los gráficos.

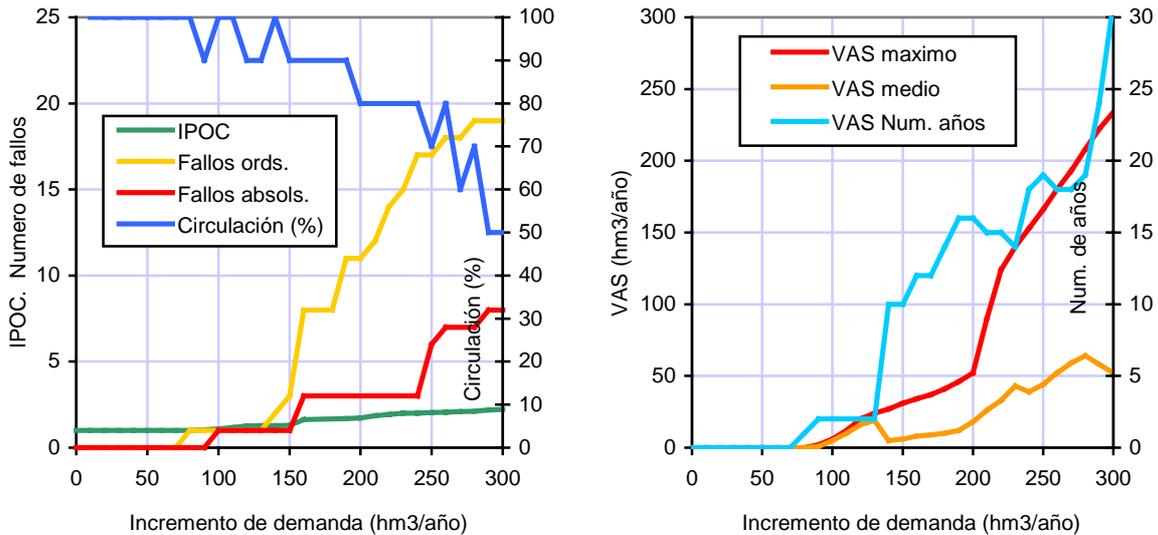


Figura 205. Indicadores de comportamiento según el incremento de demanda futura

Como se observa, si el incremento de demanda futura sobrepasase los 150 hm³/año se produciría un apreciable aumento del número de fallos ordinarios, aunque no empeoraría sensiblemente el de fallos absolutos. Desde el punto de vista de los volúmenes de socorro para suplir estos fallos, no empeora sensiblemente la situación hasta superar los 200 hm³/año de incremento de demanda, y aún así estaríamos en valores inferiores a los 100 hm³/año.

La otra perspectiva de este análisis de sensibilidad es la de comprobar el impacto sobre la transferencia propuesta de 180 hm³/año del efecto combinado de los posibles ahorros en el sistema y la disminución de aportaciones por efecto del hipotético cambio climático. Para ello se examina la respuesta del sistema suponiendo un aporte externo de 180 hm³/año a 8 meses (caso más desfavorable), junto con una disminución de todas las demandas por mayores ahorros y gestión de la demanda, y junto con una disminución de las aportaciones naturales, de cuantía variable, por efecto del cambio climático.

Para estimar los posibles ahorros en los suministros de abastecimiento como consecuencia de mejoras en las redes de abastecimiento urbano-industrial, mejoras y modernizaciones de los regadíos, y, en general, mejor gestión de la demanda del sistema, cabe adoptar tentativamente los resultados algunos estudios previos (MOPTMA, 1995), que los han cifrado en un 4% para los abastecimientos urbanos, un 26% para los abastecimientos industriales, y un 2% para los regadíos. Una cifra global ponderada para todos los usos del sistema sería del 8% de la demanda total, por lo que consideraremos este valor como de referencia, y afectaremos a todas las demandas del sistema de una reducción de esta cuantía. Hay que indicar que, en general, el estado de las redes de abastecimiento urbano del área de Barcelona es satisfactorio, y no es posible obtener reducciones apreciables de pérdidas, aún aplicando inversiones muy elevadas. Una muy reciente estimación (ATLL, 1999a) cifraba estas pérdidas reales en un 8% (23% total, con un 15% de no facturados por usos públicos), cantidad ciertamente moderada y próxima a los límites óptimos técnico-económicos.

Por otra parte, el Instituto Catalán de la Energía ha realizado numerosas auditorías de uso del agua industrial, en el marco de un interesante programa de ahorro de agua promovido por este Organismo. En los años 1992 y 1993 se realizaron 191 diagnósticos a 189 empresas catalanas con consumo total de 30 hm³/año. Se determinó que atendiendo a las propuestas planteadas, podrían ahorrarse hasta 11 hm³/año (del orden de un tercio de la demanda, con una media de 0.057 hm³/auditoría) con una inversión de 8.000 Mpts (Segarra i Trias, 1995).

Posteriormente, entre 1992 y 1997 se habían realizado 415 auditorías, y se había estimado un ahorro potencial máximo de 22 hm³/año (unos 0.053 hm³/auditoría), de los que en 1997 se habían alcanzado 6'6 con inversiones de 3.500 Mpts (ATLL, 1999a). Ello supone una ligera disminución de las previsiones iniciales del tercio. Es interesante comprobar que estas cifras son básicamente concordantes con las obtenidas por el MOPTMA en 1995, y que se elevaban a ahorros industriales del 26%.

En cuanto al hipotético cambio climático, sus efectos sobre los sistemas hidráulicos han sido analizados en el Libro Blanco del Agua, cuya conclusión al respecto puede resumirse en que no procede modificar las demandas hídricas previstas, pero sí cabe reducir las aportaciones en cuantías que son inciertas, pero que pueden tentativamente cifrarse, a efectos de diseño, en un 5% medio global al segundo horizonte del Plan (la horquilla correspondiente a las Cuencas Internas de Cataluña está en el 3-9% de disminución de aportaciones). Asimismo, se prevé también un aumento de irregularidad de las aportaciones, cuya cuantificación se ignora.

Con objeto de tener una idea del impacto que este fenómeno podría tener sobre el funcionamiento del sistema y su necesidad de aportes externos, se ha estudiado el supuesto conjunto de programas de ahorro en abastecimientos urbano-industriales y de regadíos hasta niveles globales del 8%, junto con una reducción de todas las aportaciones naturales por cambio climático, de cuantía variable.

Los resultados obtenidos son los mostrados en los gráficos.

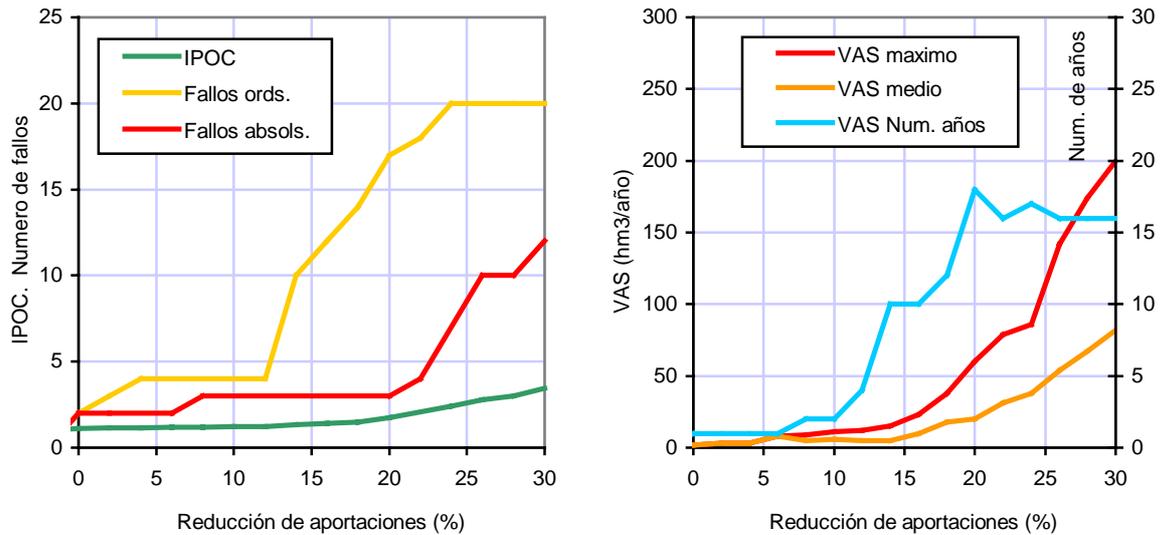


Figura 206. Indicadores de comportamiento según reducción de aportaciones por cambios climáticos

Como puede verse, si las aportaciones disminuyesen entre un 3 y un 9% como consecuencia del cambio climático, la situación empeoraría muy ligeramente sobre la actual, pero sin grandes cambios catastróficos en las garantías de suministro. Los posibles ahorros totales, tanto de abastecimientos urbano-industriales como por modernizaciones y mejoras de regadío, compensarían sensiblemente tal merma de recursos, de forma que solo a partir de reducciones de aportación del orden del 12% comenzarían a sentirse sus efectos. Sería necesario que las reducciones de aportación superasen el 20% para que el número de fallos absolutos y volúmenes de socorro se dispare hasta niveles claramente inaceptables.

Ello viene a significar, en definitiva, que ambos efectos contrarios tienen una incidencia similar y opuesta sobre el sistema, y la resultante conjunta es sensiblemente nula en los órdenes de magnitud manejados, lo que permite sustentar la robustez de las determinaciones básicas anteriormente ofrecidas.

Cabe recordar al respecto que, sin introducir la consideración del posible cambio climático, el Comité Científico Asesor constituido por ATLL para estudiar la situación del abastecimiento de agua a Barcelona, reafirmó la necesidad de introducir medidas de gestión integrada de los recursos hídricos (ahorro, reutilización, etc.), pero concluyó que las medidas de gestión de la demanda serán insuficientes para resolver los problemas de garantía de suministro, calidad del agua y estado ecológico de los ríos del área de Barcelona, por lo que se requerirán aportaciones externas a corto plazo (ATLL, 1999b).

10.3.2.4. RESULTADOS OBTENIDOS

En conclusión, la estimación básica de aportes externos de 180 hm³/año no parece tan sensible como para requerir su modificación ante pequeños cambios de las demandas futuras a largo plazo, presentando una cierta estabilidad frente a estos cambios, y

pudiendo considerarse, de nuevo, una estimación robusta y encajada. Si los crecimientos de la demanda futura fuesen inferiores a los 140 hm³/año previstos (lo que, tal y como se vió, es ciertamente probable), el sistema tendría una cierta holgura complementaria que se estima razonable, máxime considerando los posibles problemas puntuales y episódicos de calidad del recurso por lluvias torrenciales o por vertidos incontrolados, no descartables dada la gran concentración urbano-industrial del territorio estudiado. En esta misma consideración entrarían los ya mencionados posibles ahorros en la red de suministro y, en sentido contrario, los efectos de cambio climático, en principio tolerables con el diseño previsto.

En cuanto a la modulación de las llegadas, puede realizarse tanto a caudal continuo como a 8 meses, sin aportes en el verano, residiendo la diferencia únicamente en la estrategia de explotación del sistema. Si se aportase a 8 meses, el suministro de verano se supliría con caudales propios del Llobregat, o del Ter mediante el canal de trasvase existente, liberando parcialmente a estos ríos de sus servidumbres de suministro el resto del año.

10.4. CONCLUSIONES

A los efectos de este Plan Hidrológico Nacional, de cuanto se ha expuesto cabe concluir que el ámbito territorial de las Cuencas Internas de Cataluña requerirá en el horizonte futuro, a largo plazo, de una transferencia de recursos externos cifrada en 180 hm³/año.

Este volumen podrá incorporarse al sistema en cualquiera de los dos puntos básicos de alimentación de la red regional, Abrera o Cardedeu, y puede servirse tanto en régimen continuo como de 8 meses (octubre-mayo), sin que su funcionalidad requiera, en principio, el desarrollo de nuevos embalses.

De forma conceptual y simplificada, el sistema de las Cuencas Internas puede representarse como una macrounidad de demanda agregada, que puede satisfacerse fundamentalmente con aportes del mar mediante desalación, o desde territorios del entorno (Ebro-Segre, Bajo Ebro o Ródano), tal y como se muestra en el esquema adjunto, que es el pertinente a los efectos de la optimización global de transferencias de la planificación nacional.

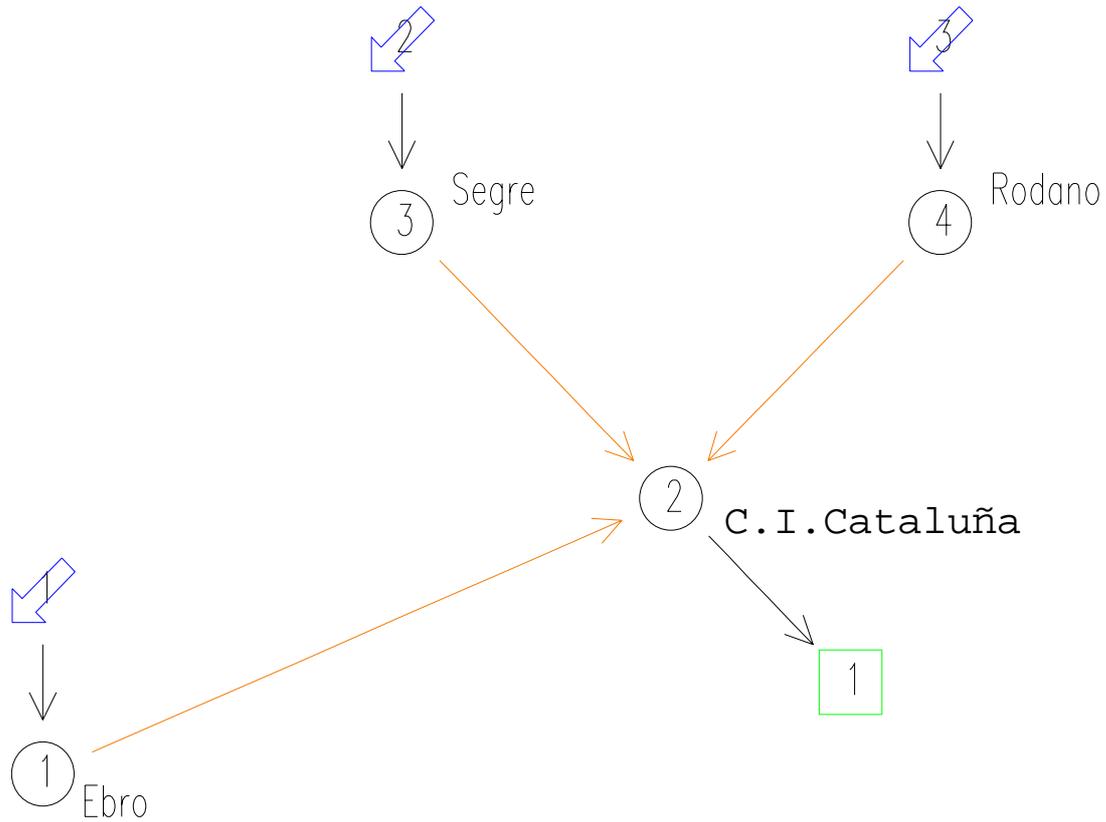


Figura 207. Esquema conceptual básico agregado del ámbito de las Cuencas Internas de Cataluña

Su carácter de demanda final, sin posibilidad de tránsitos de transferencias hacia otros ámbitos territoriales, simplifica la optimización técnico-económica de este esquema, tal y como se muestra en los correspondientes documentos económicos y ambientales de este Plan Hidrológico.

11. REGULACIÓN INTERMEDIA EN EL TRAMO CHERTA-TOUS

11.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se procede a analizar las posibilidades de nuevas regulaciones intermedias en la transferencia Ebro-Júcar, en el tramo comprendido entre la estación de bombeo de Cherta y el embalse de Tous. Se pretende estudiar tanto la viabilidad de la construcción de nuevos embalses como el empleo para este fin de los ya existentes o previstos a lo largo de la traza de la conducción.

Estas determinaciones tienen, obviamente, un carácter complementario al de los análisis de los sistemas de explotación llevados a cabo en otros capítulos de este documento, y permiten formarse una mejor idea de las posibilidades de transporte y regulación de las alternativas de transferencia desde el bajo Ebro, que son, como se vió, las más complejas, desde este punto de vista, de todas las planteadas.

Para abordar el problema, y partiendo del trazado de conducción seleccionado en el documento de descripción de las transferencias, se ha pasado revista a todos los antecedentes disponibles, lo que ha conducido a considerar las nueve posibilidades que se exponen seguidamente ordenadas desde aguas arriba a aguas abajo. En todas ellas se consideran diferentes aspectos (topografía, capacidad de embalse, alturas de bombeo requeridas adicionales a las de la solución básica seleccionada, saltos de posible instalación, interferencias con espacios naturales protegidos, afecciones a las vías de comunicación, y aspectos geológicos), salvo que alguno de ellos descalifique por completo alguna de las posibilidades.

La fuente de información ha sido la cartografía a escala 1:50.000, tanto en lo relativo a topografía como en cuanto a geología, salvo en los embalses de Vall d'Infern y Alcalá, para los que se disponía de estudios más detallados, según se indica en los apartados correspondiente. Ello hace que estos resultados que se ofrecen deban considerarse como una primera aproximación, en virtud de la cual se pueden descartar algunos emplazamientos, y llamar la atención sobre cuestiones específicas que requerirán, en su caso, estudios más pormenorizados en el futuro.

En la figura siguiente se reflejan todos los embalses analizados, así como los espacios naturales protegidos y la traza de la conducción seleccionada entre Cherta y Tous.

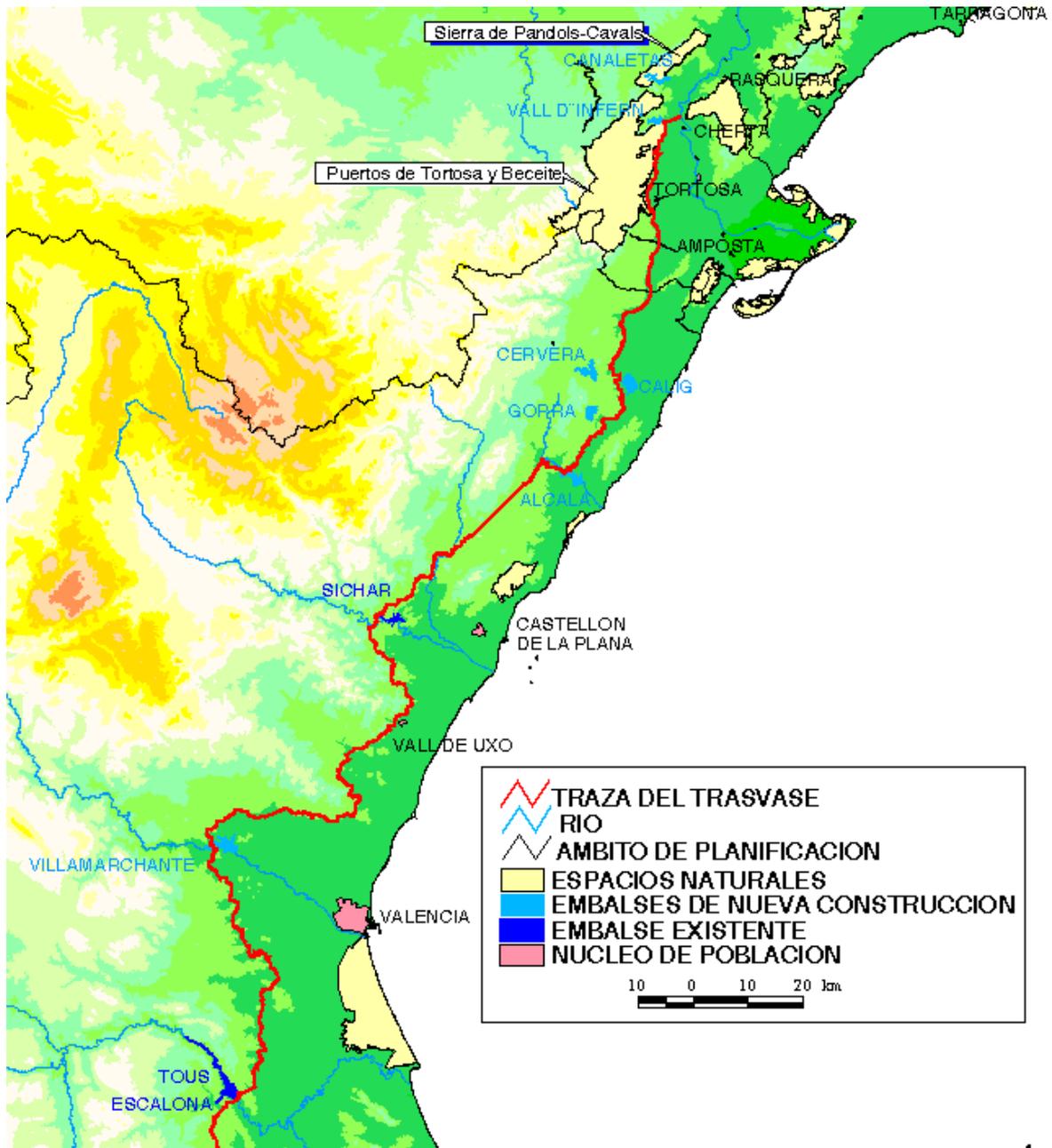


Figura 208. Plano de situación de los embalses analizados

11.2. EMBALSE DEL RÍO CANALETAS

El río Canaletas es afluente del Ebro por su margen derecha, confluyendo en un punto próximo aguas arriba del azud de Cherta. La posible presa se ubicaría sobre este río Canaletas, aguas abajo de Bot y aguas arriba del cruce con la carretera que enlaza Pinell de Bray con Pauls.

Su construcción no parece en principio viable debido a que interfiere con el espacio natural protegido de la Sierra de Pandolls Cavalls. Lo angosto del valle hace que sea necesario penetrar una longitud importante en este espacio hasta alcanzar con la

lámina de agua las inmediaciones del pueblo de Bot, tal como puede apreciarse en la figura anterior.

11.3. EMBALSE DE VALL D'INFERN

Esta cerrada, correspondiente al embalse de Valdeinfierno, sobre el barranco de Las Fuentes, es conocida desde antiguo, y aparece ya contemplada en el Plan de Aprovechamiento del Bajo Ebro, en los años 60. A raíz de esto, se redactó un proyecto en 1977 en el que se definía esta obra como depósito superior de un aprovechamiento reversible cuyo depósito inferior era el embalse de Cherta. Desde este embalse se suministraba también, a través de un aprovechamiento hidroeléctrico el canal bajo de Cherta a la cota 150. El máximo nivel previsto entonces estaba a la cota 188 siendo la altura máxima de 78 m, entre las cotas 190 y 112. La capacidad de embalse se evaluaba en 20 hm³.

Su emplazamiento es, topográficamente, muy adecuado. Se ubica sobre el barranco indicado, en un punto casi coincidente con el previsto para el depósito de regulación en el que finaliza la impulsión desde Cherta, y del que arranca el canal de trasvase seleccionado, a la cota 200.

La curva que define la capacidad de almacenamiento, obtenida a partir del plano 1:50.000, es la ofrecida en la tabla.

Cota (m)	Superficie (m ²)	Volumen (hm ³)
100	0	0
120	125.000	1
140	225.000	5
160	375.000	11
180	825.000	23
200	1.250.000	44
220	1.875.000	75

Tabla 110. Capacidad del embalse de Vall d'inferrn

Como puede verse, y sin perjuicio de la relativa precisión de estas medidas, situando el MNN a la cota 220 se incrementa considerablemente la capacidad de almacenamiento. Al encontrarse en cabecera del canal, la única modificación que exigiría para su llenado es aumentar la altura de elevación desde Cherta en 20 m, de 190 a 210, para alcanzar la cota 220. La entrega de caudales desde el embalse a la conducción (cota 200) podría realizarse mediante un aprovechamiento con salto medio del orden de 10 m. Igualmente, sería necesario disponer un bombeo para poder aprovechar la capacidad total del embalse, pues el volumen almacenado por debajo de la cota 200 es de 62 hm³. La altura de bombeo sería de aproximadamente de 40 m si se admite un embalse muerto de 11 hm³. Se estaría añadiendo, por tanto, una altura total de bombeo de 60 m a los 293 previstos en la conducción entre Cherta y Tous en la solución seleccionada en el anejo de descripción de las transferencias, así como una presa de aproximadamente 115 m de altura y 600 m de longitud, y un salto de unos 10 m.

El resto de los elementos de la conducción se mantendrían prácticamente inalterados, puesto que la modificación se produce exclusivamente en cabecera. A cambio se dispondría de un volumen útil de regulación de 64 hm³. Podría prescindirse del bombeo de 60 m si bastara con una regulación de 31 hm³.

Cabe señalar, sin embargo, que el embalse estaría limitando con el espacio natural protegido de los Puertos de Tortosa y Beceite, por lo que sería necesario estudiar con mayor detalle la viabilidad de la actuación desde el punto de vista ambiental. Tal como se aprecia en la figura incluida en la introducción, una parte de la lámina de agua próxima a la margen izquierda del embalse se superpone con el perímetro disponible de ese espacio natural. Con la información disponible, cabe concluir que para que la interferencia desapareciera sería necesario limitar la cota de lámina por debajo de la 200, lo que supone limitar la capacidad de embalse como máximo, a 44 hm³. Este volumen es reducido, por lo que sería dudosa la utilidad de tal depósito y cabría quizá desechar el emplazamiento. Sin embargo, teniendo en cuenta la escasa entidad de la interferencia, y la escala a la que se está trabajando (topografía 1:50.000), conviene realizar un análisis más detallado que verifique la existencia real de la afección y su magnitud, antes de tomar cualquier decisión.

Otra posibilidad sería desplazar hacia aguas arriba la presa. Así se evitaría la afección a los Puertos de Tortosa y Beceite en 1,5 km aproximadamente. Ello exigiría, para mantener el mismo volumen de embalse que con el otro emplazamiento a cota 220, elevar la lámina entre las cotas 240 y 260. La altura de presa sería del mismo orden que en el primer caso.

Inundaría, en ambos casos, la carretera que comunica Pauls con Cherta a lo largo de 3 km, si bien ya existe otra vía alternativa, y este problema sería fácilmente subsanable.

En cuanto a la geología, la cerrada se encuentra sobre materiales jurásicos. La margen derecha es de brechas dolomíticas de gran permeabilidad y la izquierda de dolomías y calizas. La cimentación estaría afectada por una falla que corta oblicuamente al cauce.

El vaso está ocupado en las inmediaciones de la cerrada por brechas dolomíticas y por dolomías tableadas del Jurásico superior. El resto está ocupado por materiales triásicos fundamentalmente, entre los que se encuentran arcillas rojas con yesos del muschelkalk, calizas y dolomías con daonela y arcillas rojas y verdes con yesos.

En el mencionado proyecto del aprovechamiento reversible se concluye con respecto a la geología del emplazamiento que los terrenos triásicos del vaso no presentan peligros de fuga para cotas inferiores a la 200. Señala, sin embargo, la necesidad de cubrir con un tapiz impermeable las calizas y dolomías del Infralías próximas a la cerrada en la margen derecha. Respecto a la cerrada se indica que es viable la construcción de la presa siempre que se evite el contacto con el agua de las calizas acarnioladas del infralías disponiendo para ello un elemento impermeable intermedio, dudándose de la eficacia de las inyecciones.

En definitiva, existen algunos problemas geológicos que no son irresolubles pero que requieren tratamientos específicos de impermeabilización, y que permitirían la realización del proyecto siempre que se mantenga por debajo de la cota 200. Sin embargo, hasta esta altura sólo se embalsan 44 hm³.

Entre las cotas 200 y 220, los únicos materiales nuevos mojados por el embalse son unas calizas y dolomías grises del muschelkalk en la margen izquierda del embalse y en muy pequeña extensión. Por ello, caso de plantearse problemas podría recurrirse de nuevo a la impermeabilización superficial.

El desplazamiento de la presa hacia aguas arriba para evitar la interferencia con los Puertos de Tortosa y Beceite requeriría estudios geológicos más detallados, puesto que la superficie mojada de calizas y dolomías grises del mucshellkalk sería mayor y la presa pasaría cimentarse sobre arcillas rojas con yesos, circunstancia, en principio, poco favorable.

Por todo lo expuesto, parece viable desde el punto de vista geológico la construcción de una presa en el primer emplazamiento, si bien se requieren estudios más detallados por encima de la cota 200, y presumiblemente se requerirán tratamientos del terreno adicionales a los habitualmente empleados en una cerrada más convencional. Desde el punto de vista ambiental no parece haber en principio graves dificultades, pero debe estudiarse con mayor detalle la afección al espacio natural de los Puertos de Tortosa y de Beceite.

11.4. EMBALSE DE CERVERA

Se encuentra en el río Seco, rambla que desagua al Mediterráneo a la altura de Benicarló, en la provincia de Castellón. La presa se ubicaría muy próxima a la población de Cervera del Maestre.

En algún estudio disponible se menciona la posibilidad de este emplazamiento. Sin embargo, con la ubicación propuesta se inundaría el núcleo mencionado, que se desarrolla a partir de la cota 280, lo que solo permitiría, de acuerdo con las curvas de capacidad allí presentadas, almacenar un volumen de 9 hm³. En consecuencia, se considera más favorable modificar ligeramente el emplazamiento, desplazando la posible presa hasta aguas arriba del pueblo, y desapareciendo así toda posibilidad de inundación. La cota del cauce sería entonces la 220. La cota de lámina del embalse se limitaría hasta la 280, pues por encima de ella sería necesario disponer diques de cierre en collados de la margen izquierda para evitar el desbordamiento hacia Cervera. El volumen almacenado puede estimarse inicialmente, de acuerdo con la tabla siguiente obtenida a partir del mapa 1:50.000, en unos 76 hm³.

Cota (m)	Superficie (m ²)	Volumen (hm ³)
220	0	0
240	450.000	5
260	1.375.000	23
280	3.925.000	76

Tabla 111. Capacidad del embalse de Cervera

En el punto en que tendría lugar la derivación, la cota del canal procedente de Cherta es de 187 m, por lo que sería necesario salvar un desnivel de 93 m para llenar el embalse. El agua almacenada se incorporaría al canal vertiéndola por pie de presa a través del cauce del río Seco, que es cruzado en sifón por la conducción. Por tanto, se

dispondría de un salto equivalente a la altura de la presa, de 60 m, lo que puede traducirse en un salto medio de 50 m aproximadamente, o bien, mediante una tubería a presión, hasta la cota en la que se incorpora al canal, lo que supone 20 m más de carga, es decir, unos 70 m aproximadamente. En resumen, se estaría añadiendo 93 m de bombeo a los 293 m correspondientes a la elevación de Cherta y Cuevas de Vinromá. Igualmente se estaría posibilitando la existencia de un salto de aproximadamente 70 m de altura máxima. Se requiere construir una presa de unos 60 m de altura y 500 m de longitud.

De acuerdo con la información disponible, no se producen interferencias con espacios naturales protegidos, y únicamente se inunda a lo largo de unos 2 km la carretera que comunica los núcleos de San Mateo y Cervera del Maestre.

En cuanto a la geología, tanto la cerrada como el vaso se asientan sobre materiales mayoritariamente cretácicos. La cerrada no se encuentra afectada por fallas ni tampoco existen fracturas cartografiadas en el vaso del embalse.

En el vaso, como ya se ha indicado, predominan las calizas y margas del cretácico inferior (hauteriviense y barremiense). Se inundaría el cauce de la rambla, de materiales cuaternarios de pequeño espesor asentados sobre los materiales cretácicos y también, en la cola del embalse, a partir de la cota 260, algunas terrazas cuaternarias depositadas sobre conglomerados del plioceno, así como estos últimos. En ningún caso se entra en contacto directo con las calizas microcristalinas del aptiense de la margen izquierda, que cabe suponer de gran permeabilidad. Sin embargo, si se entrase en contacto con ellas a través de los conglomerados y estos no resultasen suficientemente impermeables, dado que su extensión es relativamente reducida, podría resolverse el problema con algún tratamiento local, como un tapiz de impermeabilización o, en último caso, en la construcción de un dique de contraembalse de 20 m de altura máxima, ya que si se limita la cota a la 260 el volumen almacenado se reduce a 23 hm³.

En síntesis, y a falta de estudios más detallados sobre la impermeabilidad de las calizas y margas del embalse, así como de los conglomerados sobre los que apoyan las terrazas cuaternarias, este emplazamiento parece viable y satisfactorio.

11.5. EMBALSE DE CALIG

Se encuentra sobre el barranco de Panduls, muy cerca de Calig, en la zona ya próxima a la costa mediterránea. En estudios previos disponibles se contemplaba un emplazamiento que permitía una cota máxima de embalse de 120 m, siendo la cota del cauce la 85 aproximadamente. De acuerdo con las curvas de capacidad incluidas en esos estudios, el volumen máximo almacenable era de 36 hm³. Se trata, por tanto, de una capacidad muy reducida, si bien podría ser suficiente para regular parcial o totalmente la demanda de Castellón.

Aumentar la capacidad requiere desplazar hacia aguas arriba la presa, para disponer de estribos que alcancen la cota 140. En este caso es necesario aumentar considerablemente la longitud de la presa (del orden del doble) y construir además varios diques de cierre. Se trataría de una presa de 1,5 km de longitud y 45 m de altura

aproximadamente (entre las cotas 95 y 140) y varios diques laterales de cierre, uno del orden de 20 m de altura y 600 m de longitud. Si se construye este embalse la capacidad alcanza, de acuerdo con la tabla que se incluye a continuación, unos 89 hm³. No es posible sobrepasar tal cota porque a través de un collado se desbordaría el agua hacia Calig, salvo que se construyera otro dique lateral.

Cota (m)	Superficie (m ²)	Volumen (hm ³)
100	0	0
120	1.725.000	17
140	5.450.000	89

Tabla 112. Capacidad del embalse de Calig

Cabe destacar que la topografía no es favorable, tanto por la excesiva anchura de la cerrada como por la necesidad de apoyar parte de la presa sobre pequeños cerros para los diques laterales, así como la gran superficie de la lámina de agua, la mayor con diferencia de todos los emplazamientos considerados, lo que implica pérdidas por evaporación también elevadas, que pueden suponer un volumen no despreciable del total elevado.

La derivación al embalse de Calig desde el canal procedente de Cherta en la solución seleccionada en el anejo de descripción de las transferencias, se ubicaría aproximadamente en el mismo punto que la derivación al embalse de Cervera, es decir, en el PK 70,6 y a la cota 187. Por tanto sería posible disponer un aprovechamiento de 45 m de salto bruto aproximadamente. Por otra parte, para introducir el agua en el canal nuevamente sería necesario un bombeo entre la cota 110 y la 187, admitiendo un embalse muerto de 8 hm³. En definitiva, se añaden 77 m de bombeo a los 293 correspondientes a Cherta y Cuevas de Vinromá, y un salto de 45 m. Es necesario construir una presa de las dimensiones ya indicadas, que permitiría contar con un volumen útil de regulación de 81 hm³.

En el caso de optarse por este emplazamiento, podría adoptarse otro esquema para la conducción desde Cherta que mejore el consumo energético con respecto a la solución comentada en el párrafo anterior. Se trataría de sustituir el canal que enlaza Cherta a la cota 200 con cuevas de Vinromá a la 161, por otro que parte de Cherta a la cota 150, el denominado Canal Bajo en la solución que contemplaba dos canales desde Cherta, que llega a Calig a la cota 140 aproximadamente, vertiendo al embalse de Calig.

En el embalse se construiría una elevación que captando a la cota 110 elevase el agua hasta la 280, desde donde discurriría por gravedad llegando al punto de ubicación del depósito de salida de la elevación de Cuevas de Vinromá a la misma cota que lo hacía el canal Alto. De esta manera, la altura de bombeo en Cherta es de 140 m y la Calig, de 170 m, es decir, un total de 310, sin posibilidad de disponer salto alguno, y evitando la construcción de la estación de bombeo entre el embalse y el canal alto. Se trata, en definitiva, de mantener aproximadamente la misma altura de elevación que en la solución inicial, contando además con regulación intermedia para todo el volumen trasvasado, así como de regulación en destino para la zona de Castellón Norte, cuya demanda podría modularse en el embalse de Calig.

Hay que señalar que el terreno atravesado acota 280 entre Calig y Cuevas de Vinromá es bastante más accidentado que a cota 190 a la que discurre el canal alto inicial, por lo que el coste de construcción será también mayor. Sin embargo se ahorraría el coste de una elevación adicional entre el embalse de Calig y el canal Alto.

De acuerdo con la información disponible, este embalse no interfiere con espacios protegidos ni tampoco afecta a vías de comunicación.

En cuanto a la geología, ni la cerrada ni el vaso se encuentran afectados por fallas o fractura cartografiadas. Los materiales de cimentación de la presa serían conglomerados cuaternarios y pliocenos de gravas, arcillas y arenas y la parte superior estaría ocupada por calizas y margas del cretácico. El vaso está ocupado por conglomerados pliocenos fundamentalmente, que presentan interés hidrogeológico debido a la falta de clasificación de los cantos que componen el conglomerado y a su posterior karstificación, lo que les confiere una porosidad significativa. Por tanto, no parecen favorables para contener el agua de un embalse, máxime si se tiene en cuenta que su afloramiento se prolonga aguas abajo de la presa.

A falta de estudios más detallados sobre la permeabilidad de los conglomerados, no parece idóneo este emplazamiento. Caso de resultar permeables, no sería posible un tratamiento de impermeabilización local, puesto que los conglomerados se extienden por todo el vaso.

Teniendo en cuenta todos los condicionantes indicados parece conveniente prescindir de este emplazamiento.

11.6. EMBALSE DEL BARRANCO DE GORRA

Se ubica sobre el barranco indicado, que acaba confluyendo con la rambla del Mas, cuyo cauce discurre muy próximo a Santa Magdalena de Pulpis, en la provincia de Castellón.

La presa a construir en esta cerrada se ubicaba en los estudios previos disponibles entre las cotas 240 y 320. De acuerdo con la curva de capacidad elaborada a partir del plano 1:50.000, que se incluye a continuación, el volumen máximo almacenado sería de unos 83 hm³. Como puede verse, la mayor parte (73 hm³) queda por encima de la cota 280.

Cota (m)	Superficie (m ²)	Volumen (hm ³)
240	0	0
260	225.000	2
280	575.000	10
300	1.625.000	32
320	3.500.000	83

Tabla 113. Capacidad del embalse de Gorra

Hasta la cota 300 bastaría con un solo dique de cierre de 400 m de longitud y 60 m de altura aproximadamente. Para alcanzar la cota 320 son necesarios además diques de cierre laterales en tres collados. La presa principal alcanzaría una longitud de 550 m y una altura de 80 m aproximadamente, mientras que los diques laterales tendrían alturas del orden de 20 m y sumarían una longitud de 800 m.

El canal procedente desde Cherta en la solución seleccionada en el Anejo de descripción de las transferencias tendría la derivación hacia el embalse aguas abajo del sifón de Santa Magdalena de Pulpis, en el PK 89,3 donde tiene una cota de 174 m. Por tanto, sería necesaria una elevación de 146 m para llenar el embalse. Desde la presa se incorporaría el agua al canal mediante un salto que aprovecharía prácticamente el mismo desnivel salvado con el bombeo disponiendo una tubería forzada. El salto medio puede estimarse en 125 m. Por tanto, en el caso de mantener inalterados el resto de los elementos del canal propuesto entre Cherta y Cuevas de Vinromá se estaría añadiendo a los 293 m de bombeo previstos, 146 m para llenar el embalse, junto con un salto de 125 m. Para ello se requiere una presa de las características indicadas, cuyo volumen de regulación de 83 hm³ puede aprovecharse en su totalidad.

En definitiva se requeriría una altura de bombeo de 439 m y se contaría con una altura de generación de 125 m.

Sin embargo, puede analizarse una modificación del esquema propuesto. La elevación de Cuevas de Vinromá se encuentra en el PK 110 aproximadamente del canal y bombea hasta la cota 264. El embalse de Gorra tiene 73 hm³ por encima de la cota 280. El recorrido entre el embalse y el depósito de salida de Cuevas de Vinromá es aproximadamente del mismo orden que en el caso del canal existente, por lo que las pérdidas serán similares. Es decir, puede llegarse por gravedad desde la cota 280 del embalse de Gorra hasta la salida de Cuevas de Vinromá y desde allí continuar por la traza del canal alto. Así, la altura total de elevación en el tramo Cherta-Cuevas de Vinromá sería de 336 m, lo que supone un incremento de 43 a cambio de disponer de una regulación de 73 hm³. El trazado del canal entre el embalse y Cuevas de Vinromá es más accidentado que el existente, por lo que aumentará el coste.

Esta última configuración es más favorable en cuanto a coste energético, pero la mejora no es excesivamente significativa. La reducción de la inversión inicial al desaparecer la central hidroeléctrica y la tubería forzada puede verse parcialmente compensada por el incremento de coste del canal entre el embalse de Gorra y el depósito de salida de Cuevas de Vinromá, debido a que al discurrir a cota 100 m superior atraviesa un terreno más accidentado. Por tanto no existen argumentos económicos definitivos para optar, requiriéndose un análisis más detallado.

Este embalse no interfiere con espacio protegido alguno según la información disponible. Tampoco afecta a carreteras ni vías de comunicación significativas.

Respecto a la geología, la cerrada se ubica sobre calizas microcristalinas y dolomías jurásicas del Malm. Se trata de una zona de dolomitización. La cerrada no se encuentra afectada directamente por fallas, si bien existen numerosas fracturas próximas cartografiadas.

Los materiales del vaso son del jurásico, bien coincidentes con los de la cerrada o bien calizas microcristalinas del kimmerdigiense, parte de las cuales quedarían dentro del área mojada. Existen además abundantes fracturas que atraviesan el vaso, intersectándose incluso entre sí.

Los materiales tanto de la cerrada como del vaso se consideran de gran interés hidrogeológico, sobre todo en las zonas donde la dolomitización es más intensa, como en la cerrada, dando una mayor permeabilidad y porosidad, que también se ve aumentada por la intensa fracturación existente en el vaso. Por ello, en principio, parece descartable por motivos geológicos, no siendo razonablemente previsible, si bien no imposible, que a raíz de estudios geológicos más detallados, el emplazamiento resultara aceptable. No parece prudente confiar en tratamientos locales puntuales, dado que toda la zona es geológicamente muy complicada a escala regional.

11.7. EMBALSE DE ALCALÁ

Este embalse es conocido desde antiguo, y se ha considerado desde los primeros esquemas de aprovechamiento del bajo Ebro y del Trasvase Ebro-Júcar. Ubicado en el río San Miguel, se han barajado diferentes posibilidades en cuanto a su emplazamiento, según se pretendiera regular el canal Bajo procedente de Cherta o el canal Alto. Incluso se analizaron opciones en otros cauces próximos, como el de Torreblanca. Por ello, se dispone de más estudios que en las anteriores ocasiones.

Con la información disponible, ho hay afección a espacios naturales protegidos, ni a vías de comunicación.

En este caso son determinantes los estudios geológicos, siendo el principal condicionante la estanqueidad del vaso. En las posibles ubicaciones contempladas, todas ellas aguas abajo de Cuevas de Vinromá, una vez que el río San Miguel ha tomado la orientación perpendicular a la costa, abundan las calizas cristalinas del aptiense superior y los conglomerados terciarios con cantos calizos. Incluso en determinados niveles que parecen arenosos los granos son también predominantemente calizos, con escasa proporción de cuarzo.

Las calizas cristalinas del aptiense superior pueden tener una permeabilidad relativamente elevada e incluso muy elevada, puesto que son muy favorables a la karstificación, debido tanto a su textura, como a su intensa fisuración o a la presencia de numerosas fracturas. En cuanto a los conglomerados terciarios es difícil determinar a priori su permeabilidad, pudiendo existir zonas de gran porosidad eficaz que los harían muy permeables. No parecen encontrarse muy fisurados, por lo que el factor más determinante de cara a la estanqueidad sería la porosidad antes indicada, dependiente de su composición.

La geología de la zona es compleja, siendo difícil cuantificar, a falta de análisis de detalle, las posibilidades de infiltración y circulación del agua a través de acuíferos existentes.

Dentro de los diferentes emplazamientos analizados, el único viable en cuanto a cota que minimiza la zona afectada del aptiense superior corresponde a una cerrada denominada en estudios anteriores como Fosa de Alcalá, que entre las cotas 48 y 102 embalse un volumen de 75 hm³. La curva de capacidad elaborada en estudios anteriores, es la incluida en la tabla.

Cota (m)	Volumen (hm ³)
48	0
60	2
70	8
80	19
90	40
100	73
110	120

Tabla 114. Capacidad del embalse de Alcalá

Una considerable extensión del vaso está ocupada por los conglomerados terciarios, por lo que si estos resultaran permeables en estudios más detallados, no sería viable la aplicación de tratamientos de corrección locales. Sería necesario limitar el embalse a la cota 75, reduciéndose entonces la capacidad a 15 hm³. Para no mojar las calizas del aptiense superior, la cota debe limitarse también a la 75. Sin embargo, manteniendo la cota 100 la superficie afectada de estos materiales es reducida, lo que animaría a emprender algún tratamiento local. Superar la cota 100 se considera altamente desfavorable, puesto que se incrementa muy considerablemente el área mojada de calizas aptienses.

A los datos anteriores se añade que la corriente superficial del río Cuevas desaparece precisamente en la zona de aguas arriba de la cola del embalse a cota 100, coincidiendo con la masa caliza del bloque correspondiente al cerro de Murs.

Por todo lo expuesto, no parece un lugar idóneo para el emplazamiento del embalse, si bien para descartarlo totalmente serían necesarios estudios complementarios de detalle. En cualquier caso serían imprescindibles tratamientos del terreno cuyo resultado nunca puede garantizarse por completo y cuyo coste puede ser elevado y difícilmente evaluable a priori.

Una opción a considerar sería la construcción de una contrapresa en cola, que evitase el contacto con las calizas microcristalinas. Con un dique de 20 m de altura aproximadamente podría alcanzarse la cota 100. Si esta altura se incrementa en cinco metros puede compensarse o incluso superarse la pérdida de capacidad que supone prescindir de la cola del embalse.

Caso de optarse por este embalse, desde el punto de vista energético podría ser más favorable modificar la configuración propuesta desde Cherta, construyendo el denominado Canal Bajo, que arranca de la cota 150, a la que terminaría la impulsión que toma en Cherta. Discurriría por gravedad hasta la cota 100 del embalse de Alcalá, pudiendo instalarse incluso un pequeño salto, del orden de 10 m en la entrega y desde el embalse, se bombearía, tomando a la cota 65 (embalse útil de 71 hm³) hasta la cota a la que actualmente termina la impulsión de Cuevas de Vinromá, es decir, la 264. A

partir de aquí se seguiría el trazado ya seleccionado. Así se requeriría una altura total de elevación de 339 m, frente a los 293 de la solución inicial, es decir, se incrementaría en 46 m. Las dimensiones de la presa serían aproximadamente de 52 m de altura y 500 m de longitud. Podría disponerse un salto del orden de 10 m en la entrega al embalse.

11.8. EMBALSE DE SICCHAR

Este embalse, ya existente, es utilizado por la solución seleccionada en el documento de descripción de las transferencias para entregar la demanda correspondiente a la zona de Mijares-Castellón. Se encuentra sobre el río Mijares y su capacidad es de 49 hm³, volumen comprendido entre las cotas 120 y 164.

El canal procedente de Cherta discurre a la cota 228, por lo que el desnivel hasta el embalse se salvaría mediante un salto de 60 m. Utilizar este embalse para regulación de la transferencia implica efectuar un bombeo de 105 m aproximadamente. Optar por tal posibilidad requeriría de análisis económicos más detallados, y considerar en el análisis las pérdidas por filtraciones producidas en su vaso.

11.9. EMBALSE DE VILLAMARCHANTE

Se trataría de utilizar este embalse, de unos 40 hm³ y cuya construcción está prevista y en proyecto, para regular no solo el volumen de trasvase que pudiera entregarse a la zona del Turia, sino también como regulación intermedia de la conducción principal de trasvase.

Cuando alcanza la derivación a Villamarchante, la cota del canal procedente de Cherta es la 181. La lámina del futuro embalse se ha supuesto a la 135. La demanda correspondiente a esta zona se sirve mediante un salto de 30 m de altura. La cota de cauce es la 100. Por ello, para reintroducir el agua en el canal el desnivel a salvar sería del orden de 77 m. En consecuencia, se añadiría una altura de bombeo de 77 m a los 293 previstos en Cherta y Cuevas de Vinromá.

11.10. EMBALSE DE TOUS

Se trata de un embalse ya existente, al que el canal procedente de Cherta llega a cota 148. Puede ser empleado como lugar de entrega de agua para sus demandas aguas abajo, como regulación intermedia de la conducción, lo se haría a través de un salto de 15 m., o incluso no emplearse.

Si se utiliza como regulador es necesario incorporar agua del embalse al canal. Para ello se requiere una elevación que, debido a lo variable del nivel de embalse en función de la época del año, deberá tener una carrera considerable. En efecto, la cota máxima admisible en Tous en septiembre (mes de máximo resguardo) es de 88 m, mientras que la máxima es la 130. El cauce se encuentra a la cota 61. Por ello, se estaría

incrementando la altura de bombeo en 66 m en el peor de los casos, tomando como cota de toma la del dintel del desagüe de fondo. El volumen bombeado habría sido turbinado previamente en un salto de 15 m.

11.11. EMBALSE DE ESCALONA

Este embalse, ya existente, se ubica sobre un afluente por la margen derecha del río Júcar, aguas arriba de la presa de Tous. Su finalidad esencial es la laminación de avenidas, y su capacidad es de 108 hm³.

La coronación se encuentra a la cota 191 y el umbral del aliviadero, de labio fijo, a la 182,5. Podría utilizarse para la regulación de las transferencias de forma complementaria o en sustitución de Tous. Para ello sería necesario alcanzar una cota que permitiera verter en el embalse desde la cota 148 de llegada a Tous. Ello puede conseguirse de dos formas, tal y como se comenta seguidamente.

La primera es disponer una elevación del orden de 47 m, entre (las cotas 148 y 195) entre Tous y Escalona. Sería imprescindible entonces una nueva elevación para continuar por el trazado de la solución seleccionada entre las cotas 143 (desagüe intermedio de Escalona) y la 300, que es la del depósito de salida de la impulsión de Tous inicialmente prevista. Por tanto, se requeriría una altura total en este punto de 204 m, es decir, 51 m superior a la altura prevista en la solución seleccionada. No existiría posibilidad de disponer un salto para recuperar energía. Entre las obras singulares necesarias cabe destacar un túnel de unos 2,5 km de longitud.

La segunda es mantener la configuración prevista con una elevación hasta la cota 300 en la conducción principal, desde la cual se dispone una derivación al embalse de Escalona. En él se construiría un bombeo reversible que permitiera turbinar el caudal derivado desde la conducción principal (salto de 105 m) y bombear para reintroducir el agua en el depósito a cota 300 m (desnivel a salvar en el bombeo de 157 m).

Ambas opciones presentan un balance energético similar a priori, y del mismo orden, aunque ligeramente más favorable, que el de utilizar Tous. La elección entre las tres requeriría un análisis más detallado, fuera del alcance de este Plan Nacional, que considere además otras circunstancias singulares como posibles pérdidas por filtraciones, compatibilidad con el fin principal de defensa contra avenidas, etc.

Cabe señalar que utilizar Escalona podría permitir independizar las mezclas de aguas procedentes del Ebro con aguas del Júcar en Tous. Aunque como se vió en el correspondiente capítulo la mezcla de aguas no resulta desfavorable, disponer de esta posibilidad resulta en todo caso conveniente.

11.12. RESUMEN Y CONCLUSIONES

En la tabla siguiente se resumen las características de cada uno de los embalses analizados. Los incrementos de altura de bombeo y turbinación se evalúan con respecto a la solución seleccionada entre Cherta y Tous en el anejo de descripción de las transferencias.

Embalse	Estado	Cuenca	Volumen útil para regulac. (hm ³)	Incr. bombeo (m)	Incr. turb. (m)	Alt. presa sobre cauce (m)	Long. de presa (m)	Diagnóstico preliminar
Canaletas	Nuevo	Ebro						Desechable por afecc. ambiental
Val d'Infern	Nuevo	Ebro	64	60	10	115	600	Viable con limits.geol. y ambient.
Cervera	Nuevo	Ebro	76	93	50-70	60	500	Viable
Calig	Nuevo	Júcar	81	17	0	45 ¹	1500	Desfavorable por topogr. y geología
Gorra	Nuevo	Júcar	83	146	125	80 ²	550	Desfavorable por geología del vaso
Alcalá ³	Nuevo	Júcar	71	46	10	54	500	No idóneo, pero no descartable
Sichar	Existente	Júcar	45	105	60			-
Villamarchante	Nuevo	Júcar	40	77	30	35		Viable
Tous	Existente	Júcar		66	15			-
Escalona	Existente	Júcar						-

Tabla 115. Características básicas de los embalses analizados

De todo lo expuesto, en cuanto a la viabilidad de la construcción de nuevos embalses reguladores en el tramo Cherta-Tous, cabe concluir lo siguiente:

- Todos los emplazamientos propuestos presentan mayores o menores problemas en función de la compleja geología de la zona, previéndose en todos los casos tratamientos de impermeabilización tanto en las cerradas como en los vasos.
- En todos los casos es complicado superar los 85 hm³ de capacidad, salvo que o bien se acometan obras civiles de gran envergadura o tratamientos del terreno de dudosos resultados.
- A falta de estudios más detallados, los emplazamientos que se consideran más favorables corresponden a los embalses de Vall d'Infern, Cervera del Maestre, y Villamarchante, siendo el de Cervera el que presenta mejor balance energético y menores complicaciones ambientales. El primero, en virtud de los estudios realizados requiere tratamientos especiales del terreno en el vaso y cerrada, pero puede garantizarse la estanqueidad con ellos hasta la cota 200, de acuerdo con el proyecto ya existente. Por encima de esta cota y hasta la 220 son necesarios estudios adicionales, pero a primera vista parece que la impermeabilización podría lograrse con alguna medida adicional no excesivamente costosa. Su viabilidad queda condicionada a la comprobación de la afección ambiental de la lámina de agua sobre el perímetro del espacio natural de los Puertos de Tortosa y Beceite. En

¹ Además de la presa principal requiere varios diques laterales, uno de los cuales es de 20 m de altura y 600 m de longitud

² Además de la presa principal requiere diques laterales de 20 m de altura y 800 m de longitud total.

³ Se ha supuesto que se sustituye el canal desde Cherta a la cota 200 por otro a la cota 150 que parte de Cherta y termina en el embalse de Alcalá. De este toma una elevación que sustituye a la de Cuevas de Vinromá y enlaza con el trazado inicialmente seleccionado

Cervera sería necesario efectuar estudios adicionales que definan las características de las calizas y margas que ocupan la mayor parte del vaso.

Los tres embalses indicados podrían proporcionar un nuevo volumen de embalse para la regulación de la transferencia Ebro-Almería de unos 180 hm³. El resto de los emplazamientos se consideran, en principio, desaconsejables.

- En caso de construirse el embalse de Alcalá (en principio no idóneo pero no claramente descartable) con funciones de regulación intermedia de la conducción, podría ser conveniente replantearse la solución seleccionada entre Cherta y Cuevas de Vinromá, sustituyendo el canal Alto por el canal Bajo, y la elevación de Cuevas de Vinromá por otra desde el embalse de Alcalá. La misma consideración es aplicable a los embalses de Gorra y Calig, si bien lo accidentado del terreno a cota 280 entre estas presas y Cuevas de Vinromá requeriría un estudio más detallado para poder pronunciarse con mayor fundamento.
- El empleo de los embalses existentes resulta, en todo caso, aconsejable. El grado de tal empleo dependerá básicamente de sus posibilidades de regulación complementaria, tras satisfacer prioritariamente las necesidades propias de la cuenca del Júcar.

12. SINTESIS DE RESULTADOS BÁSICOS

Seguidamente se resumen las cifras básicas obtenidas de los análisis precedentes.

En cuanto a los orígenes del recurso, o posibles fuentes identificadas, sus características fundamentales, deducidas de los análisis de los sistemas, se resumen en la tabla adjunta.

Para el cálculo del coeficiente de dimensionamiento asociado a las conducciones de toma, se ha adoptado el criterio de incrementar el coeficiente de toma, que considera efectos intra e interanuales, en un 20% por efectos de resguardos y puntas. Si el valor así resultante fuese menor que 1'8, se asume este valor estándar, adoptado por defecto para todas las conducciones del esquema, y que se obtiene considerando conjuntamente el efecto estacional de 8 meses (1'5) junto con el efecto de resguardos y puntas (estimado en un 20%). La única excepción a esa regla es el origen del Ródano, que supondremos ausente de efectos estacionales, y afectado solo del 20% de puntas y resguardos. Con todo ello, los coeficientes de dimensionamiento finalmente resultantes son los ofrecidos en la tabla.

	Captac. media máxima (hm ³ /año)	Coef. de toma	Coef. de dimens.
Alto Duero	57	1'1	1'8
Bajo Duero	785	1'6	2'0
Jarama	300	2'3	2'8
Tajo en Toledo	200	5'0	6'0
Tajo en Azután	300	3'4	4'1
Tiétar	200	2'5	3'0
Bajo Ebro	1200	1'3	1'8
Segre	250	1'2	1'8
Ródano	1200	1'0	1'2

Tabla 116. Características de los orígenes identificados

En cuanto a demandas o puntos de entrega, la tabla muestra las demandas netas requeridas en los puntos de entrega del sistema de transferencias, y las demandas brutas contabilizadas en los puntos de origen de las transferencias, suponiendo unas pérdidas totales medias del sistema del 5%. Ambas estimaciones se ofrecen para las dos grandes alternativas de flujo de los esquemas de transferencia: la circulación interior, con origen básico en el Duero, y la circulación litoral, por el eje mediterráneo, con origen en el Ebro.

Unidad de demanda agregada	Demanda neta (hm ³ /año)		Demanda bruta (hm ³ /año)	
	Interior	Litoral	Interior	Litoral
Barcelona	180	180	189	189
Castellón Norte	20	20	21	21
Mijares-Castellón	40	40	42	42
Castellón Sur	20	20	21	21
Turia	0	0	0	0
Tous	0	60	0	63
Villena	160	160	168	168
La Roda	60	0	63	0
Altiplano	40	40	42	42
Almería-Levante	30	30	32	32
Almería-Poniente	75	75	79	79
Alto Segura	140	0	147	0
Guadalentín	185	0	194	0
Bajo-Segura	40	325	42	341
Cartagena-Litoral	10	50	11	53
Total:	1000	1000	1051	1051

Tabla 117. Características de las demandas identificadas

Agregando estos resultados por ámbitos de planificación, y redondeando las cuantías resultantes, los resultados finales propuestos son los de la tabla adjunta.

Cuenca de destino	Aporte externo (hm ³ /año)	
	Neto	Bruto
Cuencas Internas de Cataluña	180	190
Júcar	300	315
Segura	430	450
Sur	90	95
Total:	1000	1050

Tabla 118. Demandas agregadas por cuencas de destino

Ha de señalarse que las asignaciones de trasvase indicadas se destinarían formalmente, en todo caso, a las cuencas receptoras de forma global, y no a unidades de demanda concretas dentro de estas cuencas. La determinación final de esta asignación, a escala inferior a la del ámbito de planificación, constituye un proceso administrativo posterior que, aunque debe basarse en los principios generales que se han expuesto (sobreexplotación, garantía de abastecimientos, etc.), queda fuera de las determinaciones de este Plan Hidrológico. Así, todas las imputaciones realizadas lo han sido a efectos de cálculo, sin que quepa deducir consecuencias jurídicas más allá de esta determinación global.

13. REFERENCIAS

- Aguas de Alcázar EMSA, ed. *El acuífero 23: pasado, presente y futuro*. I Jornada de Comunicación Ambiental. 18 de febrero de 1999.
- Aigües Ter-Llobregat (ATLL). *Estudio de la demanda de agua en el ámbito de ATLL*. Marzo 1996a.
- Aigües Ter-Llobregat (ATLL). *Modelo del sistema Ter-Llobregat*. Julio 1996b.
- Aigües Ter-Llobregat (ATLL). *L'abastament d'aigua a les comarques de l'entorn de Barcelona*. Abril, Maig 1999a.
- Aigües Ter-Llobregat (ATLL). *L'abastament d'aigua a les comarques de l'entorn de Barcelona*. Informe del Comitè Científic Assessor. Maig 1999b.
- Batista, E. Problemas y gestión de los acuíferos litorales. Incluido en *Las Aguas Subterráneas en las Cuencas del Ebro, Júcar e Internas de Cataluña y su papel en la planificación hidrológica*. Jornadas de la AIH. Lérida. 1996.
- Bocanegra, E. y E. Custodio. *Utilización de acuíferos costeros para abastecimiento*. Ingeniería del agua, Vol 1, nº4, pp.49-78. 1994.
- CE. *Groundwater And River Resources Action Programme on European Scale (GRAPES)*. Contract ENV4-CT95-0186. First Annual Report, Febr, 1997.
- Consejería de Agricultura y Pesca, *Inventario y caracterización de los regadíos de Andalucía*, Junta de Andalucía, Ed. CD-ROM, 1999.
- Convenio sobre cooperación para la protección y el aprovechamiento sostenible de las aguas de las cuencas hidrográficas hispano-portuguesas*, BOE núm. 37, 12 de febrero de 2000, p. 6703-6712.
- Corominas, J. (2000a) *Más allá de la modernización de los regadíos*, Conferencia Inaugural, XVIII Congreso Nacional de Riegos, Huelva, 20 de junio de 2000.
- Corominas, J. (2000b), El papel económico de las aguas subterráneas en Andalucía, La economía de las aguas subterráneas en España, Serie B, nº 2, *Papeles del Proyecto de Aguas Subterráneas*, M. Ramón Llamas, Director, Fundación Marcelino Botín, abril 2000.
- CHJ, *Informe sobre reutilización en la cuenca del Júcar*. Doc. interno, Oficina de Planificación Hidrológica, Confederación Hidrográfica del Júcar. 2000.
- CHPO, *Estudio de los recursos hidráulicos totales en la cuenca del Pirineo Oriental*. Confederación Hidrográfica del Pirineo Oriental, Julio, 1984.
- de los Ríos Romero, F., *El Agua en la Cuenca del Ebro*. Institución Fernando el Católico, Sección de estudios agrícolas. Zaragoza, 1984.
- de los Ríos Romero, F., *Cuarenta años de testimonio público por las gentes del campo*, Ed. Cátedra de hidrogeología. Universidad de Zaragoza, 1990.
- EMASESA, *Manual de sequía*. Empresa Municipal de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de Sevilla, 1998.
- Ferrer Embodas, R. La explotación conjunta del agua subterránea y superficial en el abastecimiento en Barcelona. Incluido en *Las Aguas Subterráneas en las Cuencas del Ebro, Júcar e Internas de Cataluña*. Jornadas de la AIH. Lérida. 1996.
- Huertas, C., La economía del agua en Andalucía, incl. en *La economía del agua en España*. J.M. Naredo (ed). Colección Economía y Naturaleza, nº 7. pp. 103-120, Fundación Argentaria. Madrid, 1997.
- INM. *Homogeneidad y variabilidad de los registros históricos de precipitación en España*. MIMAM, serie monografías, 1996.
- ITGE-DGOHCA. *Redes de Control de las Aguas Subterráneas. Informe semestral*. Madrid, diciembre 1999.

- Jové Vintró, J.L., El abastecimiento de agua a la zona de Barcelona. Incluido en *El agua en Catalunya*. Ed. L. Berga. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, 1995.
- López Bosch, L., Diez años del Consorci d'aigües de Tarragona. Incluido en *Planificación Hidrológica y Política Hidráulica (El Libro Blanco del Agua)*. A. Embid Irujo. Civitas, Madrid, 1999.
- López Martos, J y N. Rodríguez Ferrero, La gestión empresarial del agua, incl. en *La economía del agua en España*. J.M. Naredo (ed). Colección Economía y Naturaleza, nº 7. pp. 103-120, Fundación Argentaria. Madrid, 1997.
- López Sanz, G. *La gestión del agua subterránea en la cuenca alta del río Guadiana: de la confrontación a la cooperación*. Ciudad Real. 1998.
- MAPA, Plan Nacional de Regadíos horizonte 2008. Borrador marzo 1998.
- Martín-Retortillo, S., L. Martín Rebollo, J. Bermejo Vera, L. Martín-Retortillo, *Aspectos jurídicos del trasvase del Ebro*, Caja de Ahorros de La Inmaculada, Zaragoza, 1975.
- MIMAM, *Diseño de programas integrados de gestión de la demanda de agua*. Informe Interno. Madrid. 1996.
- MIMAM, *Situación actual y posibilidades de aprovechamiento del río Júcar*. Informe interno, 1997.
- MIMAM, Una regla de explotación para la programación de trasvases del acueducto Tajo-Segura. Informe interno, 1997.
- MIMAM, *Programa de ordenación de acuíferos sobreexplotados / salinizados. Formulación de estudios y actuaciones*. DGOHCA-ITGE. 1998a.
- MIMAM. *Integración de los acuíferos en los sistemas de explotación*. DGOHCA-ITGE. 1998b.
- Módenes Cabrerizo, J.A., Jornades Tècniques sobre Projeccions Demogràfiques de Catalunya. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, num. 32. p.219-224. 1998.
- Molist Sagarra, J. Consideraciones sobre el papel de los acuíferos aluviales en el abastecimiento de agua a la zona costera de las cuencas internas de Cataluña. Incluido en *Las Aguas Subterráneas en las Cuencas del Ebro, Júcar e Internas de Cataluña y su papel en la planificación hidrológica*. Jornadas de la AIH. Lérida. 1996.
- MOPT, *Mejora y modernización de infraestructuras de regadíos existentes. Ahorro de agua*, DGOH, 6 vols. 1992.
- MOPTMA. *Medidas y actuaciones de racionalización del uso de la oferta del agua y su incidencia en balances hidráulicos en las cuencas del Sur, Segura, Júcar e Internas de Cataluña*. Informe interno. Madrid. 1995.
- MOPTMA-MINER, 1995. *Libro Blanco de las Aguas Subterráneas*. DGOH-DGCA-ITGE. Madrid, 1995.
- Moreu Ballonga, J.L., Los trasvases de recursos hidráulicos entre cuencas y el caso particular de los trasvases del Ebro. *Revista Jurídica de Navarra*, nº 15. Homenaje al profesor Sancho Rebullida, enero-junio 1993.
- Mujeriego, R., Reutilización del agua. Incluido en *El agua en Catalunya*. Ed. L. Berga. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, 1995.
- Sala, Ll., y M. Serra, Experiència pràctica i situació actual de la reutilització de l'aigua en el Consorci de la Costa Brava. Incluido en *La gestió de l'aigua regenerada*. Ed. R. Mujeriego y Ll. Sala. Consorci de la Costa Brava, Palamós, 1998.
- Segarra i Trias, P., Usos industriales y producción hidroeléctrica. Incluido en *El agua en Catalunya*. Ed. L. Berga. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, 1995.
- Serna, J., M. Gaviria, *La quimera del agua. Presente y futuro de Daimiel y La Mancha Occidental*. Siglo XXI eds. 1995.
- Tomás, E., Un ejemplo de inversión ahorradora de agua: la remodelación de la Acequia Real del Júcar, incl. en *La economía del agua en España*. J.M. Naredo (ed). Colección Economía y Naturaleza, nº 7. pp. 103-120, Fundación Argentaria. Madrid, 1997.

Vilaró, F., La red regional de abastecimiento Aigües Ter-Llobregat. Incluido en *El agua en Catalunya*. Ed. L. Berga. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, 1995.

Vilaró, F., Las aguas subterráneas en el Plan Hidrológico de las cuencas Internas de Cataluña. Incluido en *Las Aguas Subterráneas en las Cuencas del Ebro, Júcar e Internas de Cataluña y su papel en la planificación hidrológica*. Jornadas de la AIH. Lérida. 1996.