

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

