

### 3. CUENCA DEL DUERO

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

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

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

#### 3.2. ELEMENTOS DEL SISTEMA

##### 3.2.1. APORTACIONES

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

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

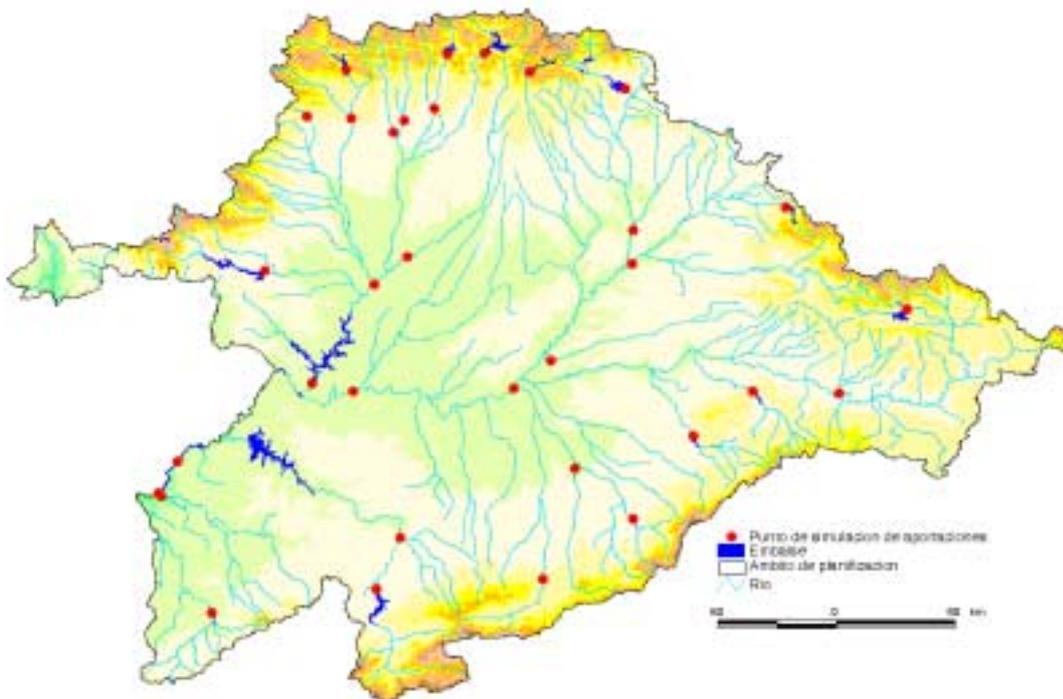


Figura 9. Puntos de incorporación de series de aportaciones de recursos hídricos

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

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

Tabla 1. Aportaciones hídricas consideradas en el sistema

Estas aportaciones de cálculo no incorporan todas las aportaciones naturales generadas en la parte española de la cuenca del Duero, que según el modelo de evaluación de recursos citado se estimaban en 13.660 hm<sup>3</sup>/año.

### 3.2.2. DEMANDAS

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

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

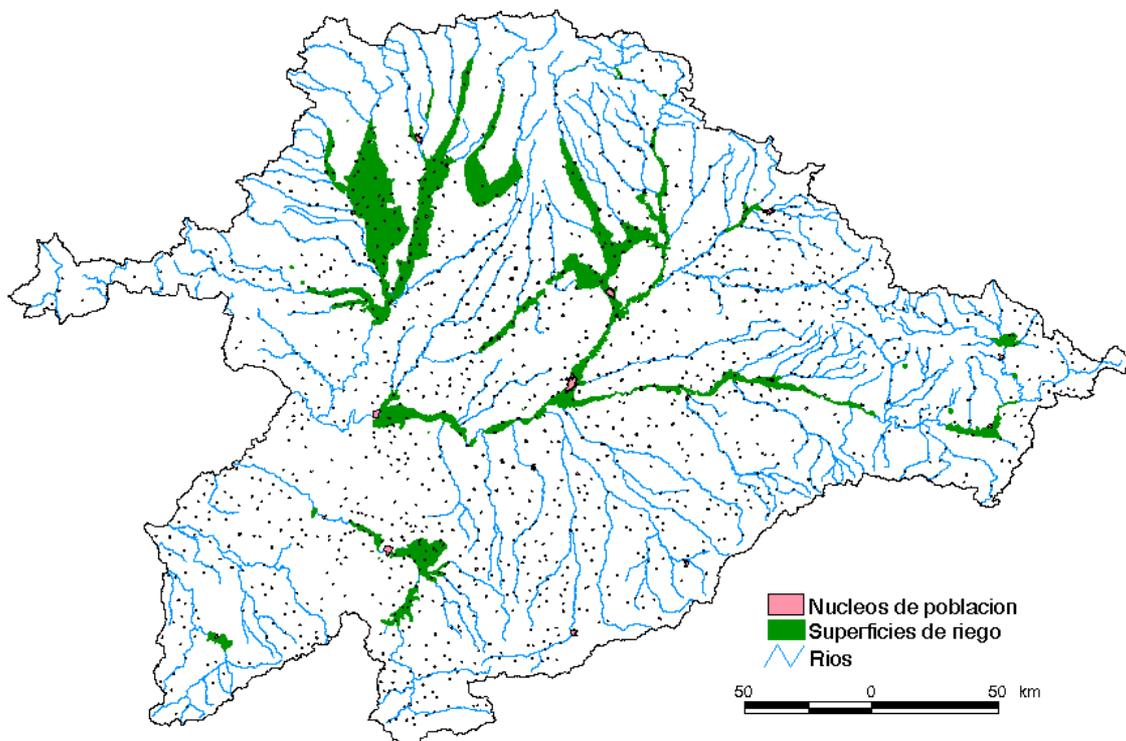


Figura 10. Mapa de situación de poblaciones y regadíos

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 3.2.2.1. CAUDALES MÍNIMOS

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

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

Tabla 5. Caudales mínimos

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

Por otra parte, además de estos caudales ambientales existe una nueva limitación singular en la explotación, que es la derivada del reciente *Convenio sobre cooperación para la protección y el aprovechamiento sostenible de las aguas de las cuencas hidrográficas hispano-portuguesas* (BOE núm. 37, 12 de febrero de 2000, pp. 6703-6712), también llamado Convenio de Albufeira. Por este Convenio, España está obligada en condiciones hidrológicas normales a satisfacer un régimen de caudales mínimos en Saucelle+Águeda de 3.800 hm<sup>3</sup>/año. Este régimen de caudales *no se aplica en los periodos en que se verifique que la precipitación de referencia acumulada en la cuenca desde el inicio del año hidrológico (1 de octubre) hasta el 1 de junio sea inferior al 65% de la precipitación media acumulada de la cuenca en el mismo periodo* (Protocolo Adicional, arts. 3.2 y 3.3).

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

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

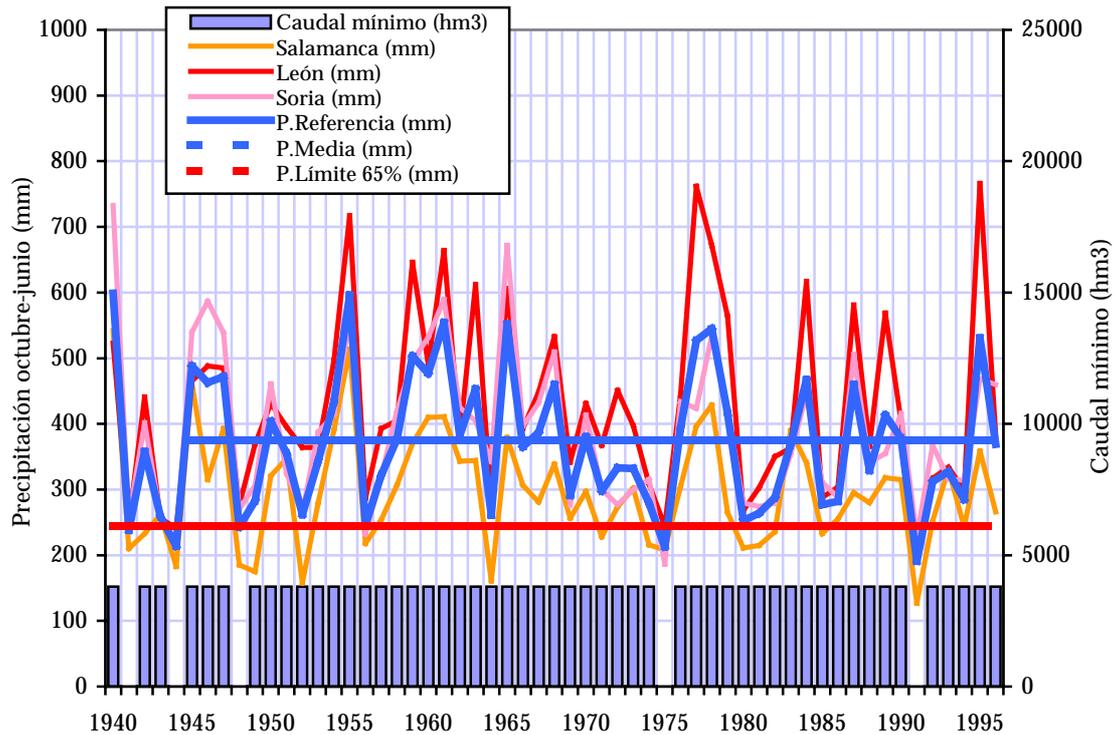


Figura 11. Obtención del régimen de caudales mínimos según el Convenio con Portugal

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

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

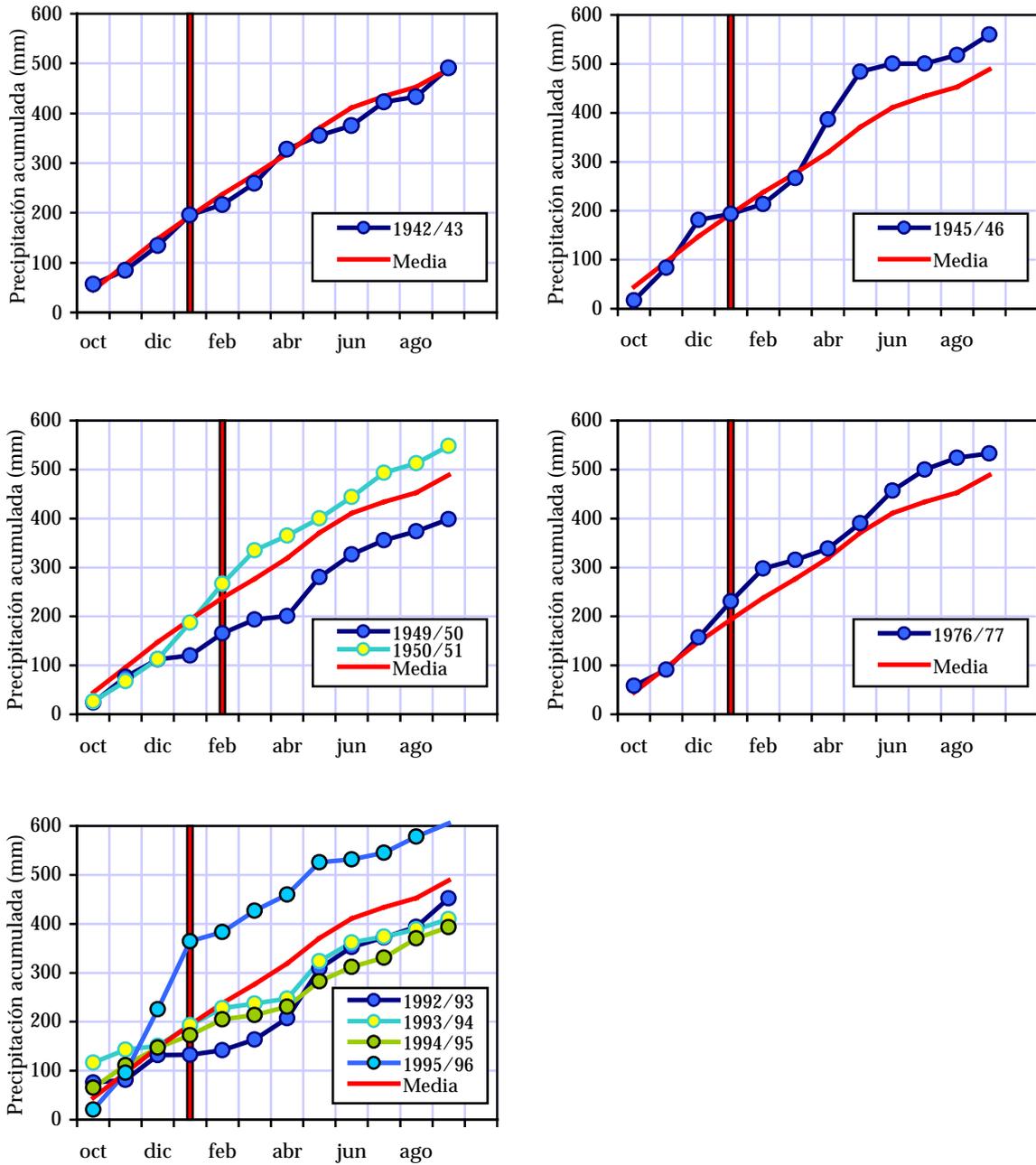


Figura 12. Identificación de la finalización de los periodos de excepción del régimen de caudales mínimos según el Convenio con Portugal

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

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

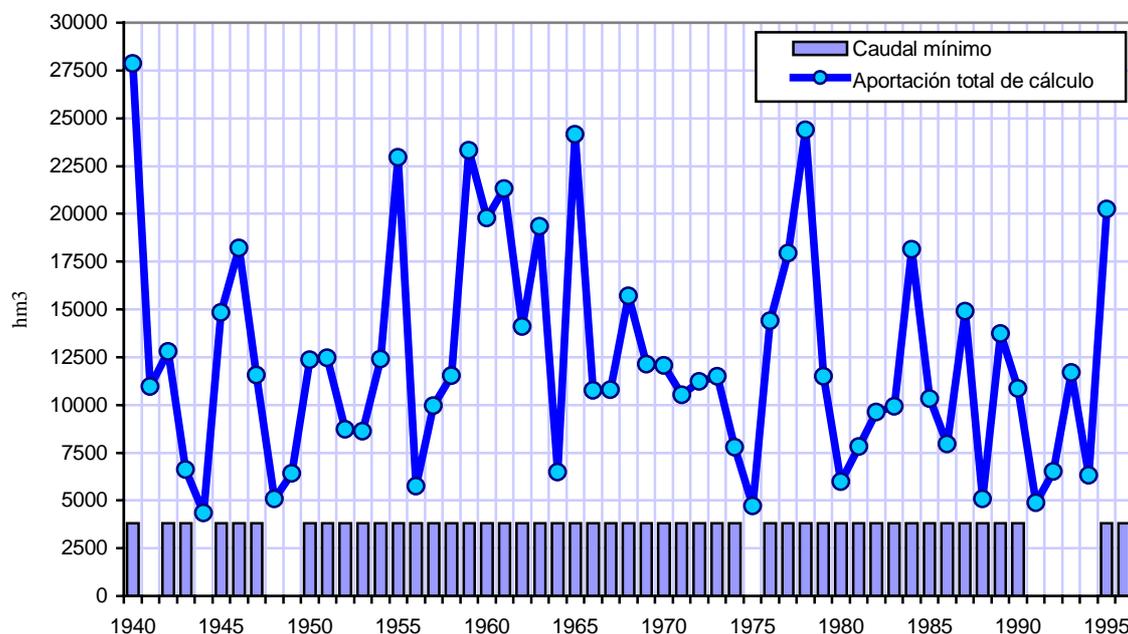


Figura 13 Régimen de caudales mínimos según el Convenio con Portugal y aportación total de cálculo

En cuanto a las condiciones estacionales de este régimen de caudales, el Convenio no establece ningún criterio ni limitación. Por ello, y a efectos exclusivamente de llevar a cabo las determinaciones propias de este Plan Nacional, se ha adoptado el régimen mensual de caudales que se indica en la figura siguiente. Este régimen se ha obtenido como promedio mensual de los volúmenes entrantes a Portugal en la situación de demandas correspondiente al segundo horizonte previsto en el Plan de cuenca sin imponer ninguna limitación, salvo el cumplimiento de los requerimientos ambientales previstos en el propio Plan y anteriormente señalados. La pauta mensual de circulación de flujos así obtenida se aplica al volumen anual de 3.800 hm<sup>3</sup> fijado en el Convenio, obteniéndose el régimen mensual indicado en la figura. Como también puede apreciarse en la figura, el régimen obtenido es prácticamente idéntico al que se registraría en condiciones naturales.

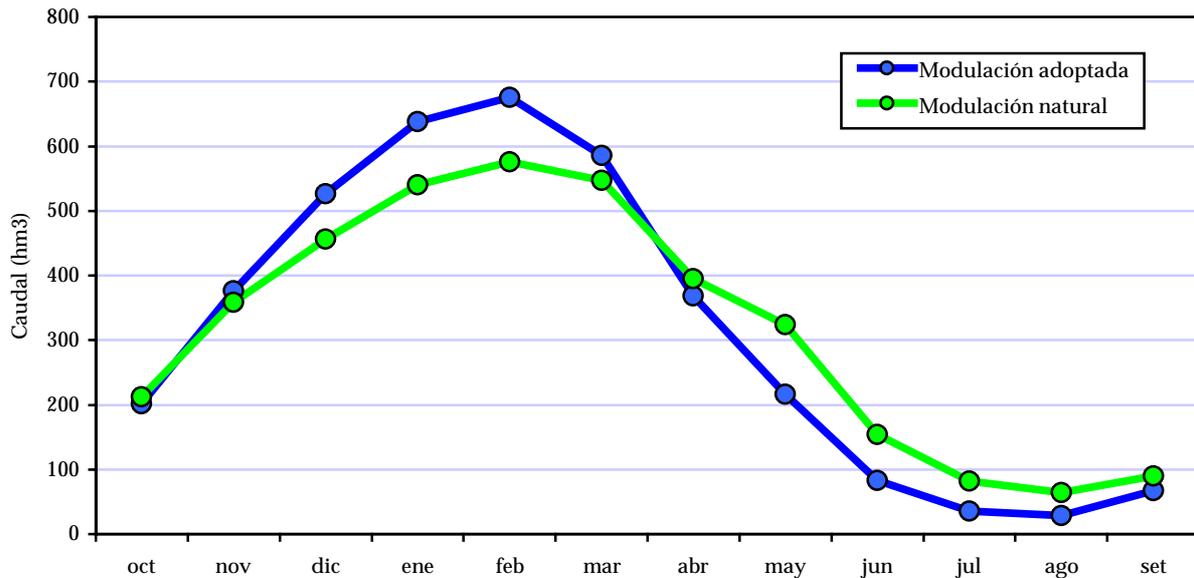


Figura 14 Variación mensual del régimen de caudales mínimos

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

### 3.2.3. ELEMENTOS DE REGULACIÓN

En el cuadro adjunto se resumen los volúmenes de todos los embalses considerados en este análisis. En él se reflejan la capacidad total (hm<sup>3</sup>) y los volúmenes totales mensuales (hm<sup>3</sup>), considerando los resguardos previstos en el Plan de cuenca para el control de crecidas.

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

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

Tabla 6. Embalses de regulación considerados

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

En efecto, en la cuenca del Duero existen 21 unidades hidrogeológicas delimitadas, con una superficie de afloramiento permeable próxima a los 53.000 km<sup>2</sup>, lo que representa casi un 70% de la superficie de la cuenca. La recarga media anual a estas unidades hidrogeológicas es del orden de 1.800 hm<sup>3</sup>/año, mientras que los bombeos son muy inferiores a esta recarga, del orden de 380 hm<sup>3</sup>/año.

Una gran parte de la explotación de los acuíferos en toda la cuenca (aproximadamente un 75%) se produce en 2 de las 20 unidades hidrogeológicas delimitadas, las denominadas Río Esla-Valderaduey y la Región de los Arenales, con unos bombeos medios de 70 hm<sup>3</sup>/año y 210 hm<sup>3</sup>/año (v. figura adjunta), y unas recargas medias de 189 hm<sup>3</sup>/año y 440 hm<sup>3</sup>/año. También conviene mencionar la importancia de las reservas almacenadas en esos acuíferos, que superan en total los 7.000 hm<sup>3</sup>, y los lentos tiempos de respuesta que se derivan del análisis de los caudales de agotamiento de los ríos que los drenan, de forma muy especial en el caso de la unidad Río Esla-Valderaduey.

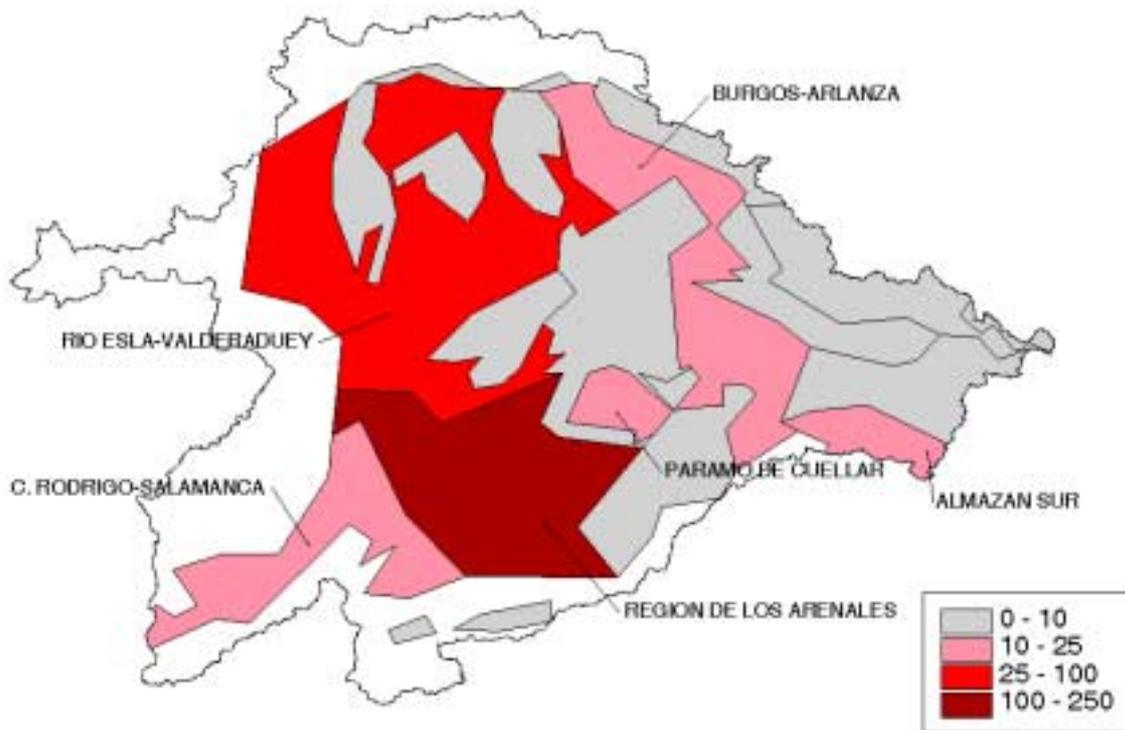


Figura 15. Bombeos medios anuales ( $\text{hm}^3$ ) en las unidades hidrogeológicas de la cuenca del Duero

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

### 3.2.4. CONDUCCIONES

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

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

Tabla 7. Conducciones consideradas



### 3.3. RESULTADOS OBTENIDOS

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

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

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

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

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

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

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

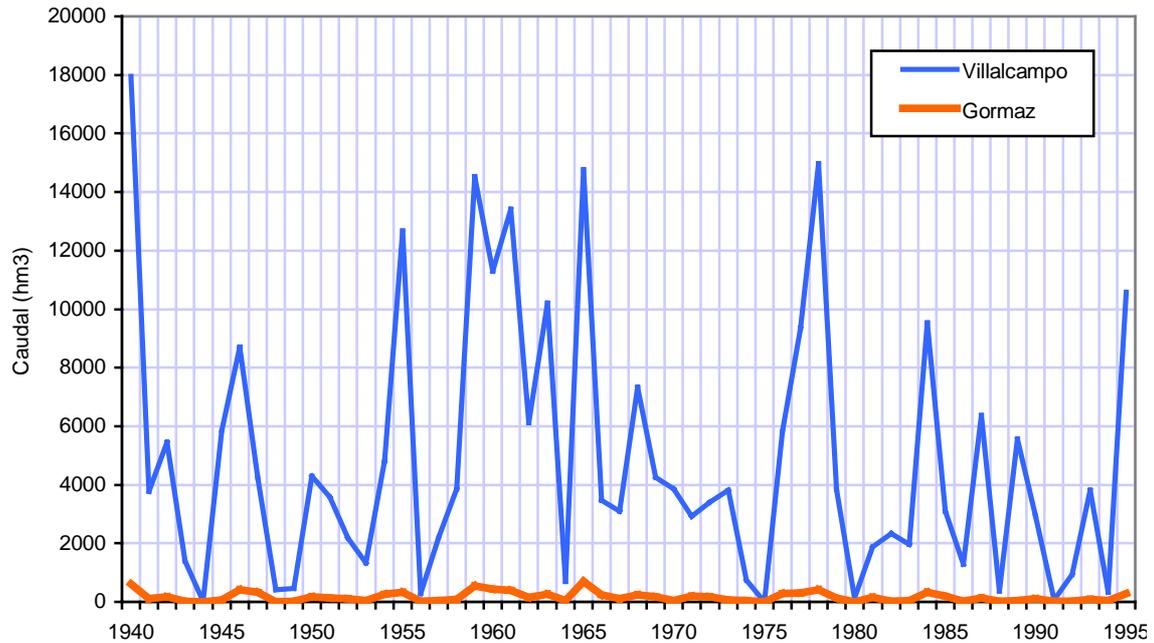


Figura 17. Series de sobrantes anuales exclusivos (hm<sup>3</sup>) en la cuenca del Duero

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

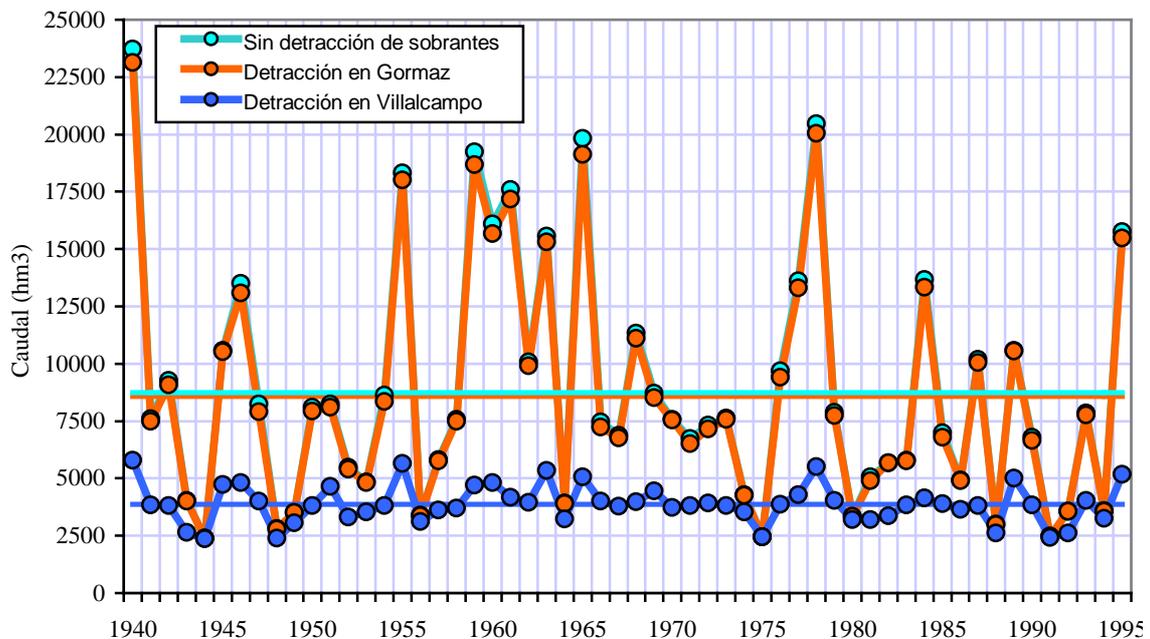


Figura 18. Caudales mínimos entrantes a Portugal supuesta la detracción de todos los sobrantes

Como puede apreciarse, la detracción de todos los sobrantes en Gormaz apenas presenta incidencia en el régimen de caudales entrantes a Portugal, cuyo aporte medio sería de unos 8.580 hm<sup>3</sup>/año, frente a 8.750 hm<sup>3</sup>/año sin detracción de sobrantes. Sin embargo, la detracción teórica de todos los sobrantes en Villalcampo supondría una importante reducción, quedando las entradas a Portugal reducidas a unos 3.900 hm<sup>3</sup>/año de media. En todo caso, y como se acaba de mencionar, estas detracciones totales son técnicamente inviables y su consideración sirve tan solo para acotar los caudales mínimos de los que se dispondría en tal caso límite. El análisis concreto de la situación resultante de la detracción de sobrantes que se considera técnicamente viable, y que ha de adoptarse como situación de cálculo, se realiza en un epígrafe posterior, donde podrá comprobarse el cumplimiento de las condiciones establecidas en el Convenio de Albufeira.

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

### **3.4. LA DISPONIBILIDAD DE SOBRANTES**

#### **3.4.1. INTRODUCCIÓN. SERIES OBTENIDAS**

Como se ha visto, el análisis del sistema de explotación global de la cuenca del Duero muestra que, en la situación futura, con todos los desarrollos previstos en la planificación hidrológica de la cuenca española, y fijando la condición previa de cumplimiento de los compromisos internacionales establecidos en el acuerdo con Portugal, se producirán unos flujos en la frontera con cuantía media de unos 8.700 hm<sup>3</sup>/año. Si de estos se deducen los 3.800 correspondientes al Convenio internacional, resulta disponerse de unos 4.900 hm<sup>3</sup>/año calificables, en términos jurídicos, como sobrantes. Si no se alcanzase el desarrollo completo de todos aprovechamientos previstos a largo plazo en el Plan Hidrológico, tal cuantía de sobrantes se vería correspondientemente incrementada.

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

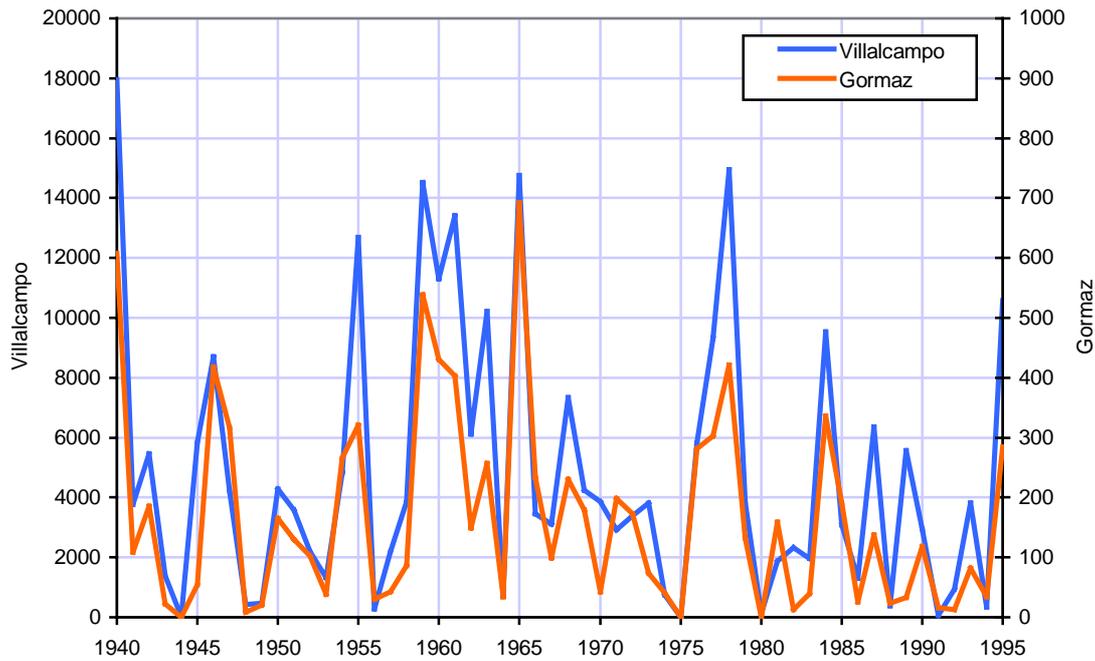


Figura 19. Sobrantes anuales exclusivos (hm<sup>3</sup>) en la cuenca del Duero

Puede verse que ambas series presentan una gran concordancia, como era de prever tratándose de puntos de la misma cuenca, a lo largo del mismo eje fluvial. Sus valores medios anuales son, como se vió, de unos 170 hm<sup>3</sup>/año en Gormaz, y unos 4.800 hm<sup>3</sup>/año en Villalcampo. Estas cifras son, pues, cotas máximas absolutas del sobrante aprovechable en cada caso, considerado como el único punto de detracción de la cuenca.

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

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

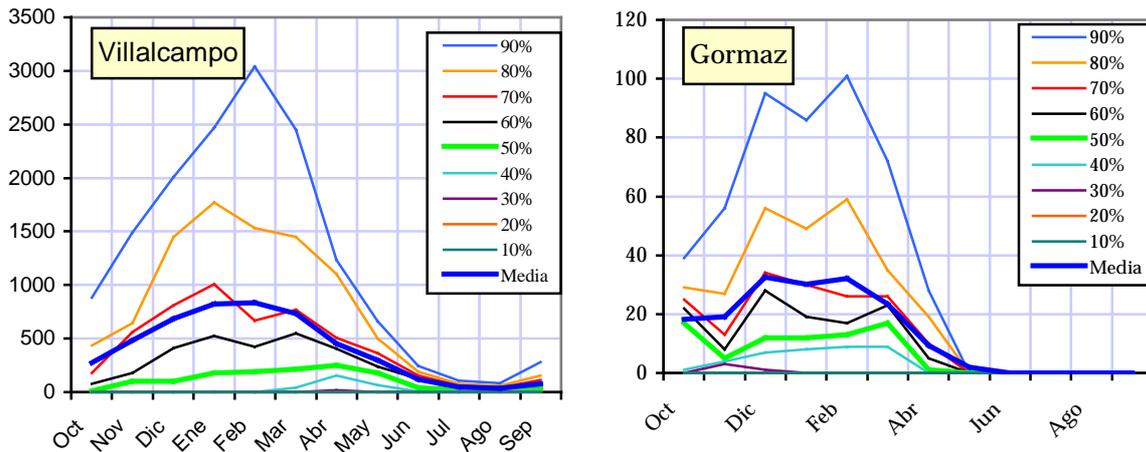


Figura 20. Percentiles y medias de los caudales sobrantes mensuales exclusivos ( $\text{hm}^3$ ) en la cuenca del Duero

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

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

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

### 3.4.2. ALTO DUERO

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

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

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

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

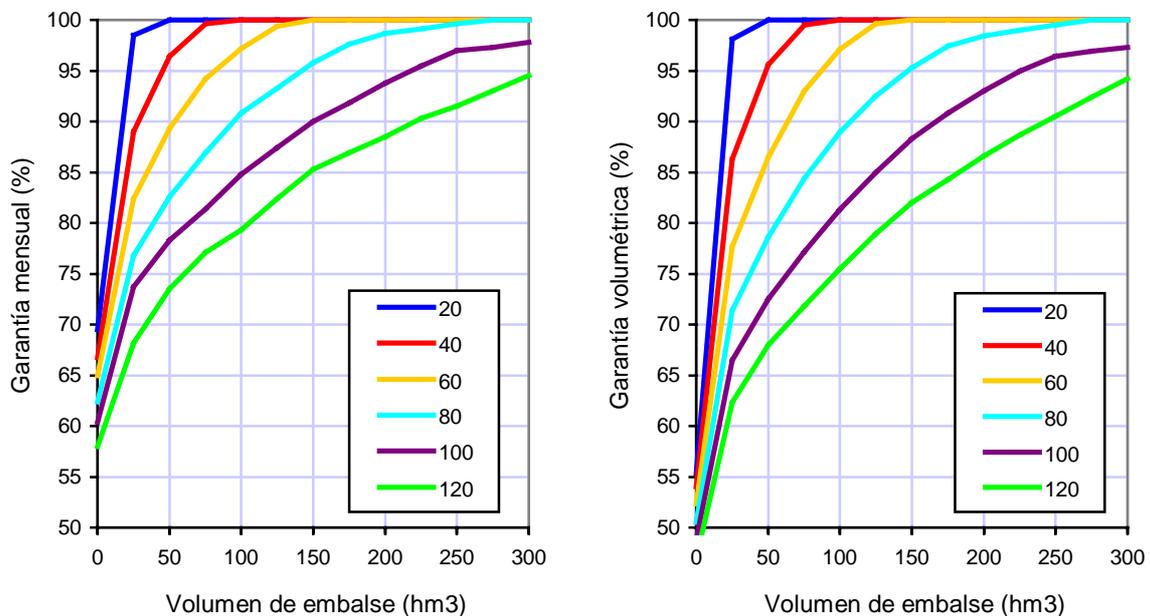


Figura 21. Alto Duero. Garantías mensual y volumétrica para demanda continua en 8 meses

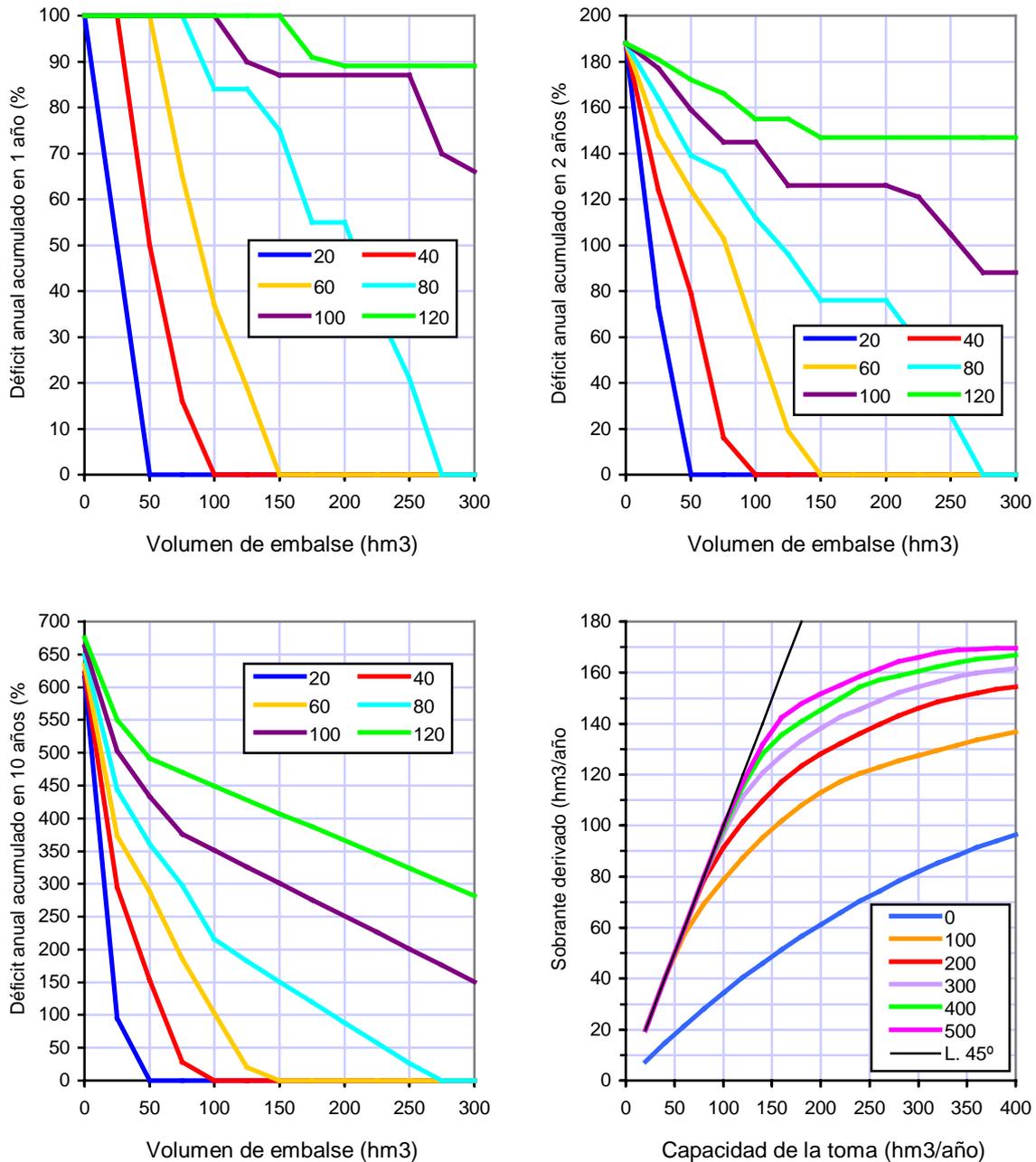


Figura 22. Alto Duero. Déficit anuales acumulados para demanda continua en 8 meses, y excedentes derivables según capacidad de toma

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

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

pero a un ritmo más reducido. Ello da una primera idea de la disponibilidad mínima que parece recomendable. Si se examina el conjunto de indicadores de déficit acumulado puede verse un comportamiento muy desfavorable, con fuerte irregularidad y rachas breves extremadamente adversas que no permiten garantizar prácticamente nada. Cabe concluir que si no hay almacenamiento disponible en origen, las garantías serían nulas incluso para transferencias muy pequeñas, que un pequeño almacenamiento de unos 50 hm<sup>3</sup> permitiría derivar unos 40-50 hm<sup>3</sup>/año; de 100 permitiría unos 60, y si el almacenamiento se elevase a 300, podrían derivarse unos 80 hm<sup>3</sup>/año, muy poco más que antes.

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

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

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

Puede verse que si pudiese disponerse de algún almacenamiento en origen, el comportamiento mejoraría muy sensiblemente hasta capacidades de toma del orden de 150 hm<sup>3</sup>/año, y en menor medida para valores mayores. Con 50 hm<sup>3</sup>/año de capacidad de toma podrían derivarse unos 50 hm<sup>3</sup>/año aún con almacenamientos iniciales reducidos, del orden de 100 hm<sup>3</sup>, por lo que esta podría ser una opción razonable y eficiente.

Asimismo, si pudiese disponerse de 100 hm<sup>3</sup> de almacenamiento en origen podrían derivarse hasta 100 hm<sup>3</sup>/año en media con capacidad de toma de 150, lo que resulta también un comportamiento relativamente eficiente.

En definitiva, combinando ambos enfoques y considerando que las cerradas identificadas para posibles transferencias permiten embalsar hasta algo más de 100 hm<sup>3</sup> (115 en Gormaz, además de 340 en Velacha, previsto en el Plan Hidrológico del Duero con destino a su regulación propia), parece prudente plantear la instalación de una toma limitada a 60 hm<sup>3</sup>/año de capacidad de diseño, con lo que cabría esperar una derivación media de 57 hm<sup>3</sup>/año (lo que supone un coeficiente de dimensionamiento de la conducción próximo a 1).

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

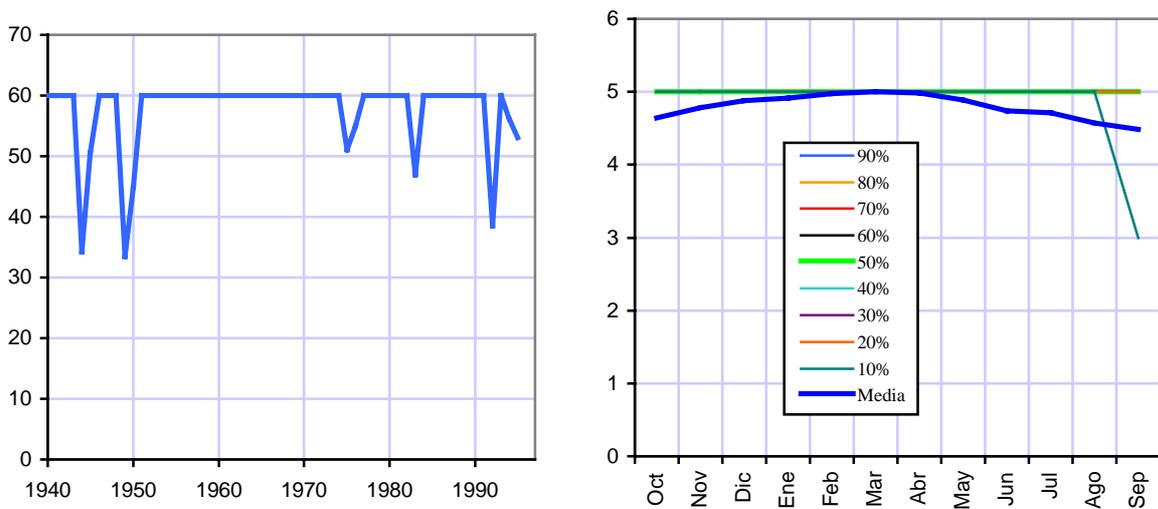


Figura 23. Alto Duero. Serie anual y cuantiles mensuales de los sobrantes derivables

Como puede verse, existe una excelente regularidad, pues la mayoría de los años se derivan los 60 hm<sup>3</sup>/año, y solo en muy pocos años se llega a dar un mínimo de 35. No hay ningún año en que no puedan derivarse sobrantes.

Debe recordarse que estas derivaciones se refieren a la serie de sobrantes en el río, y no a la de caudales circulantes reales, que es, como vimos, mayor (unos 226 hm<sup>3</sup>/año frente a 167 de sobrantes, de los que se derivará una media de 57). La parte del total circulante que no es requerida aguas abajo para ningún uso actual o futuro, restricción ambiental, o acuerdo internacional es la de sobrante.

Observando los cuantiles mensuales puede verse que son extraordinariamente regulares, con derivaciones de 5 hm<sup>3</sup>/año casi todos los meses, y muy pocos fallos concentrados en el mes de septiembre. El modelo conceptual de 8 meses octubre-mayo es, pues, muy conservador en este caso, y podría suponerse sin dificultad caudal continuo para estudiar la viabilidad técnica de este régimen de envíos en los sistemas de tránsito y de destino.

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

### 3.4.3. BAJO DUERO

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

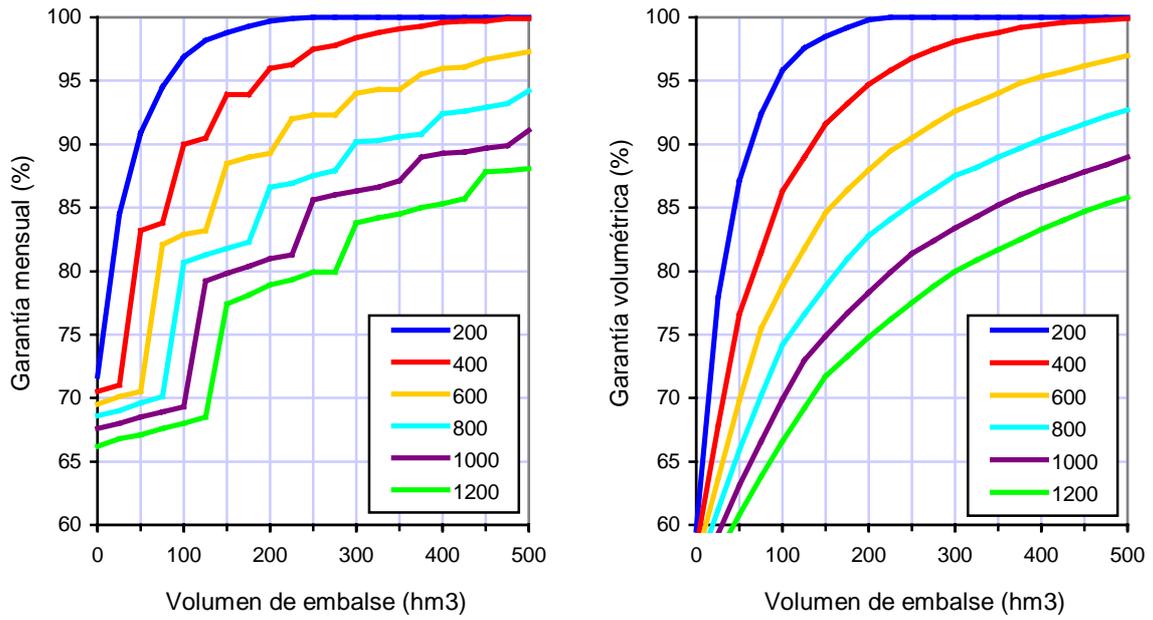


Figura 24. Bajo Duero. Garantías mensual y volumétrica para demanda continua en 8 meses

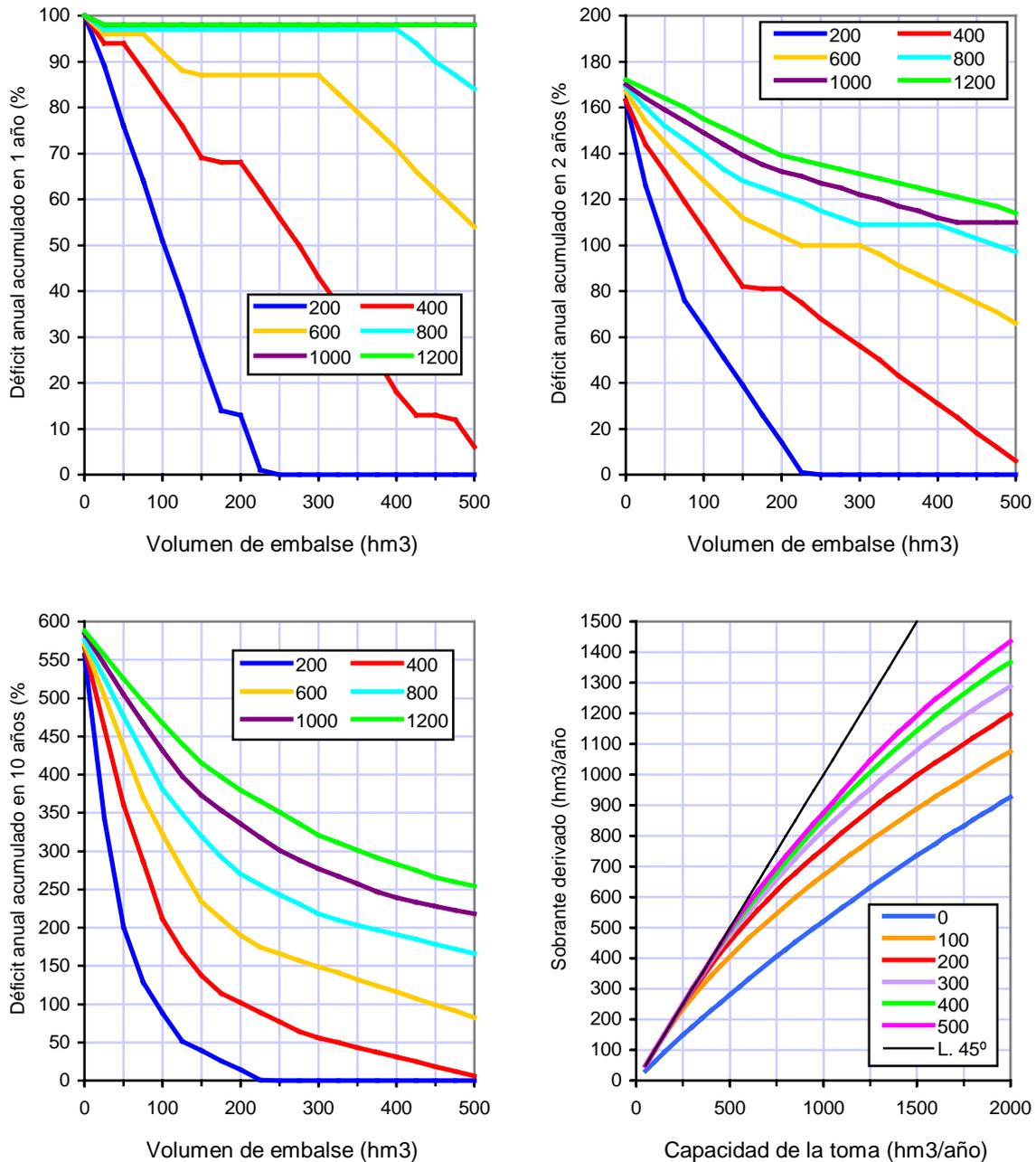


Figura 25. Bajo Duero. Déficit anuales acumulados para demanda continua en 8 meses, y sobrantes derivables según capacidad de toma

Como se observa en las figuras, si no existe ninguna capacidad de almacenamiento disponible, y se especifica una demanda continua de 8 meses, las garantías mensuales son inferiores al 75%, las volumétricas inferiores al 60%, y se producen fallos absolutos de suministro (100, 170, 550% de déficit en 1, 2 y 10 años), para demandas moderadas, del orden de 200  $\text{hm}^3/\text{año}$ , lo que supone un resultado muy deficiente.

No obstante, si puede disponerse de alguna regulación en origen la situación mejora sensiblemente, pues con 200  $\text{hm}^3$  podrían alcanzarse garantías del orden del 95% tanto mensual como volumétrica para demandas de 400  $\text{hm}^3/\text{año}$ , y niveles de déficit

acumulados admisibles para esta demanda. Si se dispone de 400 hm<sup>3</sup> de almacenamiento, puede alcanzarse un 95% mensual y volumétrico para demandas del orden de los 600 hm<sup>3</sup>/año, y el cumplimiento razonable del criterio de déficit acumulados para demandas incluso algo mayores.

Si se examina ahora el gráfico indicativo de los volúmenes medios anuales que podrían captarse en función de la capacidad de la toma, y para diferentes supuestos de almacenamiento disponible, puede apreciarse que, si el almacenamiento disponible es cero, los volúmenes de sobrantes derivables crecen de forma casi lineal con la capacidad de toma durante todo el recorrido, y son del orden del 45 al 60% de esta capacidad, sin que se aprecie con nitidez el punto de cambio. Si se dispone una toma de 500 hm<sup>3</sup>/año podrían derivarse unos 300, si se dispone de 1000 podrían derivarse 500, y si se dispone de 2000 podrían derivarse 900.

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

Puesto que en Villalcampo existe cierta capacidad de almacenamiento susceptible de ser parcialmente empleada con destino a las transferencias, es razonable suponer, en principio, que, empleando solo 100 hm<sup>3</sup> de almacenamiento, pueden derivarse sin dificultad una media próxima a los 800 hm<sup>3</sup>/año con una toma de 1250, lo que supone un coeficiente de dimensionamiento de 1,6. En definitiva, puede concluirse que la posible captación en el bajo Duero es hidrológicamente interesante, pues puede proporcionar volúmenes importantes a costes de toma razonables, y sin afectar en nada a los compromisos establecidos con Portugal.

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

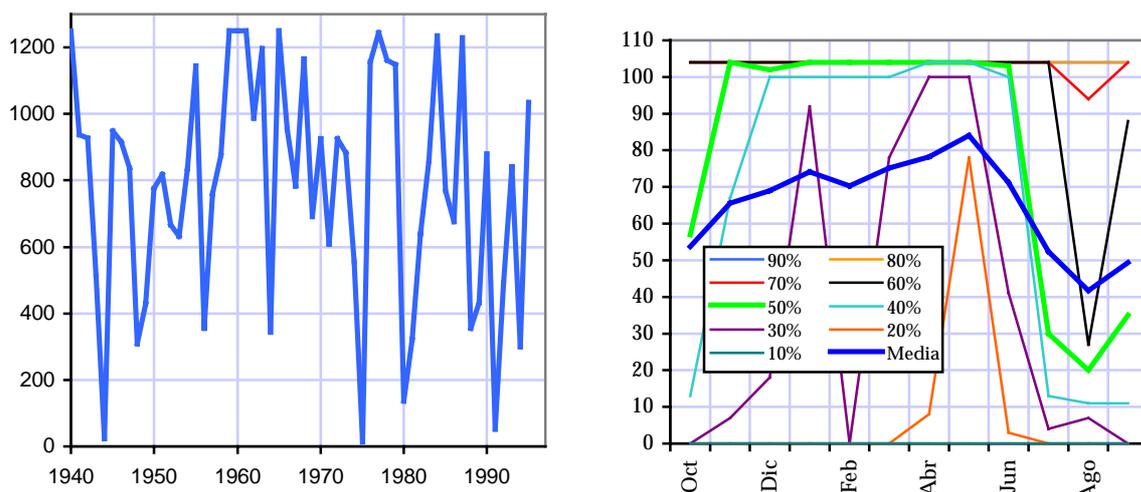


Figura 26. Bajo Duero. Serie anual y cuantiles mensuales de los sobrantes derivables

Como puede verse, la derivación sería irregular, la mayoría de los años se derivan entre 700 y 1200 hm<sup>3</sup>/año, y existen 4 en los que los sobrantes son muy reducidos (menores de 300 hm<sup>3</sup>/año).

Como en el caso anterior, debe recordarse que estas derivaciones se refieren a la serie de sobrantes en el río, y no a la de caudales circulantes reales, que es, como se vió, mucho mayor (unos 6821 hm<sup>3</sup>/año frente a 4866 de sobrantes, de los que se derivaría una media de 785).

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

Con esta detracción de sobrantes, los caudales entrantes a Portugal supondrían un aporte medio de unos 7.950 hm<sup>3</sup>/año, con la variación anual indicada en la figura siguiente. En ella se han añadido los caudales que circularían si se alcanzara el máximo desarrollo previsto en el Plan de cuenca a largo plazo, los sobrantes derivados, y los caudales establecidos según el Convenio de Albufeira.

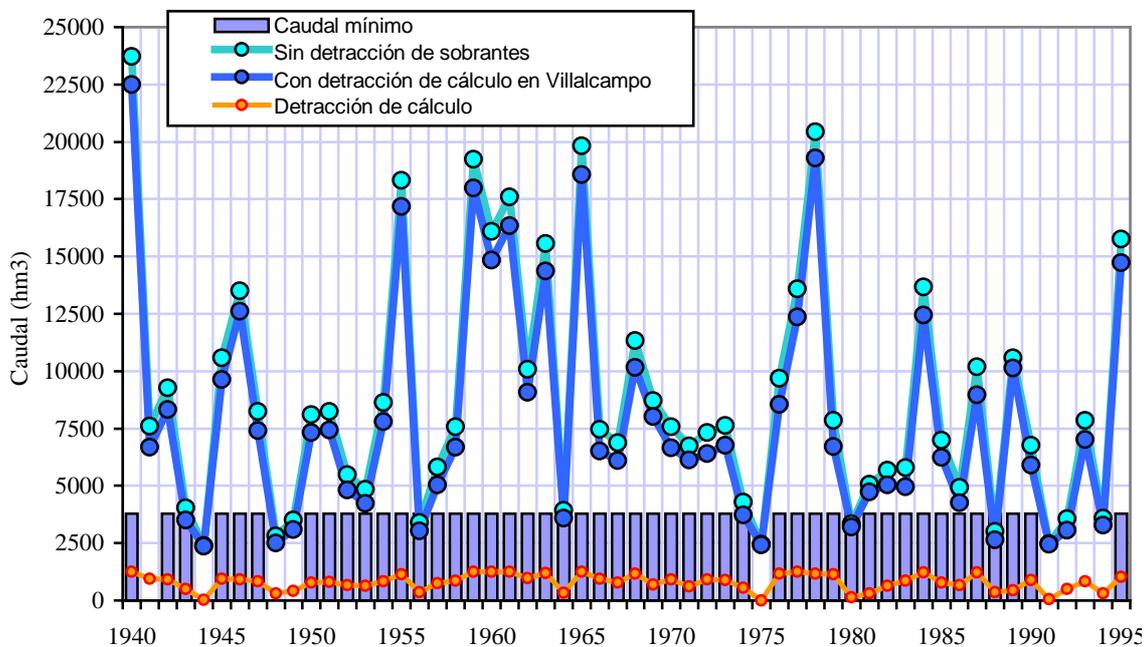


Figura 27. Caudales mínimos entrantes a Portugal supuesta la detracción de cálculo en Villalcampo

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

### 3.4.4. ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS

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

Para ilustrar este efecto cabe considerar el caso de Velacha. Este posible embalse futuro, previsto en el Plan de cuenca, permitiría atenuar los problemas de suministro en esta zona. Su no consideración en la hipótesis básica hace que los recursos naturales considerados en toda la cabecera del Duero correspondan al embalse de Cuerda del Pozo, donde se incorpora una aportación media de 196 hm<sup>3</sup>/año, y al río Uceró, donde se incorporan 166 hm<sup>3</sup>/año. Ambas aportaciones totalizan, como se indicó anteriormente, 362 hm<sup>3</sup>/año y vienen a constituir todos los recursos naturales considerados en la cabecera del Duero bajo esta hipótesis.

Es evidente que tal cifra resulta sumamente prudente y conservadora, pues prescinde de todas las aportaciones de la intercuenca entre Cuerda del Pozo y Gormaz. Como referencia al respecto, la estación de aforos de San Esteban de Gormaz (2007), en las proximidades del origen considerado para la posible transferencia, registra una aportación media durante el periodo 1930-1990 de 745 hm<sup>3</sup>/año. Es decir, las aportaciones *naturales* consideradas en el análisis básico apenas llegan a alcanzar la mitad de las aportaciones *reales* registradas (que incluyen además, obviamente, todos los consumos y detracciones efectuados aguas arriba). Esta minoración de los recursos naturales tiene en la determinación de los excedentes un efecto más conservador que el que se derivaría de la regulación obtenida en el embalse de Velacha, como se verá a continuación. Como es obvio, adoptar tales criterios conservadores resulta razonable en una situación en la que se busca determinar posibles sobrantes. En definitiva, con objeto de analizar el efecto que el incremento de regulación en la cuenca podría tener en la determinación de los sobrantes, se ha vuelto a analizar el esquema incorporando algunos de los embalses futuros previstos en la cuenca, de acuerdo con la información disponible procedente de la Confederación Hidrográfica. Los embalses considerados, junto con el río donde se ubican y su capacidad se muestran en la tabla adjunta.

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

Tabla 9. Características de los posibles embalses futuros

Esta capacidad representa un 45% de la capacidad actual de los embalses de regulación considerados en el esquema, que se cifra en 3.291 hm<sup>3</sup>.

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

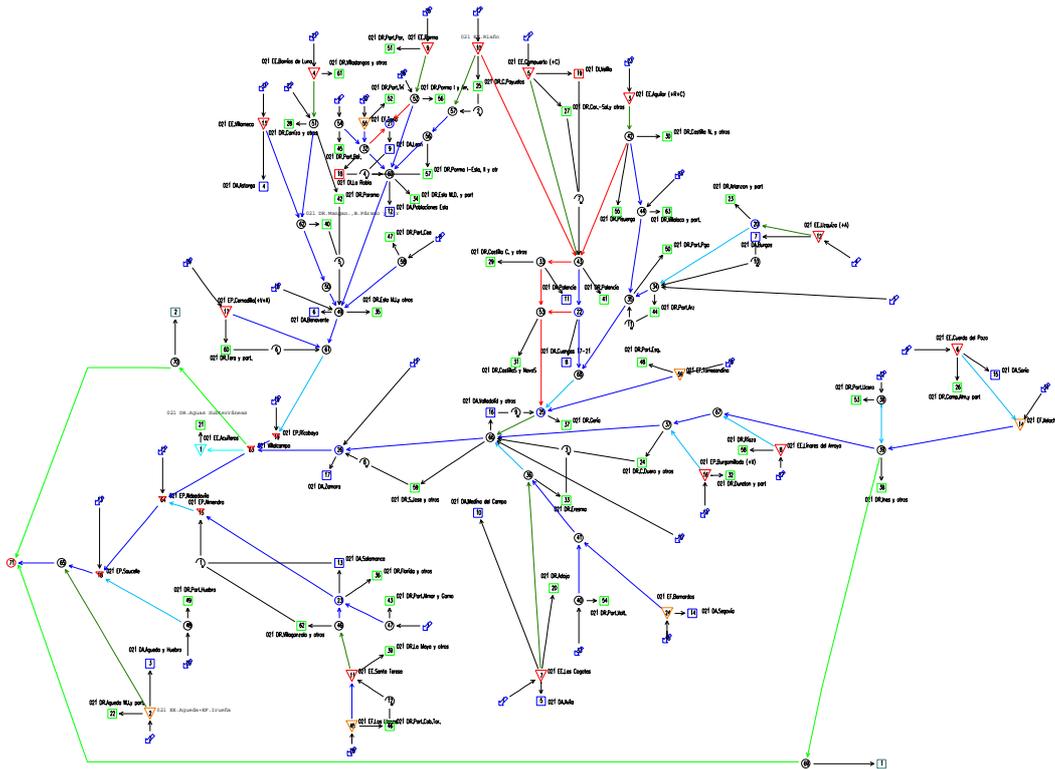


Figura 28. Sistema básico de explotación considerando embalses futuros

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

En el caso de los excedentes en Gormaz, la incorporación del embalse de Velacha requiere que se incluyan las aportaciones naturales de la cuenca vertiente a este embalse, pues en caso contrario su efecto regulador sería nulo. Estas aportaciones tienen un valor medio de 524 hm<sup>3</sup>/año, cifra muy similar a la indicada en el Plan de cuenca (Anejo nº 1, Catálogo de Infraestructuras Básicas Requeridas por el Plan, tomo I) que considera 508 hm<sup>3</sup>/año. En la figura siguiente se muestra un detalle del esquema resultante en esta zona.

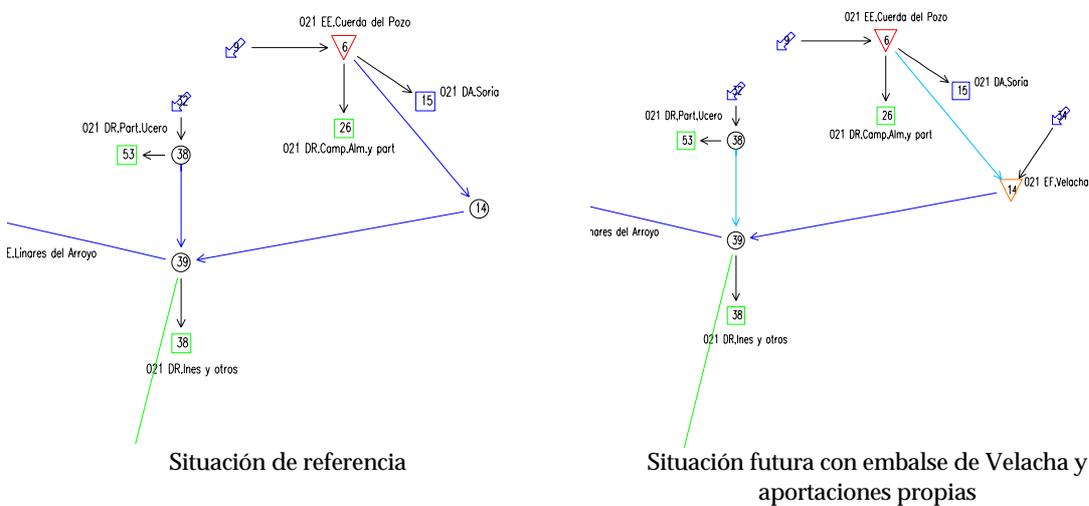


Figura 29. Detalles del esquema funcional en cabecera

Con este nuevo esquema, los excedentes medios en Gormaz resultan ser de 224 hm<sup>3</sup>/año, es decir, unos 57 hm<sup>3</sup>/año más que en la situación de referencia, donde se cifraban en 167 hm<sup>3</sup>/año. Ello es debido, como ya se ha indicado, a la no consideración de las aportaciones intermedias en esta situación, lo que resulta, como se acaba de comprobar, más conservador que considerar la regulación futura en el embalse de Velacha. Y esta nueva cifra de 224 hm<sup>3</sup>/año seguiría siendo conservadora, pues tampoco se han incluido las aportaciones de la intercuenca entre Velacha y Gormaz. En este sentido cabe recordar que las aportaciones reales registradas en San Esteban de Gormaz son 745 hm<sup>3</sup>/año, mientras que las aportaciones naturales consideradas en el esquema son 524 hm<sup>3</sup>/año hasta Gormaz, más 166 hm<sup>3</sup>/año del Ucero, es decir, un total de 690 hm<sup>3</sup>/año.

En lo que se refiere a los posibles excedentes en Villalcampo, el efecto de la nueva hipótesis es el contrario, produciéndose una disminución de los excedentes medios obtenidos, que ahora se reducen a 4.511 hm<sup>3</sup>/año, frente a los 4.866 hm<sup>3</sup>/año obtenidos en la hipótesis básica. Ello es debido al incremento de consumo en la cuenca como consecuencia de las mejores condiciones de suministro derivadas del incremento de regulación, y al incremento de las pérdidas por evaporación debido a los nuevos embalses, factores ambos que no llegan a verse compensados por el incremento de retornos debido a los mayores volúmenes suministrados.

Esta diferencia en los excedentes de Villalcampo, que puede ser importante en términos absolutos, tiene a nuestros efectos muy poca importancia relativa (supone una reducción de tan solo un 7%), sobre todo considerando que la captación media propuesta bajo la hipótesis de referencia se limitaba a una media de 785 hm<sup>3</sup>/año, cifra moderada y sobradamente alcanzable con los excedentes obtenidos en ambas situaciones.

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

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

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

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

### 3.4.5. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

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

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

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

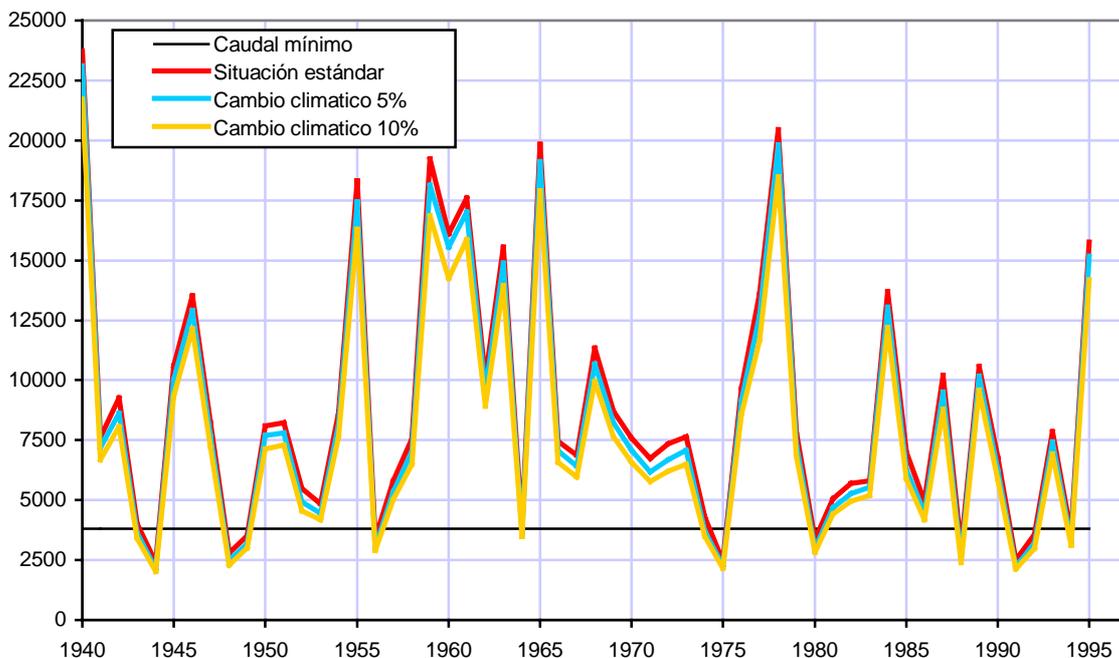


Figura 30. Circulación de caudales anuales ( $\text{hm}^3$ ) en el tramo internacional del Duero bajo supuestos de cambio climático

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

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

### 3.5. CONCLUSIONES

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

1. En la cuenca del Duero se han identificado dos puntos como posibles orígenes de recursos para transferencias, cuya disponibilidad media anual de excedentes puede cifrarse de forma segura en unos 55 hm<sup>3</sup>/año para la cabecera, y unos 800 hm<sup>3</sup>/año para el curso bajo, y ello sin afectar a las demandas propias futuras previstas a largo plazo en la planificación hidrológica del Duero, ni a los compromisos establecidos en el Convenio de Albufeira.
2. Estos excedentes presentan una apreciable irregularidad interanual, necesitando de un cierto volumen de regulación en origen para poder suministrar aceptablemente las demandas de trasvase. Este volumen se ha estimado en unos 100 hm<sup>3</sup> en ambos casos, ya existentes con holgura en Villalcampo, e inexistentes en la toma alta, por lo que se requeriría la construcción de un embalse específico a estos efectos.

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

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

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