

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.

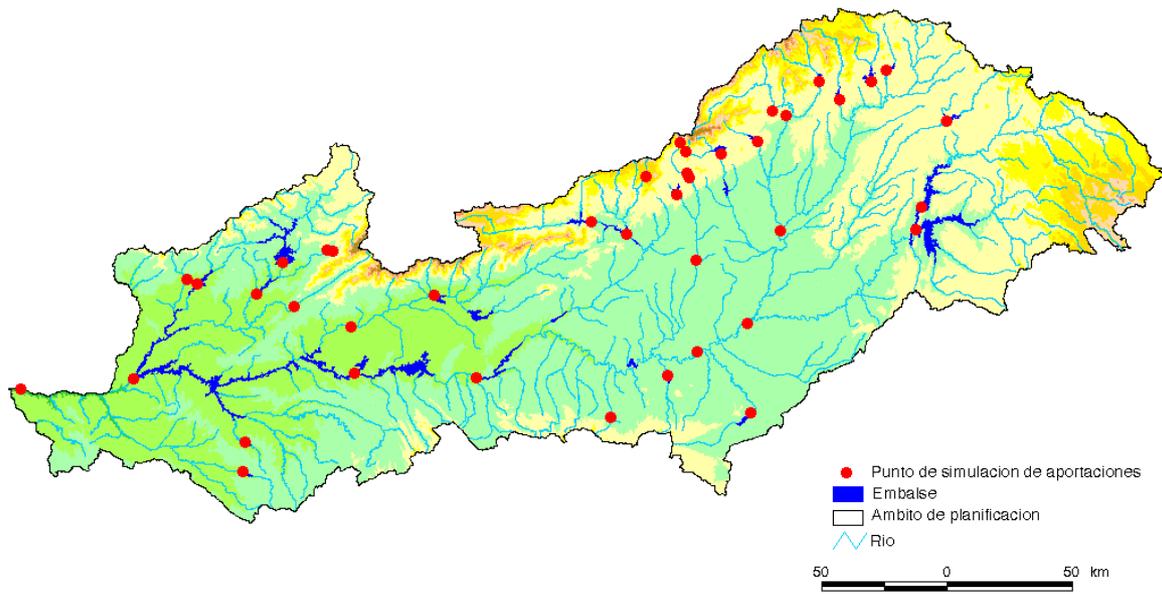


Figura 31. Puntos básicos de evaluación de recursos hídricos

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.

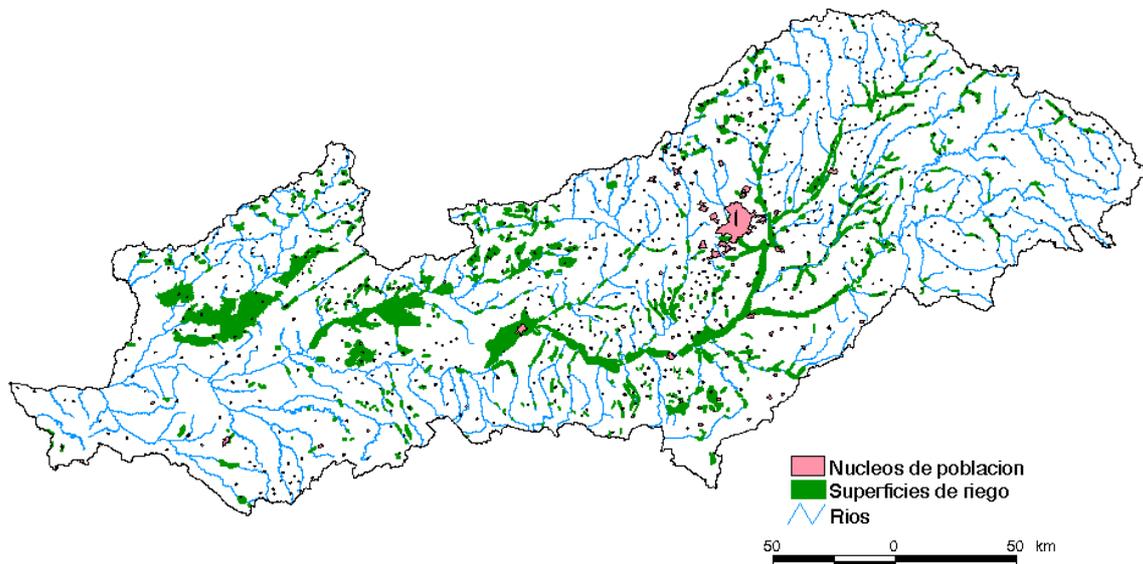


Figura 32. Mapa de situación de poblaciones y regadíos

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 (km ³ /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 Almoguera	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.

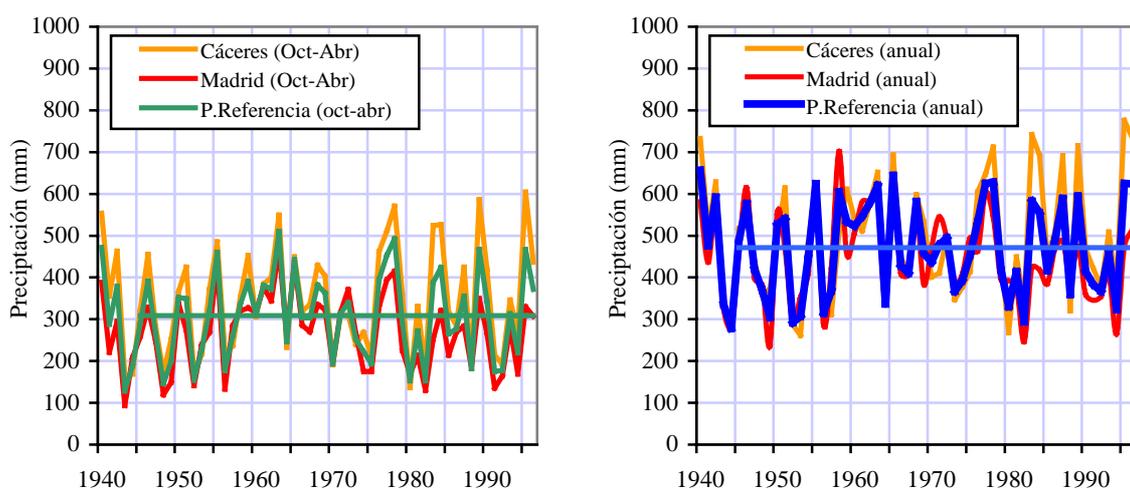


Figura 33. Obtención de las precipitaciones de referencia parcial (octubre-abril) y total anual según el Convenio con Portugal

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.

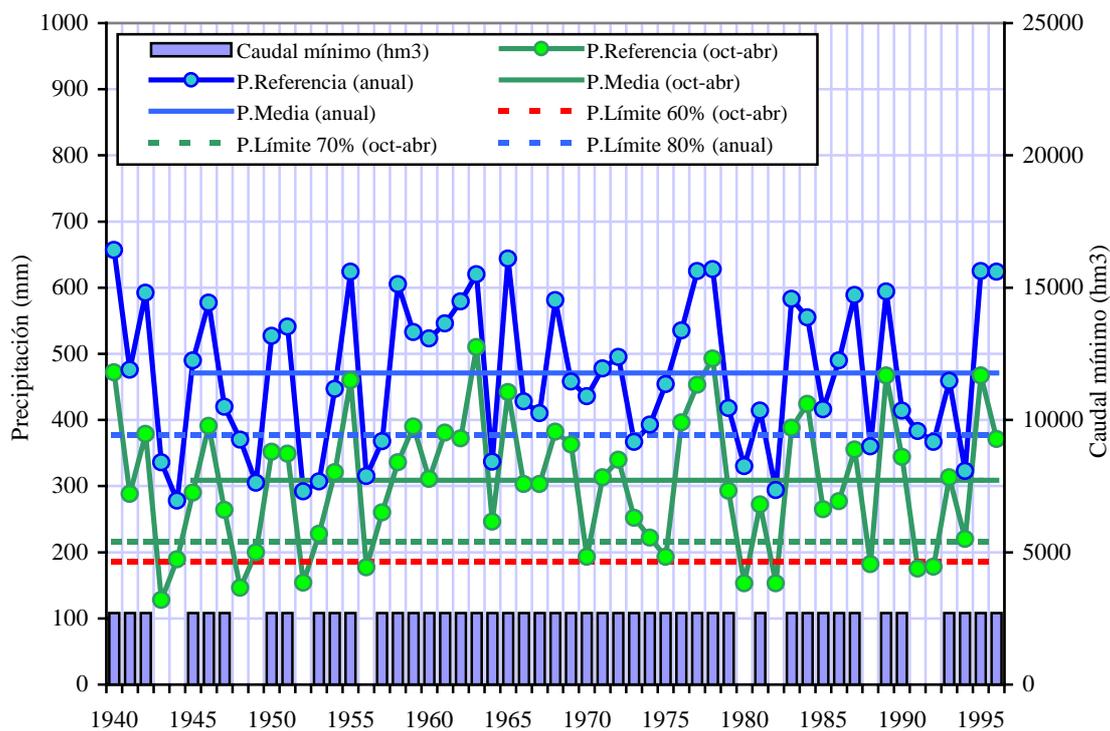


Figura 34. Obtención del régimen de caudales mínimos según el Convenio de Albufeira

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.

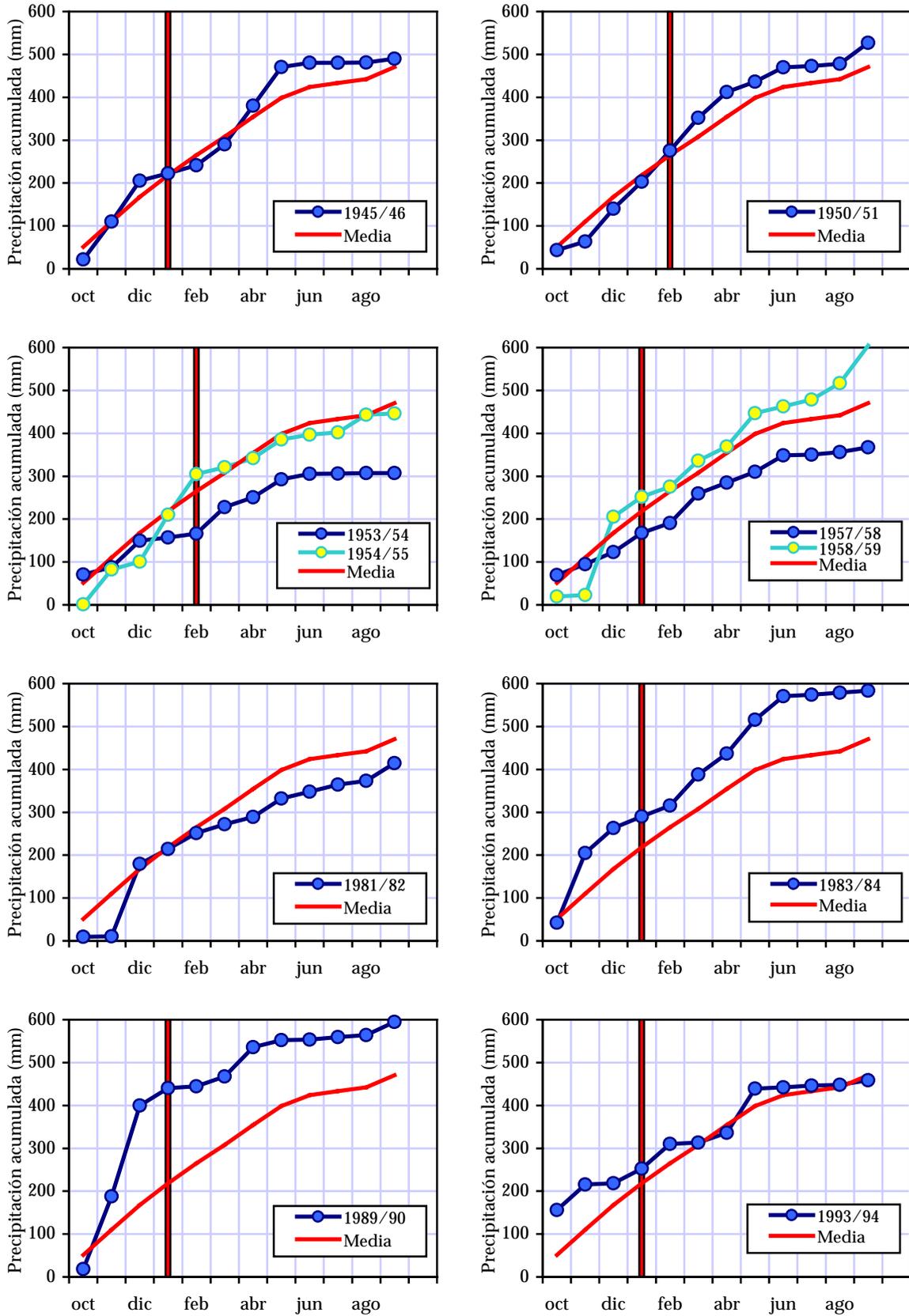


Figura 35. Identificación de la finalización de los periodos de excepción del régimen de caudales mínimos según el Convenio con Portugal

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.

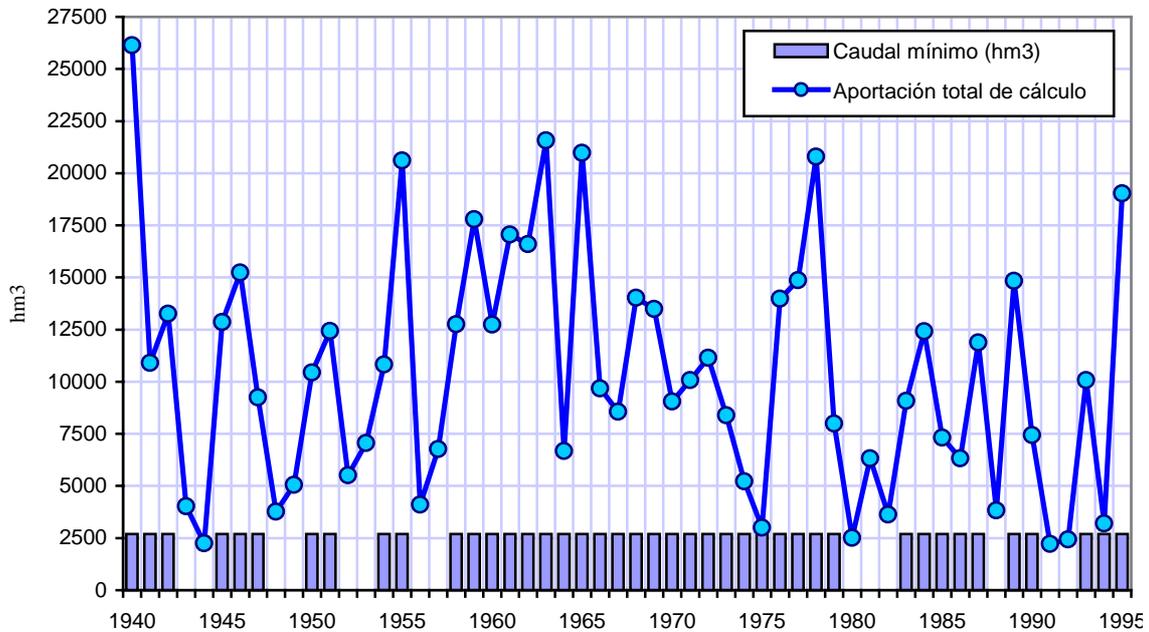


Figura 36 Régimen de caudales mínimos según el Convenio de Albufeira y aportación total de cálculo

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.

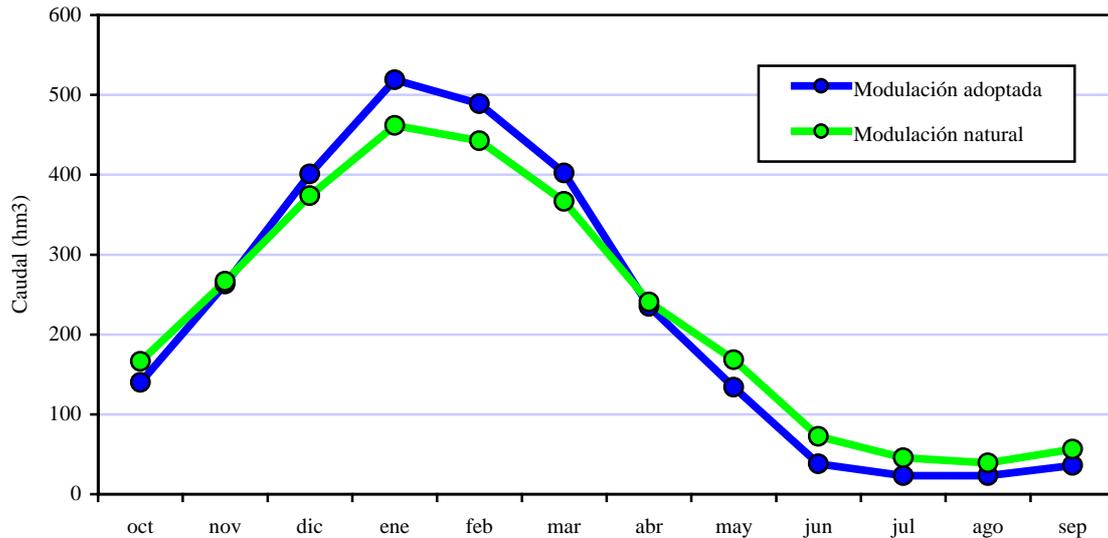


Figura 37 Variación mensual del régimen de caudales mínimos

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.

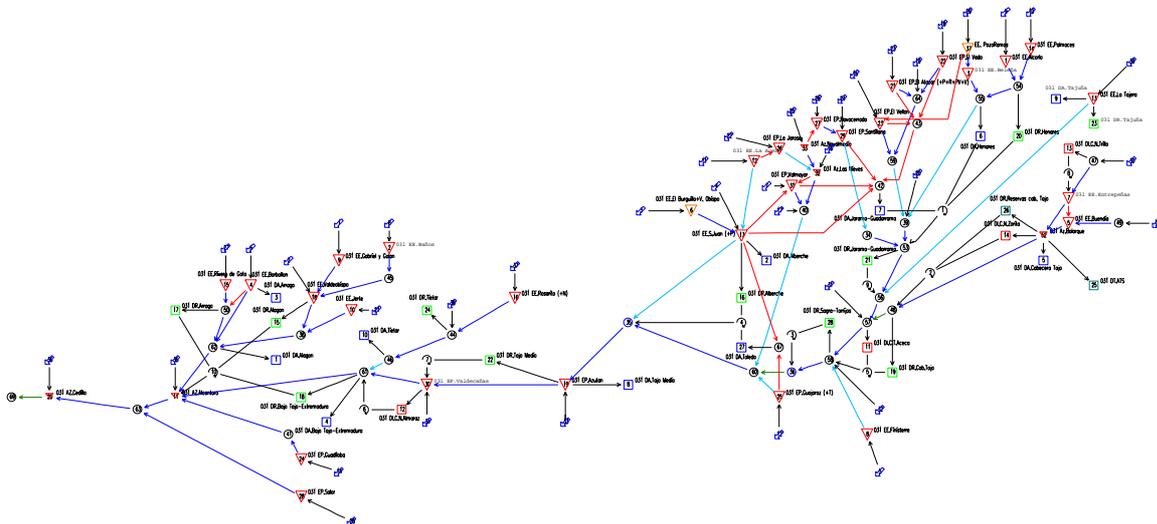


Figura 38. Sistema básico de explotación de la cuenca del Tajo

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.

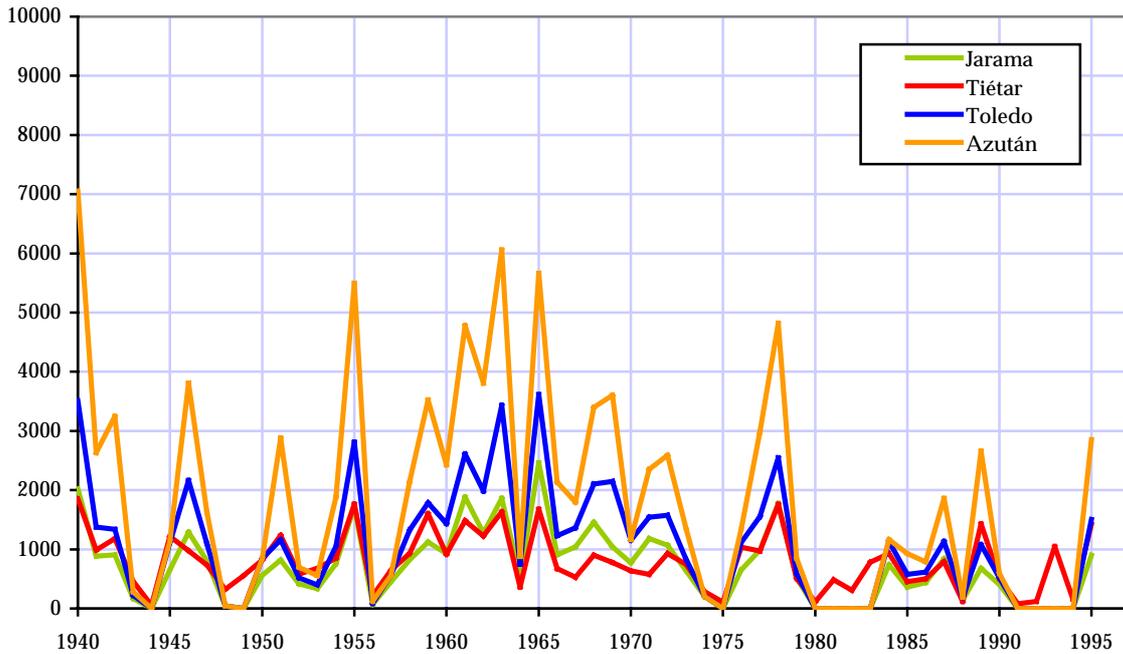


Figura 39. Sobrantes anuales exclusivos (hm³) en la cuenca del Tajo

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.

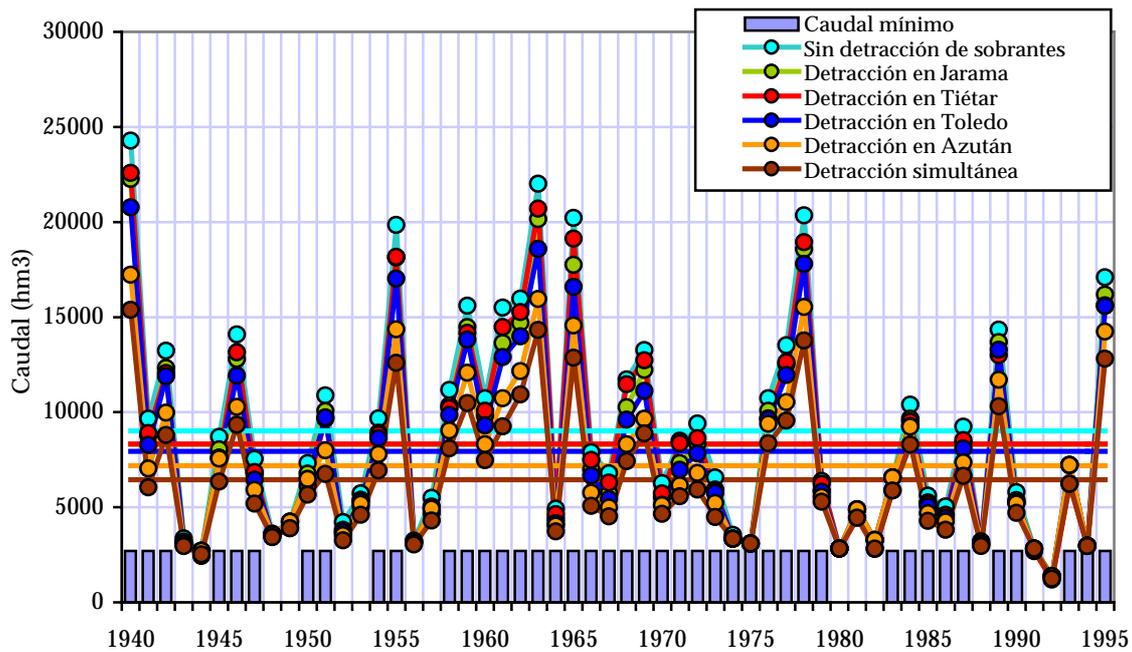


Figura 40. Caudales mínimos entrantes a Portugal supuesta la detección de todos los sobrantes

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.

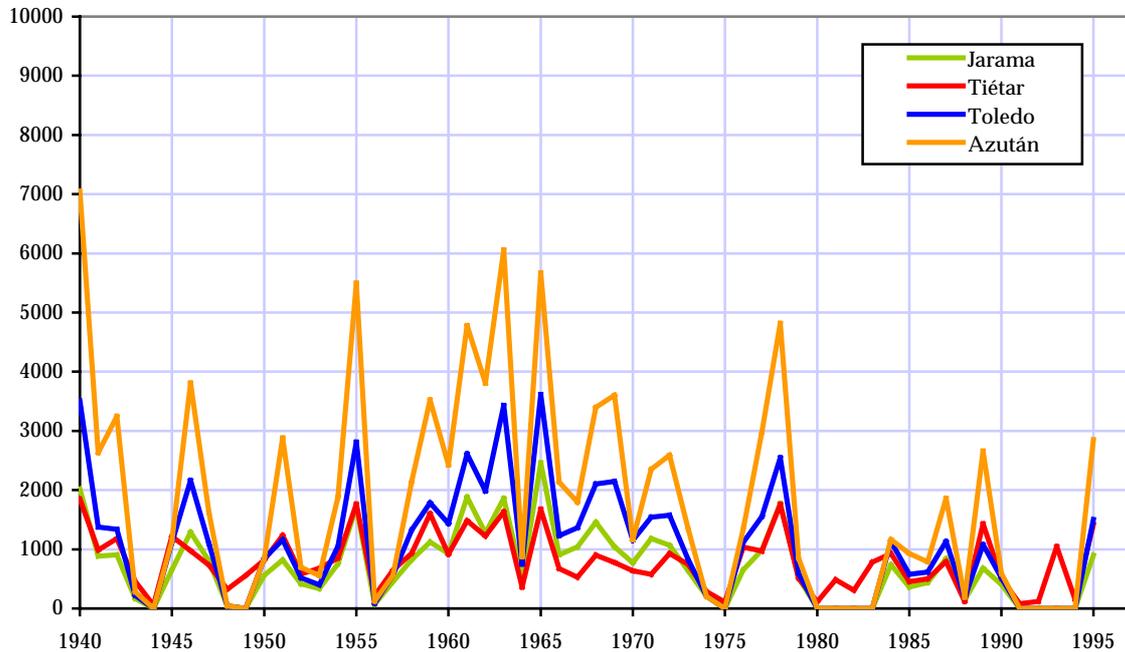


Figura 41. Sobrantes anuales exclusivos (hm^3) en la cuenca del Tajo

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.

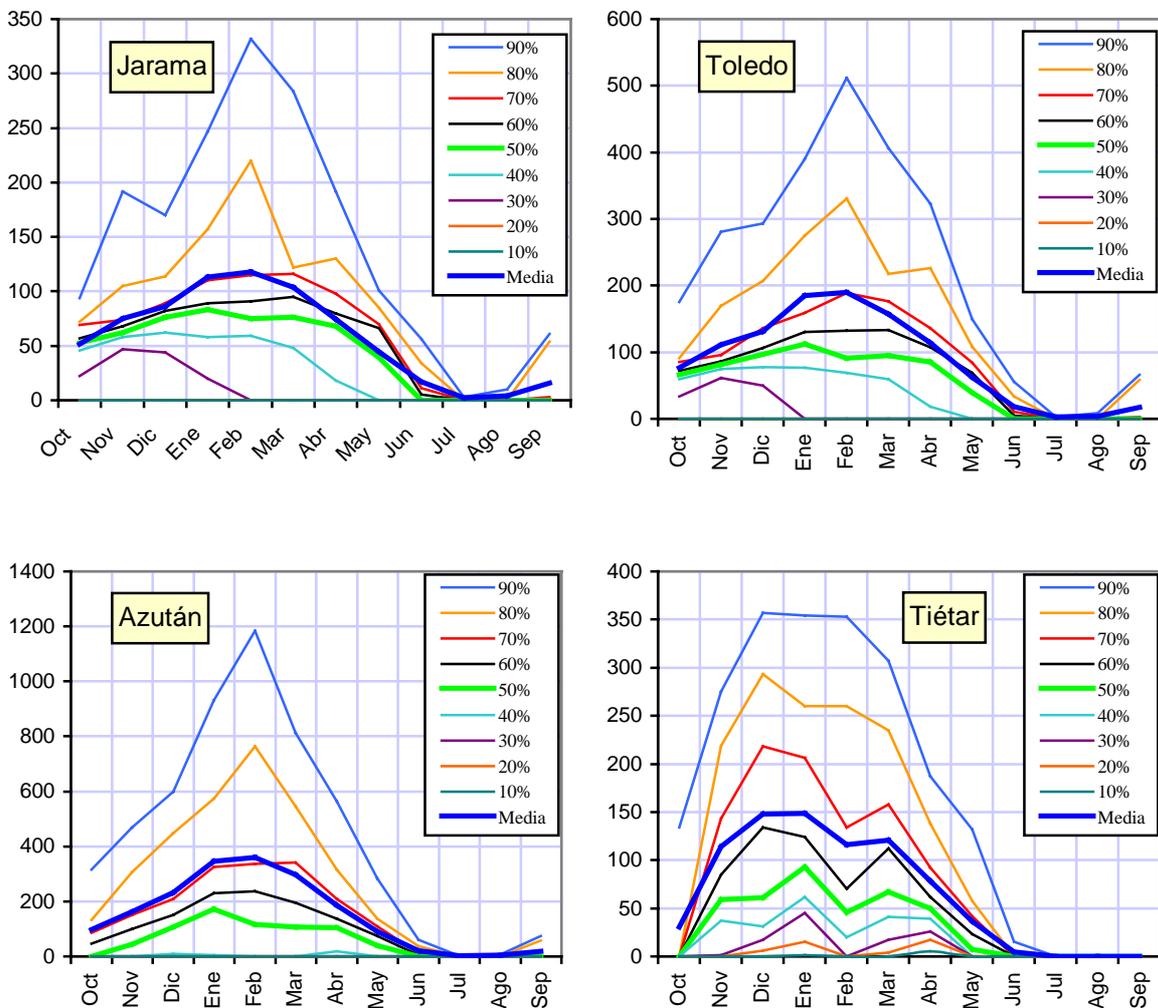


Figura 42. Percentiles y medias de los caudales sobrantes mensuales exclusivos (hm³) en la cuenca del Tajo

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.

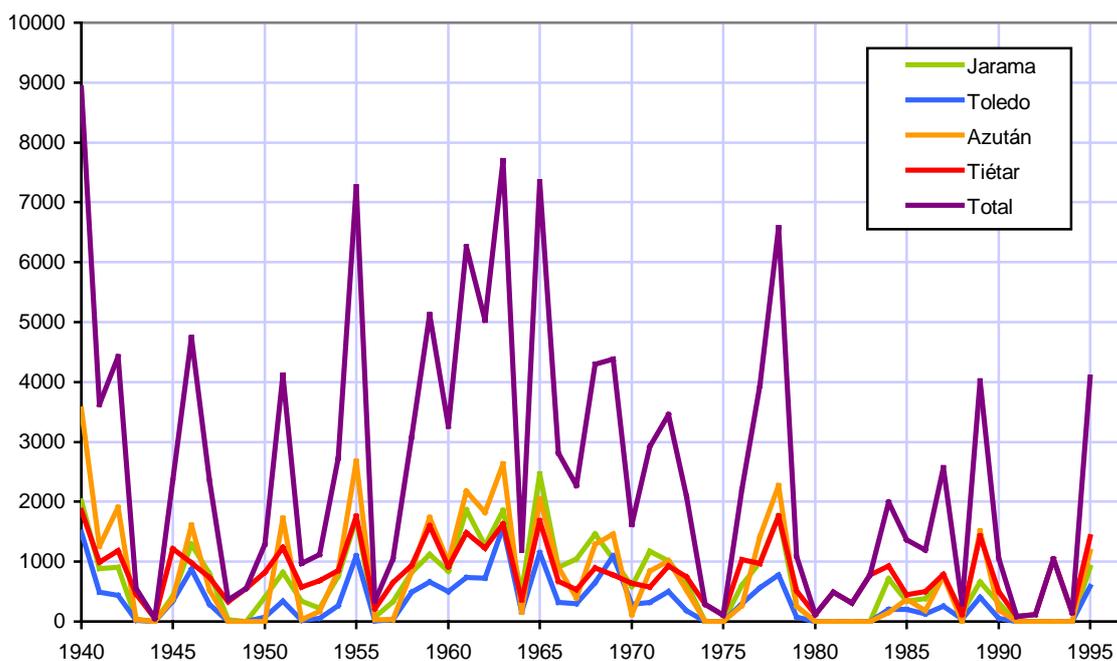


Figura 43. Sobrantes anuales simultáneos (hm^3) en la cuenca del Tajo

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.

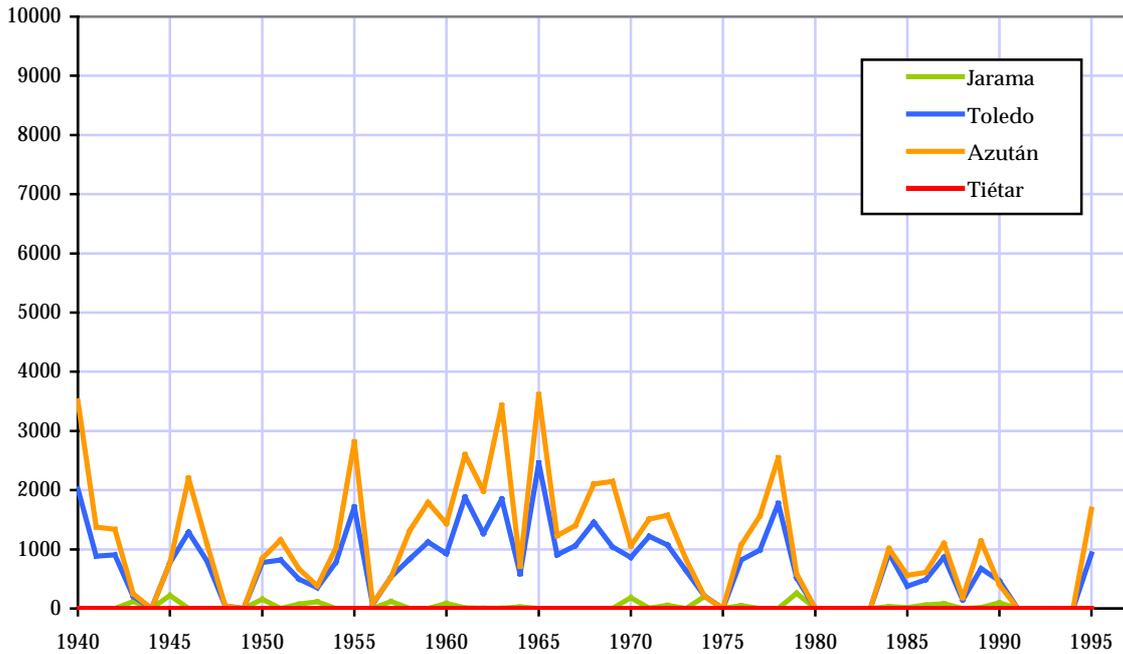


Figura 44. Diferencias de sobrantes anuales (exclusivos-simultáneos) (hm^3) en la cuenca del Tajo

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.

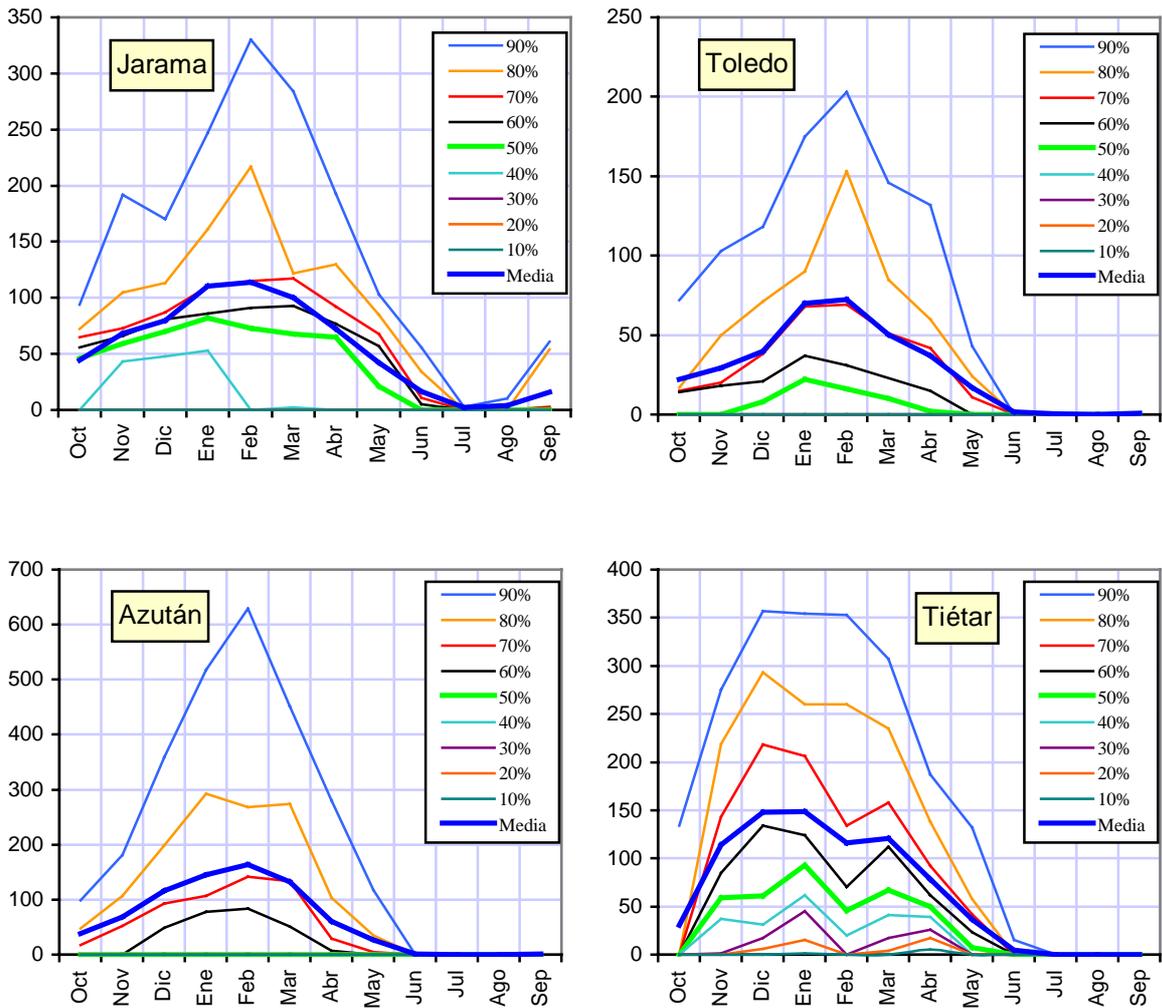


Figura 45. Percentiles y medias de los caudales sobrantes mensuales simultáneos (hm^3) en la cuenca del Tajo

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).

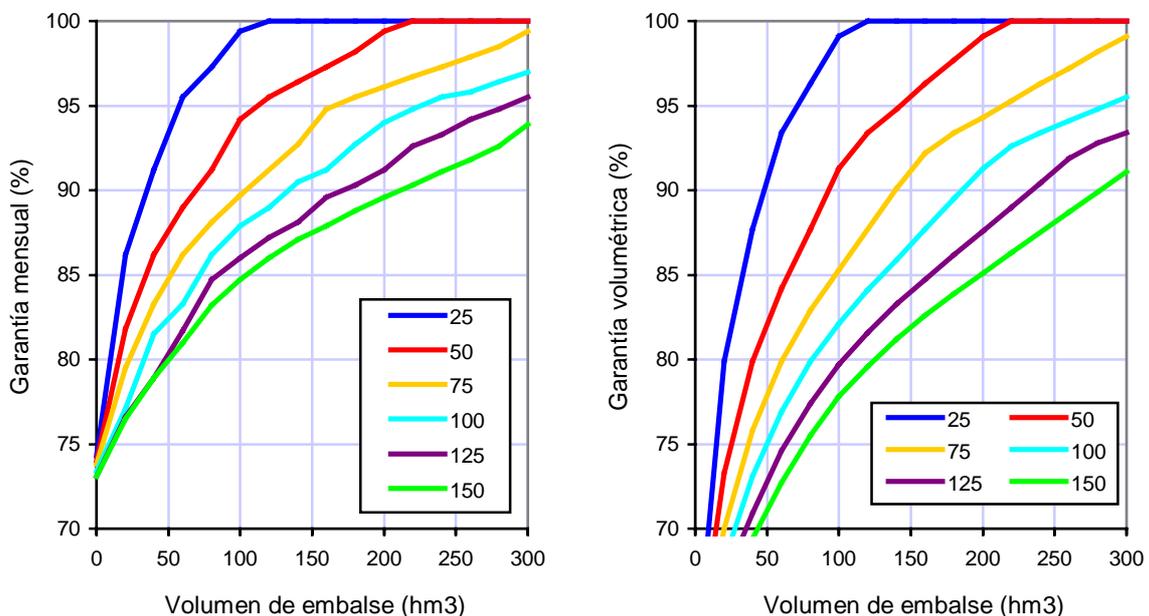


Figura 46. Jarama. Garantías mensual y volumétrica para demanda continua en 8 meses

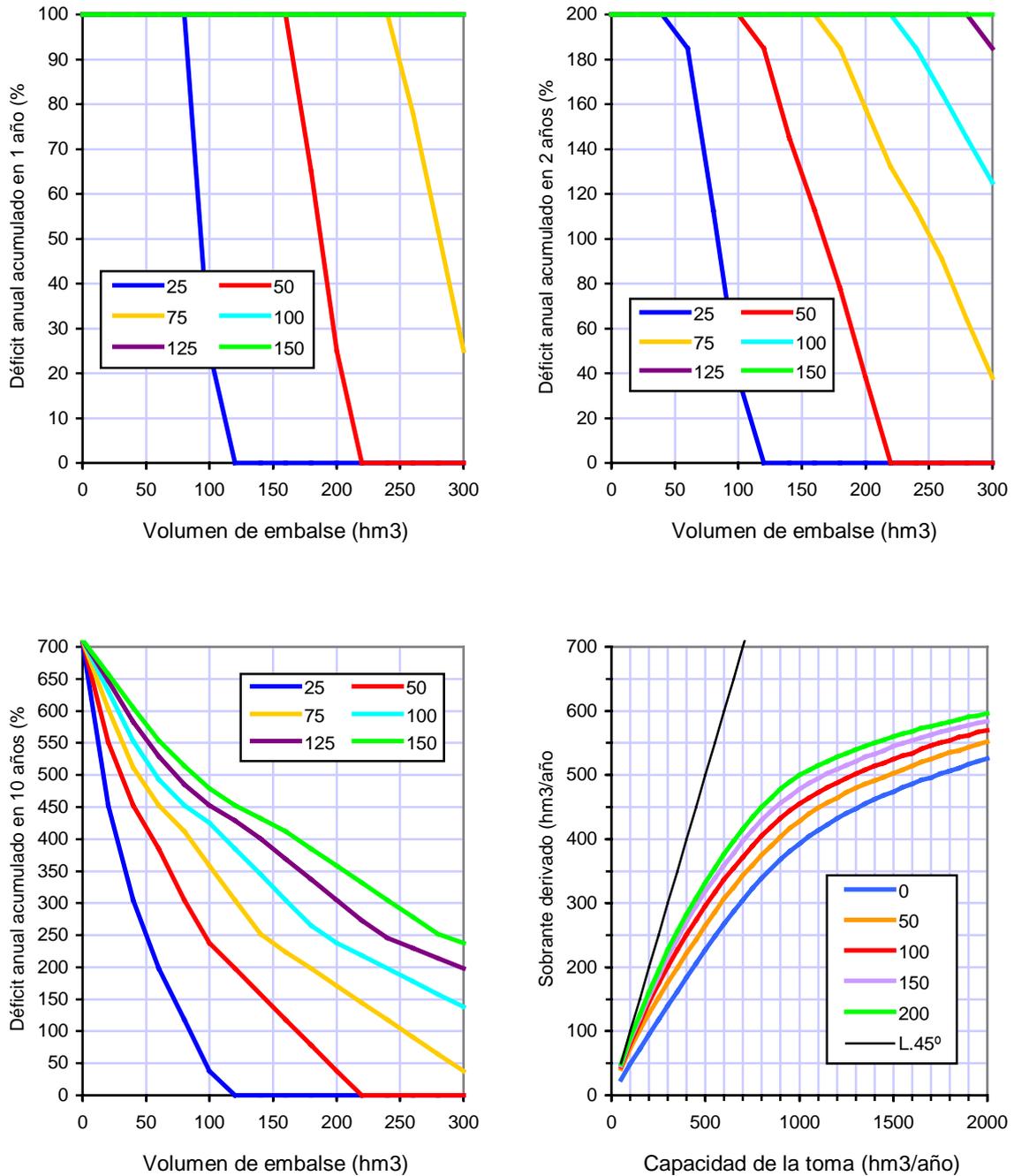


Figura 47. Jarama. Déficit anuales acumulados para demanda continua en 8 meses, y sobrantes derivables según capacidad de toma

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.

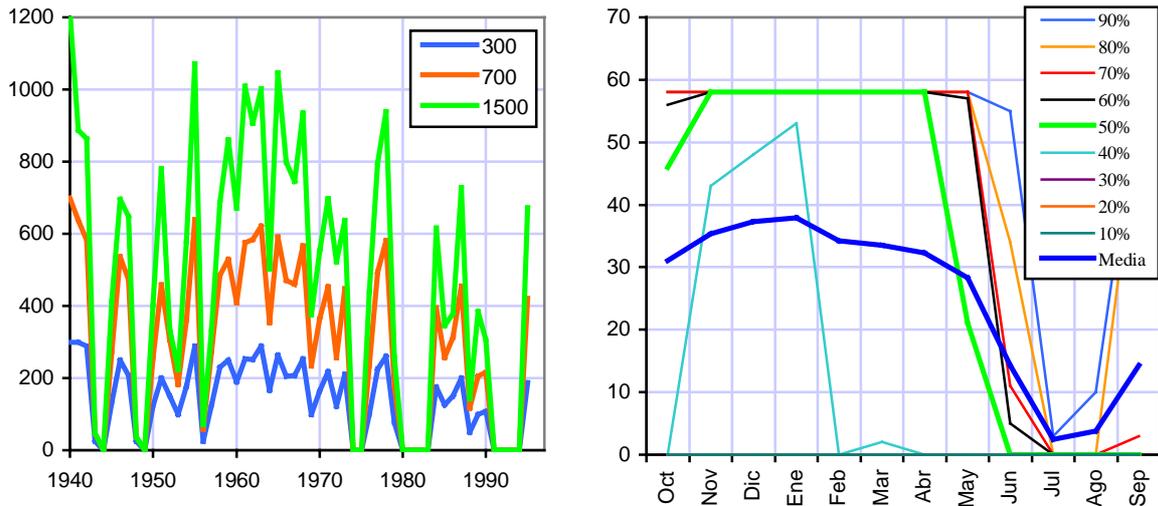


Figura 48. Jarama. Series anuales y cuantiles mensuales de los sobrantes derivables

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.

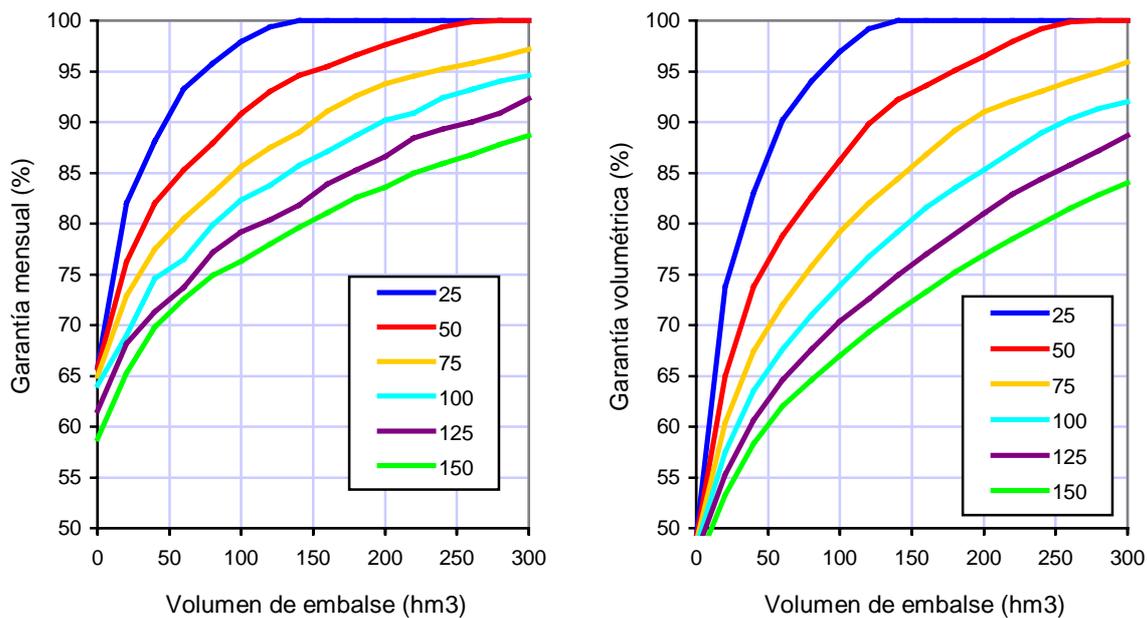


Figura 49. Toledo. Garantías mensual y volumétrica para demanda continua en 8 meses

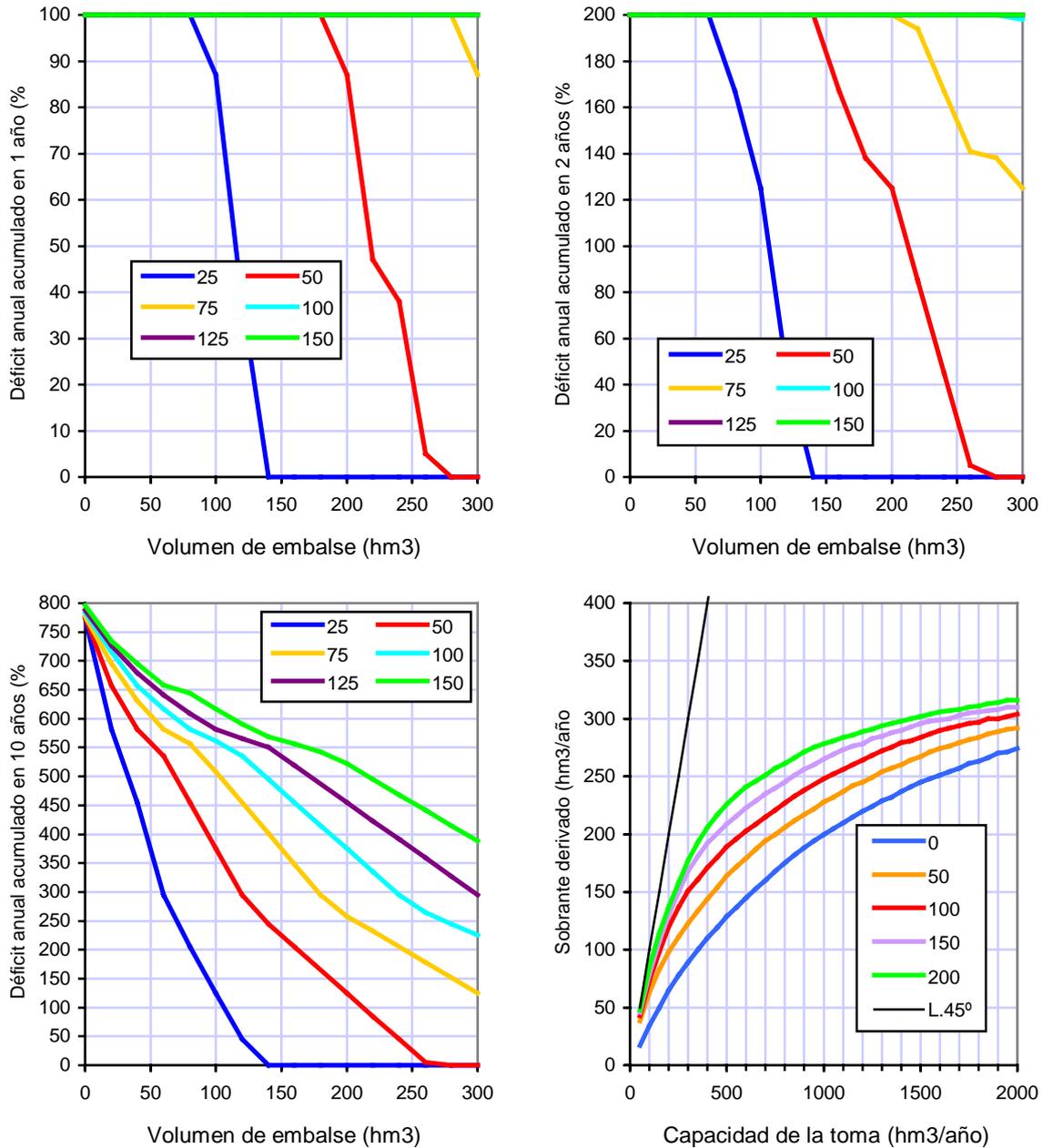


Figura 50. Toledo. Déficit anuales acumulados para demanda continua en 8 meses, y sobrantes derivables según capacidad de toma

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.

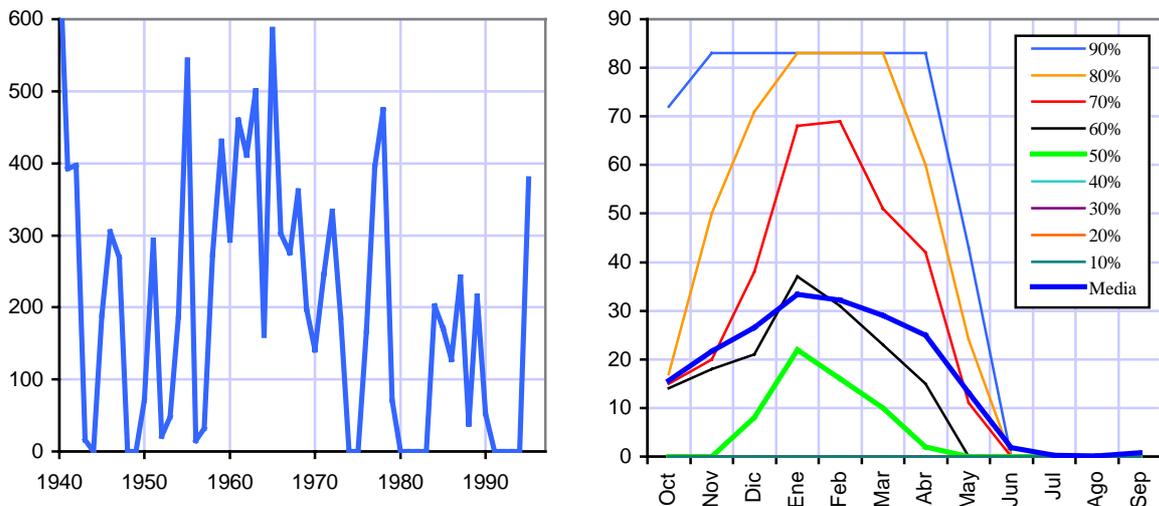


Figura 51. Toledo. Serie anual y cuantiles mensuales de los sobrantes derivables

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.

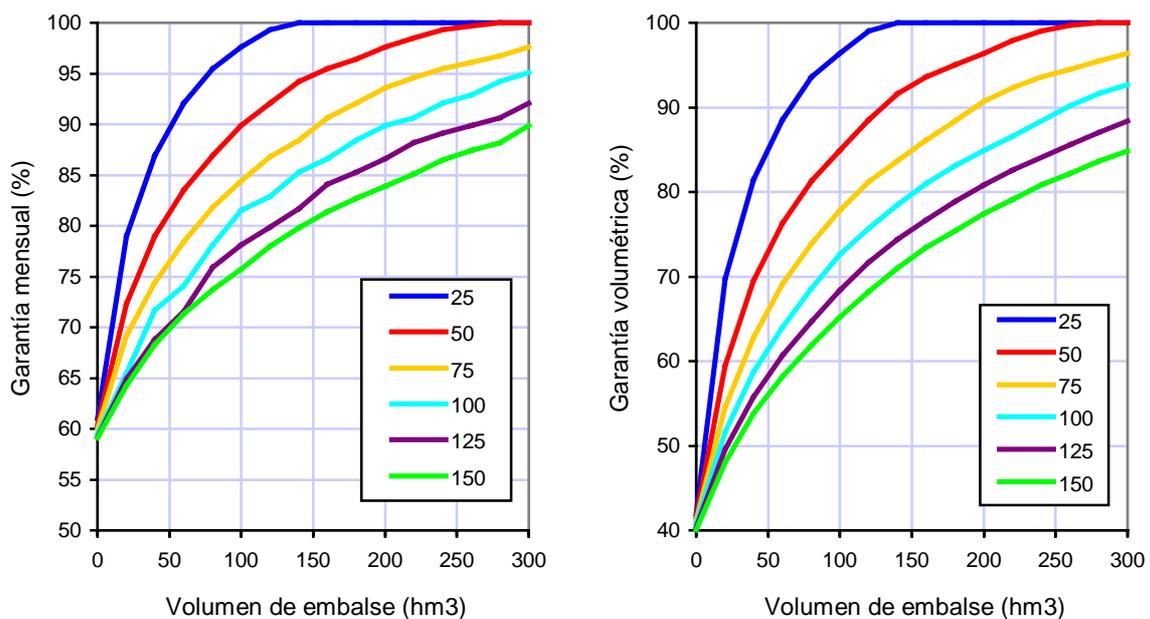


Figura 52. Azután. Garantías mensual y volumétrica para demanda continua en 8 meses

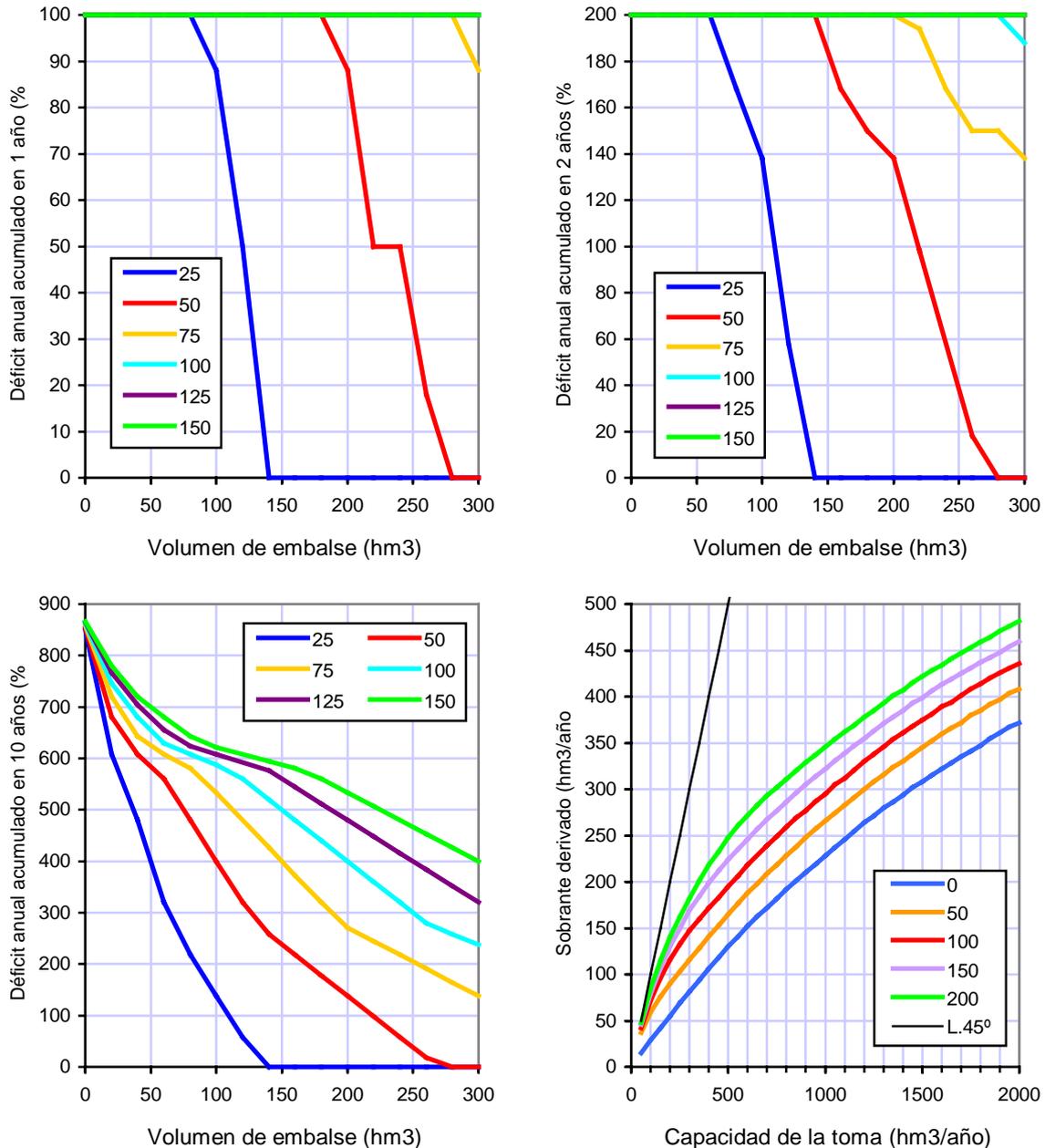


Figura 53. Azután. Déficit anuales acumulados para demanda continua en 8 meses, y sobrantes derivables según capacidad de toma

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.

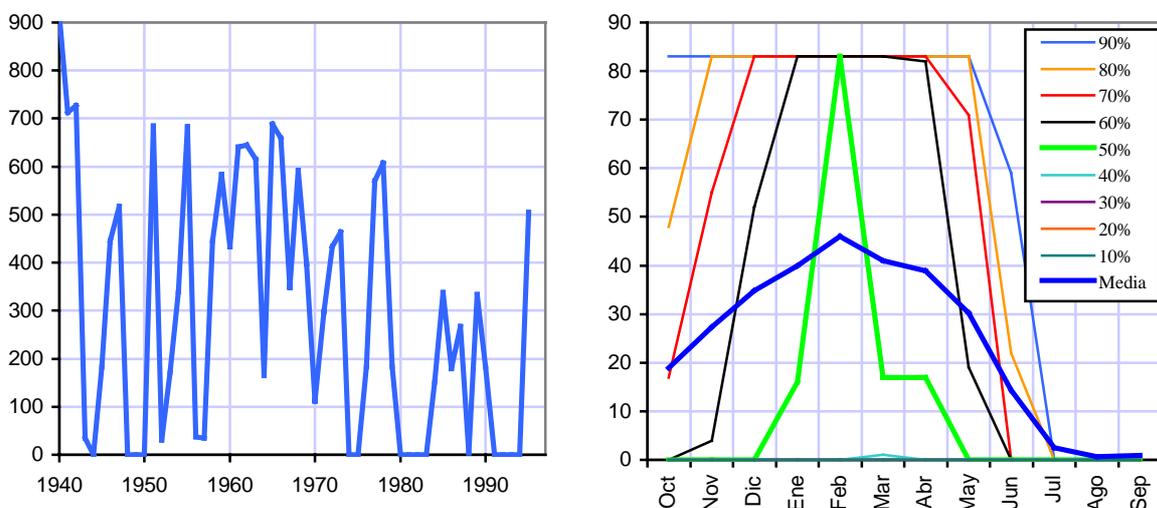


Figura 54. Azután. Serie anual y cuantiles mensuales de los sobrantes derivables

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.

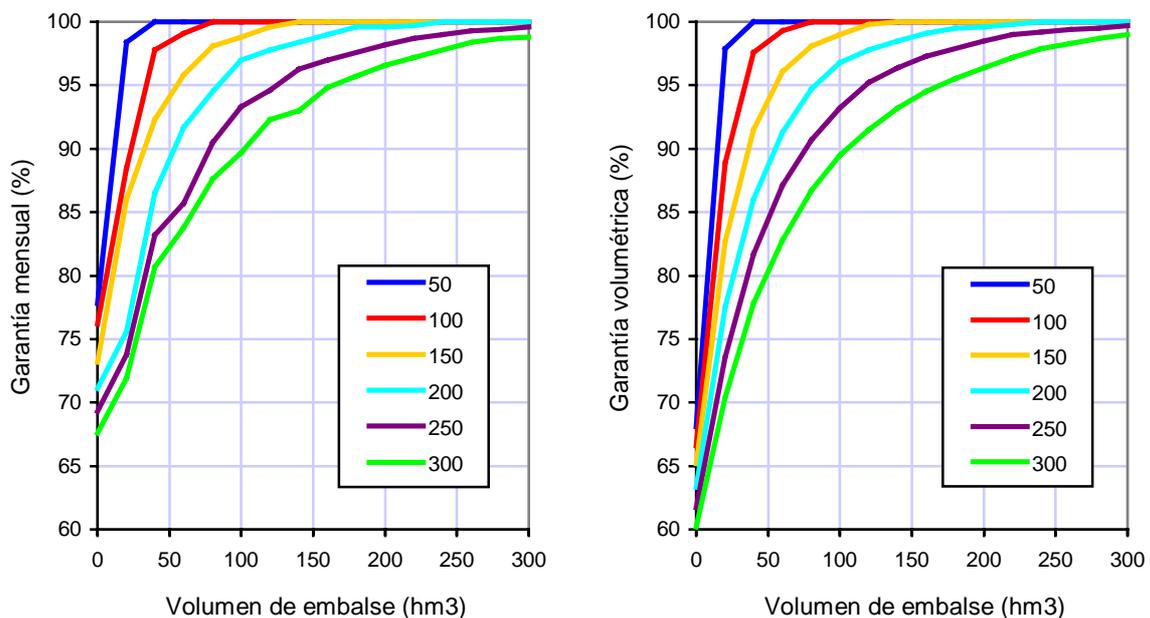


Figura 55. Tiétar. Garantías mensual y volumétrica para demanda continua en 8 meses

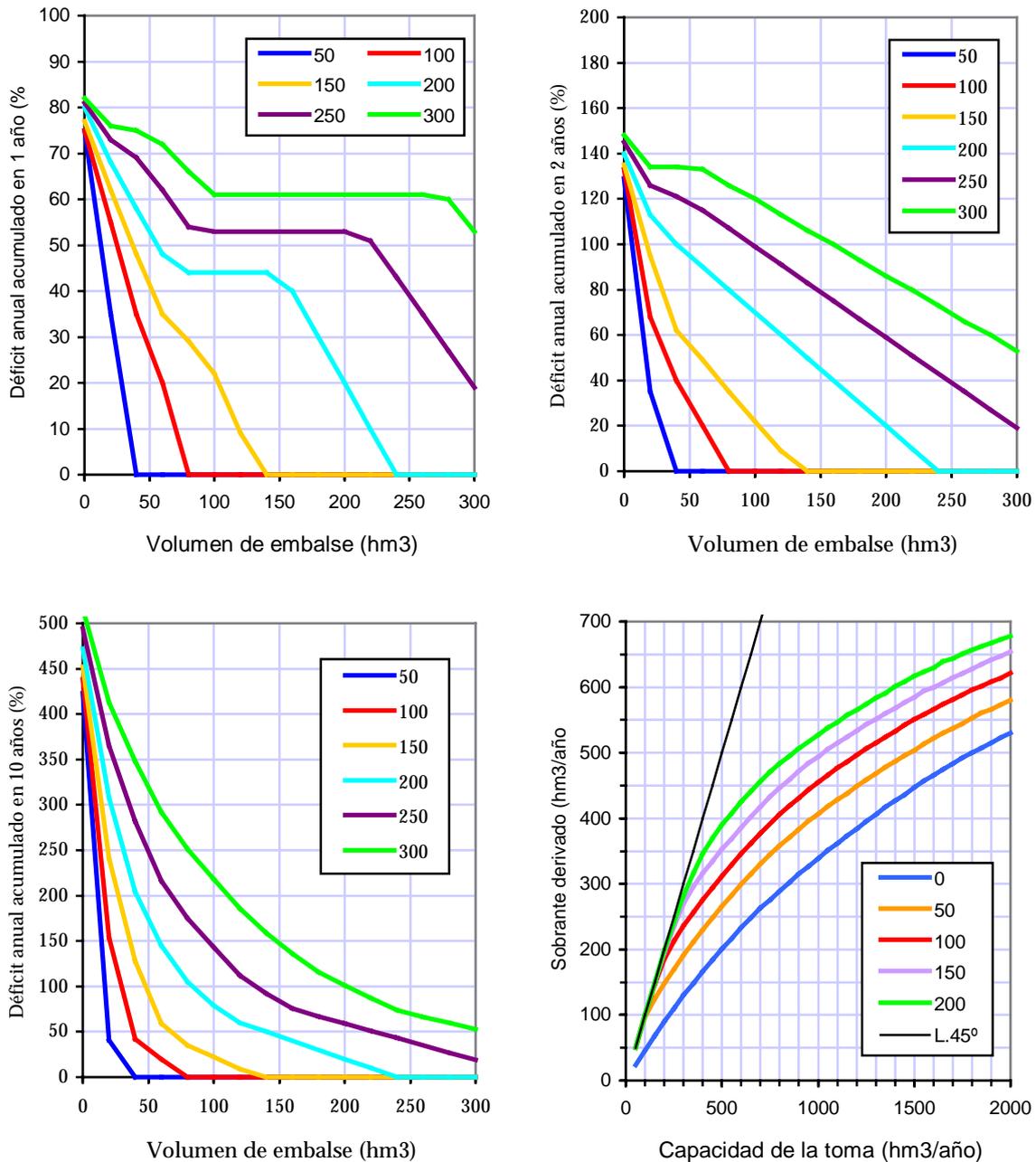


Figura 56. Tiétar. Déficit anuales acumulados para demanda continua en 8 meses, y sobrantes derivables según capacidad de toma

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.

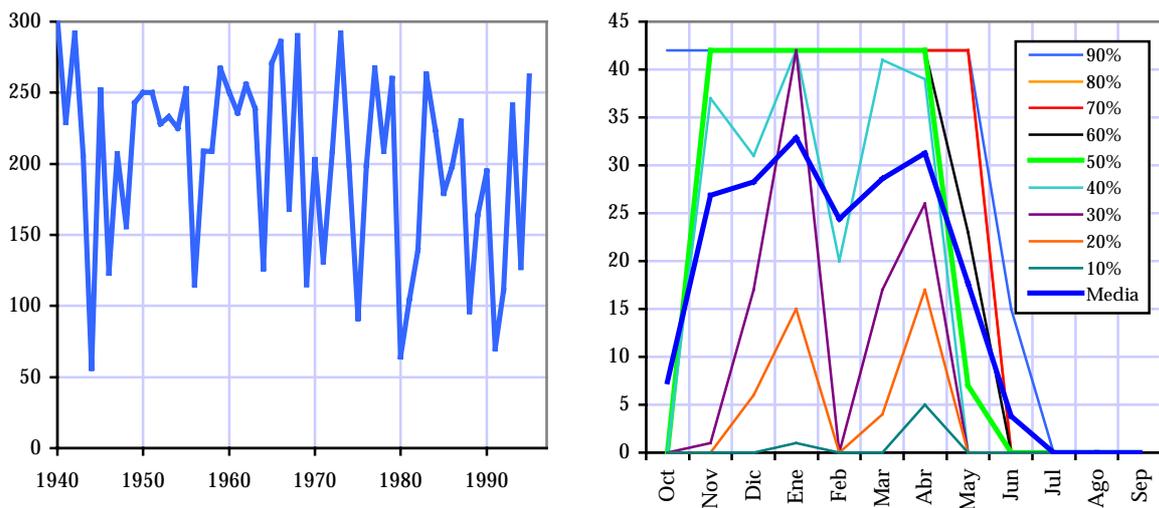


Figura 57. Tiétar. Serie anual y cuantiles mensuales de los sobrantes derivables

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%.

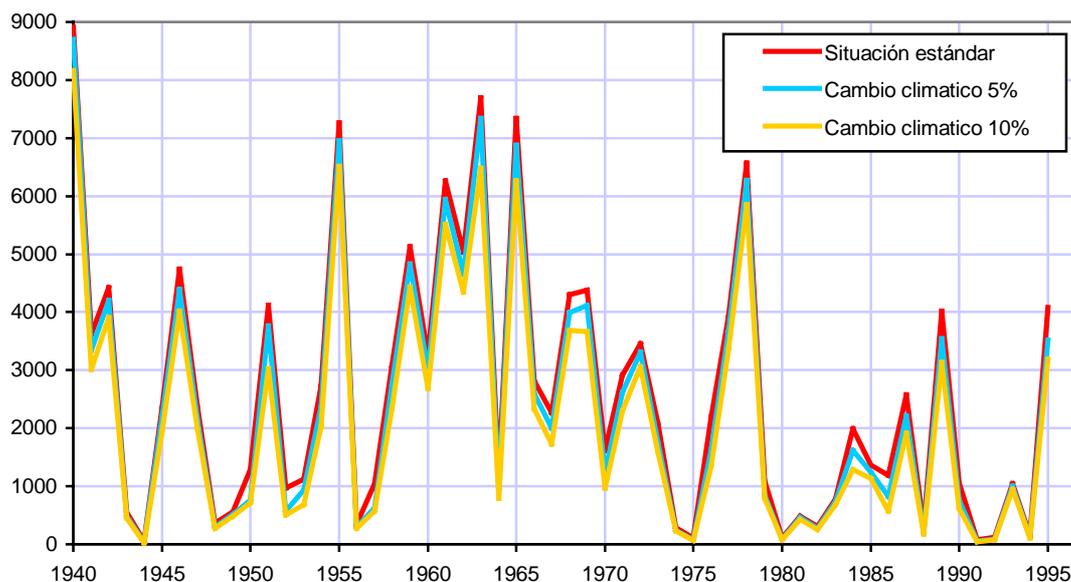


Figura 58. Series suma de sobrantes simultáneos en el Tajo bajo supuestos de cambio climático

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.