

consideración de caudales ambientales y retornos, garantías de suministro, consideración de todo el ámbito o solo de algunos ríos principales, inclusión o no de las aguas trasvasadas, gestión conjunta o unitaria de los embalses, etc.

En la tabla puede apreciarse la disparidad de los resultados obtenidos. Descontando la estimación realizada en 1967, que corresponde a una situación muy diferente de la actual (p.e. en cuanto a embalses), el resto de las estimaciones proporcionan unos recursos disponibles que varían entre el 38 y el 47% de los recursos naturales. Sin embargo, en el ámbito de algunos Planes concretos estas diferencias son muy acusadas, como consecuencia de la diversidad de criterios ya mencionada.

Todo ello pone de manifiesto la necesidad de unificar conceptos y criterios con objeto de obtener resultados

que permitan realizar análisis de tipo comparativo, que ayuden a determinar la evolución temporal de las disponibilidades, y que faciliten una evaluación de la eficacia de las diversas medidas destinadas a mejorar la disponibilidad de recursos.

3.1.5.2. Caudales fluyentes y regulación natural

De acuerdo con el régimen de variación en el tiempo de los flujos de agua, y desde la perspectiva de sus posibilidades de uso, es frecuente considerar los recursos subdivididos en dos grandes categorías:

- Permanentes, o casi permanentes, regulados de forma natural.
- Variables, según diversos grados de irregularidad.

	1967 (a)	1980 (b)	1980 (c)	1990 (d)	1991 (e)	1993 (f)	1998 (g)
Galicia Costa					1.302	1.302	
Norte I				1.100		5.515	691
Norte II				1.807		1.518	587
Norte III				943		493	468
Norte	8.525	10.123	7.448		4.967	8.828	
Duero	6.405	7.713	9.111	9.465	9.269	7.797	10.229
Tajo	4.356	6.496	8.343	6.281	6.233	6.233	5.063
Guadiana I				2.610		2.592	2.591
Guadiana II				407		371	345
Guadiana	2.252	1.428	2.462	3.017	2.385	2.963	2.936
Guadalquivir	3.564	2.965	2.810	4.780	3.255	3.416	3.451
Sur	538	717	785	533	861	1.109	1.007
Segura	665	675	1.317	1.742	700	1.125	1.500
Júcar	1.850	2.665	3.104	2.003	2.564	3.052	3.437
Ebro	8.502	11.164	14.133	9.289	9.337	10.727	9.898
C.I. Cataluña	697	1.139	1.656		1.358	1.358	1.587
Total Península	37.354	45.085	51.169		40.929	46.608	
Baleares	-	224	313		312	312	300
Canarias	-	496	496		496	420	417
Total España		45.805	51.978		41.737	47.340	

Tabla 27. Distintas estimaciones de los recursos hídricos disponibles en España

(a) Recursos Hidráulicos. II Plan de Desarrollo Económico y Social. Presidencia del Gobierno, PG (1967)

(b) El agua en España. MOPU-DGOH-CEH (1980)

(c) Planificación Hidrológica Nacional. (Avance 80). Comisión Interministerial de Planificación Hidrológica. MOPU-CIPH (1980). Incluye retornos, evaluados en 6007 hm³/año para todo el territorio nacional.

(d) Plan Hidrológico. Síntesis de la Documentación Básica. MOPU-DGOH (1990). Estas cifras se presentan bajo la denominación recursos garantizados y se refieren solo a las cuencas intercomunitarias.

(e) El agua en España. Instituto de la Ingeniería de España IIE-ITGE-UNESA. (1991). Incluye los recursos regulados por los embalses y los procedentes de una explotación equilibrada de los acuíferos en una primera aproximación. No se incluyen retornos o recursos importados de otras cuencas. Basado principalmente en la Documentación Básica de los Planes Hidrológicos.

(f) Memoria del PHN. MOPT (1993). Incluye los acuíferos sobreexplotados: Guadiana I (280 hm³/año), Guadalquivir (25 hm³/año), Sur (60 hm³/año), Segura (325 hm³/año), Júcar (125 hm³/año), C.I. Cataluña (50 hm³/año), Baleares (30 hm³/año) y Canarias (160 hm³/año). Total 1055 hm³/año. No incluye retornos (8.000 hm³/año), ni reutilización y desalación (115 hm³/año)

(g) Planes Hidrológicos de cuenca (1998). La cifra del Norte solo incluye la regulación conseguida en los embalses destinados exclusivamente a atender demandas consuntivas. Las cifras del Tajo y el Ebro corresponden a la demanda interna satisfecha, inferior al recurso disponible. El Tajo incluye lo que denomina demanda ambiental y el Ebro incluye 3150 hm³/año de caudal mínimo medioambiental en la desembocadura. Se incluyen las transferencias máximas previstas al Sur (10 hm³/año), Segura (540 hm³/año) y Cataluña (100 hm³/año). La cifra del Júcar incluye reutilización, transferencias y retornos.

El concepto de recurso permanente, o regulado en régimen natural, está estrechamente relacionado con el caudal de base de los ríos que, en nuestro país, depende fundamentalmente de las ya estudiadas aportaciones subterráneas debidas al drenaje de los acuíferos y, en menor medida, del deshielo.

Es habitual interpretar estos recursos regulados de forma natural como aquéllos que, en situación de libre apropiación y de ausencia de infraestructuras de almacenamiento, podrían ser utilizados para la satisfacción de las demandas, es decir, el agua que podría ser utilizada en forma fluyente. Era éste el valor que se buscaba cuando, desde el siglo XVIII, comienzan a realizarse mediciones puntuales y esporádicas del caudal de los ríos con vistas a determinar sus posibilidades de aprovechamiento. Puesto que en los países hidráulicamente maduros -como el nuestro- ya existen numerosas obras de regulación superficial y captaciones subterráneas, los recursos regulados de forma natural no son más que un concepto teórico, pero que resulta útil fundamentalmente a efectos comparativos, y como descriptor de la irregularidad hídrica.

Para su estimación es preciso definir previamente la variación estacional de las demandas que podrían ser atendidas con estos caudales fluyentes y las garantías exigidas a su suministro. Tradicionalmente se han considerado dos tipos de modulación de la demanda: uno con distribución uniforme a lo largo del año, asimilable a la situación habitual de las demandas de abastecimiento a poblaciones estables, y otro variable, con el máximo en los meses de verano, asimilable a las demandas de riego.

En estudios anteriores (MOPU, 1980) se estimó la regulación natural en la Península en 9.190 hm³/año para demandas uniformes y en 4.445 hm³/año para demandas variables de riego. Esta estimación se realizó a partir de los datos del pionero Inventario de Recursos Hidráulicos (CEH, 1971), considerando embalses con capacidad nula en las desembocaduras de los ríos importantes o en la frontera portuguesa. Quedaban así excluidos algunos ríos de menor importancia en el contexto general y las intercuencas costeras. Las cifras indicadas corresponden a un nivel de garantía del 96%, definida eliminando el 4% de los años de menor aportación y calculando las demandas que podrían atenderse sin fallos con la serie de años restante.

Para la elaboración de este Libro se ha procedido a una nueva evaluación de los recursos regulados de forma

natural. Para ello se ha utilizado la configuración del sistema de explotación actual, descrito en otros epígrafes de este Libro, y se han empleado dos grupos de series de aportaciones mensuales en régimen natural. El primero de ellos corresponde a las series empleadas por los Planes Hidrológicos de cuenca en los análisis de sus sistemas de explotación. Estas series cubren periodos de tiempo diferentes y en general no incluyen el último periodo de sequía. El segundo grupo está constituido por las series calculadas para la elaboración de este Libro, que cubren el periodo 1940/41-1995/96. Estas series se han obtenido mediante el modelo de simulación de aportaciones que ya ha sido descrito en epígrafes previos. Las series se han generado en un conjunto de puntos de cálculo seleccionados (unos 350) que se muestran en un capítulo posterior.

Se han supuesto dos distribuciones de demanda: una uniforme con garantía 100% y otra variable con el criterio de garantía estándar de déficit anuales acumulados del 50, 75 y 100% de la demanda anual para 1, 2 y 10 años, respectivamente. Estos valores son los adoptados de forma estándar en este Libro, tal y como se comentará en relación con el modelo analítico.

La distribución mensual adoptada para caracterizar esta demanda variable media representativa -o demanda tipo- es la indicada en la tabla 28, cuyos valores se han obtenido como promedio de una extensión representativa de zonas de riego en España.

En el caso de demanda uniforme no se ha considerado ningún tipo de retorno, mientras que en el caso de la demanda variable se ha supuesto que se producen unos retornos del 20% de la demanda atendida. La razón para ello es que, con estos criterios, los resultados obtenidos para el caso de demanda uniforme con garantía del 100% (es decir, sin admitir fallo alguno con las series de aportaciones utilizadas) y sin retornos representan la máxima detracción que se podría realizar de los ríos de forma continua sin ninguna infraestructura de almacenamiento, no debiendo interpretarse esta cifra como un posible suministro para abastecimiento. Por su parte, los resultados relativos a demanda variable con déficit admisibles del 50, 75 y 100% y retornos del 20% se aproximan a las posibilidades reales de movilización de recursos superficiales para regadío si no se dispusiera de infraestructuras de almacenamiento, es decir, de forma fluyente. Es en este sentido teórico -como un sofisticado indicador de

OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL
3	0	0	0	0	1	4	11	18	27	25	11	100

Tabla 28. Distribución porcentual mensual de la demanda variable tipo

comportamiento- como han de interpretarse tales evaluaciones, y no en el de disponer de una cuantificación de disponibilidades hídricas.

El volumen regulado se ha estimado con ayuda de un modelo matemático de gestión de recursos con ciclo de optimización anual. Se han estudiado un total de unos 500 puntos de demanda, distribuidos por la red hidrográfica del territorio peninsular. En cada tramo de río se ha definido una demanda de agua que toma del extremo de aguas arriba del tramo y retorna al extremo de aguas abajo. Con objeto de representar la situación de libre apropiación en la asignación de recursos, las demandas se ordenan desde aguas arriba hasta aguas abajo por niveles homogéneos. Se ha asignado una prioridad máxima a las demandas de los tramos situados en las cabeceras de los ríos. A los tramos situados inmediatamente aguas abajo de éstos se les ha asignado el siguiente nivel de prioridad, y así sucesivamente hasta la frontera con Portugal o hasta la desembocadura del río en el mar.

El recurso regulado en cada punto se ha calculado mediante un algoritmo iterativo de bipartición que comprueba al final de cada ejecución del modelo el cumplimiento del criterio de garantía establecido para cada demanda y aumenta o disminuye el valor estimado de la demanda en consecuencia. El valor de modificación se reduce a la mitad en cada iteración, por lo que, al final del proceso se obtiene una estimación de la demanda regulada con una precisión conocida. En cada punto se ha supuesto inicialmente un valor de demanda igual a la aportación media en régimen natural en dicho punto y se ha trabajado con una precisión del 1 por 1.000 del valor de dicha aportación. El valor inicial adoptado supone lógicamente un límite supe-

rior de la máxima demanda que se puede atender en ese punto. A partir del valor inicial se han acotado los valores de las demandas hasta que se cumple el criterio de garantía establecido.

Con objeto de reducir el número de ejecuciones del modelo de optimización, el algoritmo ajusta simultáneamente las demandas de un mismo nivel de prioridad. Según el criterio de ordenación de niveles de prioridad, procediendo de esta manera se garantiza que no hay conflictos en la asignación del recurso, ya que (si no hay bucles cerrados en la red hidrográfica) las demandas de un mismo nivel de prioridad no pueden compartir el mismo recurso.

Operativamente, se procede desde aguas arriba hacia aguas abajo por niveles homogéneos de prioridad, ajustando en una primera fase las demandas de máxima prioridad (más aguas arriba). Las demandas del siguiente nivel de prioridad se ajustan en una segunda fase, y así sucesivamente. En cada fase se supone que las demandas situadas aguas abajo de las del nivel de prioridad estudiado son nulas, para no interferir con la asignación de recursos. En las demandas situadas aguas arriba de las del nivel de prioridad estudiado se mantiene la estimación realizada en las fases previas.

De esta forma, los resultados obtenidos con las series de aportaciones empleadas en los análisis de los sistemas de explotación realizados en los Planes de cuenca son los que se muestran en la tabla 29 y figura 138. En la tabla se incluyen, como referencia, las cifras de aportación natural indicadas en los Planes y las aportaciones de cálculo empleadas en el análisis de los sistemas de explotación. Las diferencias son debidas a

Ámbito	Aportación natural total (hm ³ /año)	Aportación de cálculo (hm ³ /año)	Regulado con demanda uniforme (hm ³ /año)	Regulado con demanda uniforme (%)	Regulado con demanda variable (hm ³ /año)	Regulado con demanda variable (%)
Norte I	11.235	10.489	640	6	411	4
Norte II	13.000	10.950	546	5	708	6
Norte III	5.381	4.211	180	4	248	6
Duero	15.168	13.558	2.006	15	1.656	12
Tajo	12.230	12.230	644	5	505	4
Guadiana I	4.875	4.714	18	0	128	3
Guadiana II	1.293	825	0	0	0	0
Guadalquivir	7.978	8.021	192	2	233	3
Sur	2.483	1.076	15	1	41	4
Segura	1.000	857	299	35	226	26
Júcar	4.142	2.580	524	20	484	19
Ebro	18.217	18.217	2.661	15	2.638	14
C. I. Cataluña	2.780	1.544	282	18	284	18
Galicia Costa	12.642	8.137	591	7	619	8
Península	112.424	97.408	8.599	9	8.179	8

Tabla 29. Volúmenes regulados en régimen natural con las series de aportaciones empleadas en los Planes de cuenca

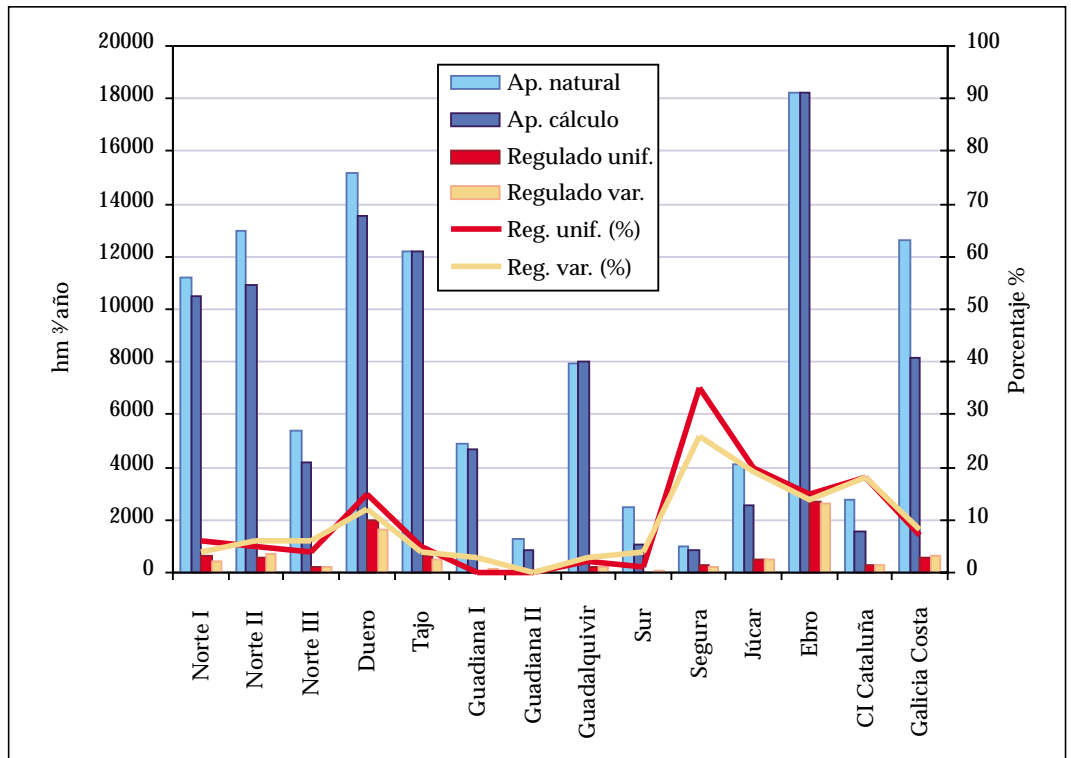


Figura 138. Volúmenes regulados en régimen natural por ámbitos de planificación. Series de los Planes Hidrológicos

discrepancias en el ámbito territorial analizado, más reducido que el de los Planes en algunos ámbitos, al excluir algunas pequeñas cuencas vertientes directamente al mar, o a actualizaciones de las series realizadas con posterioridad a la redacción de los Planes de cuenca. Los resultados se expresan tanto en valor absoluto como en porcentaje respecto a la aportación de cálculo empleada.

Los mismos resultados pero correspondientes a las series obtenidas en este Libro son los que se muestran en la tabla 30 y la figura 139.

Puede llamar la atención el hecho de que los resultados en régimen variable sean, en algunos casos, superiores a los del régimen constante. Ello se explica considerando los diferentes regímenes hidrológicos, la

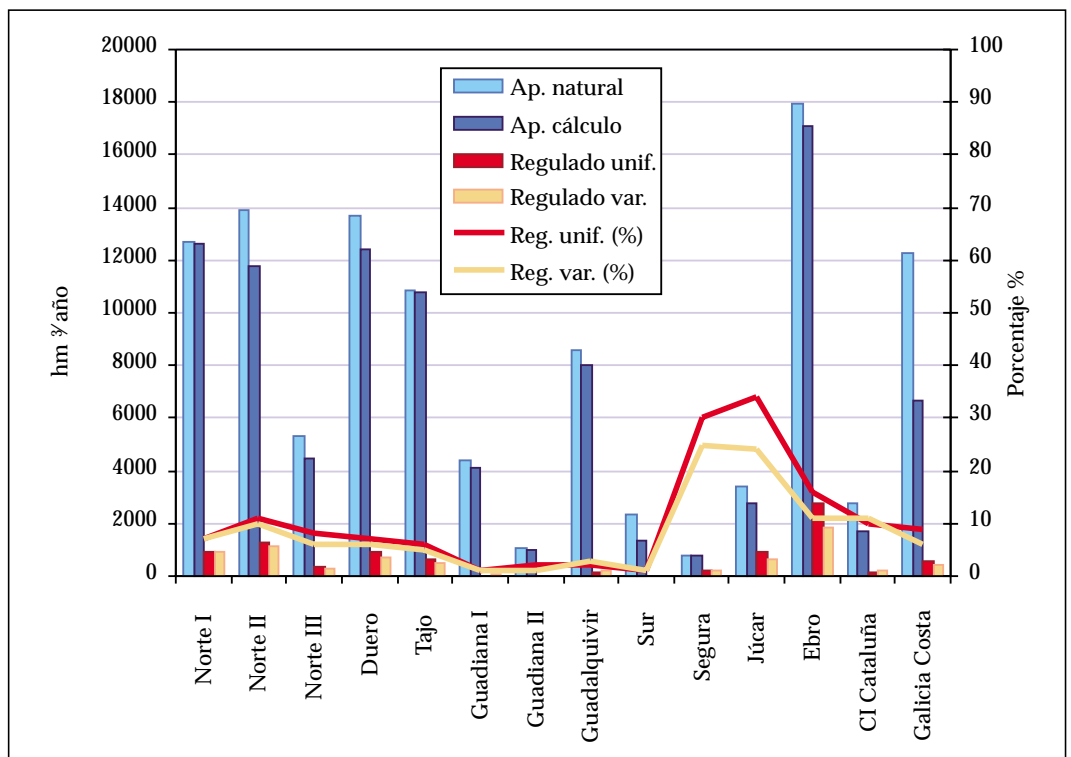


Figura 139. Volúmenes regulados en régimen natural por ámbitos de planificación. Series obtenidas en este Libro

Ámbito	Aportación natural total (hm ³ /año)	Aportación de cálculo (hm ³ /año)	Regulado con demanda uniforme (hm ³ /año)	Regulado con demanda uniforme (%)	Regulado con demanda variable (hm ³ /año)	Regulado con demanda variable (%)
Norte I	12.689	12.603	935	7	916	7
Norte II	13.881	11.799	1.263	11	1.146	10
Norte III	5.337	4.437	352	8	251	6
Duero	13.660	12.422	892	7	742	6
Tajo	10.883	10.782	605	6	490	5
Guadiana I	4.414	4.097	26	1	44	1
Guadiana II	1.061	998	15	2	7	1
Guadalquivir	8.601	7.988	132	2	208	3
Sur	2.351	1.379	16	1	18	1
Segura	803	757	225	30	192	25
Júcar	3.432	2.745	924	34	656	24
Ebro	17.967	17.089	2.795	16	1.827	11
C. I. Cataluña	2.787	1.722	177	10	190	11
Galicia Costa	12.250	6.633	569	9	426	6
Península	110.116	95.451	8.926	9	7.112	7

Tabla 30. Volúmenes regulados en régimen natural con las series obtenidas en este Libro

introducción de retornos, y la adopción de un criterio de garantía sensiblemente más laxo.

Estas cifras, que como puede verse son básicamente coincidentes en las dos hipótesis de aportaciones realizadas, sugieren distintas conclusiones de interés.

1. En primer lugar, se pone de manifiesto que sólo una pequeña fracción de los recursos naturales totales, del orden del 8 o el 9%, podría ser aprovechada en la satisfacción de las diferentes necesidades de agua si no se alterase artificialmente el régimen natural. Ello significa, grosso modo, que en la actualidad solo podría regarse en la península un máximo absoluto próximo al millón de hectáreas, lo que viene a ser la superficie existente a comienzos de siglo cuando, efectivamente, el régimen hidrológico de los ríos y acuíferos era sensiblemente igual al natural.
2. También puede constatarse la bondad de las estimaciones realizadas en los años ochenta. En efecto, la cifra de 9.190 hm³/año correspondiente a demanda uniforme obtenida entonces es similar a los 8.600-8.900 hm³/año resultantes de la nueva estimación. La menor disponibilidad obtenida ahora se debe, fundamentalmente, a la utilización de un nivel de garantía del 100%, más exigente que el utilizado en las determinaciones anteriores. En el caso de demanda variable la diferencia es más apreciable (4.445 frente a 7.200-8.200 hm³/año), pues se han utilizado criterios muy diferentes para su obtención. Por una parte, ahora ha sido contemplada la posibilidad de aprovechamiento de los retornos, estimados con carácter general en un 20% de los suministros. Además, ahora se ha utilizado un criterio de garantía diferente, limitando los déficit acumulados en 1, 2 y 10 años al 50,

75 y 100% de la demanda, respectivamente. Este criterio, en general menos exigente que el anterior, conduce a un mayor valor de los volúmenes disponibles para su aprovechamiento.

3. Los valores alcanzados con los dos grupos de series empleados son básicamente coincidentes, aunque se perciben algunas discrepancias, no muy significativas, en las cuencas del Júcar, Cataluña y Duero. Ello reafirma la validez general de las nuevas series como instrumento para la realización de análisis globales homogéneos.
4. Tal y como se comprobó al examinar los correlogramas de aportaciones y la fracción de origen subterráneo, las cuencas que disponen de una mayor regulación natural (del orden del 30% de la aportación total), debido a su importante componente subterránea, son el Segura y el Júcar, lo que históricamente propició el asentamiento de poblaciones y el desarrollo de extensos y antiguos regadíos tradicionales en sus vegas. Les sigue el Ebro con cuantías relativas del orden del 15%, aunque con volúmenes muy superiores en términos absolutos. En el otro extremo se sitúan las cuencas del Guadiana, Guadalquivir y Sur, que disponen de una menor fracción de sus aportaciones regulada de forma natural (inferior al 3%).

3.1.5.3. Las obras de regulación y los sistemas de explotación

Como ya se ha indicado, los recursos regulados de forma natural descritos en el epígrafe anterior son tan solo un concepto teórico, ciertamente útil a efectos comparativos y como descriptor de la variabilidad hídrica,

Plan Hidrológico	Número de sistemas de explotación
Norte I	6
Norte II	15
Norte III	7
Duero	4
Tajo	5
Guadiana I	4
Guadiana II	1
Guadalquivir	17
Sur	5
Segura	1
Júcar	9
Ebro	27
C. I. Cataluña	4
Galicia Costa	20
Total	125

Tabla 31. Número de sistemas de explotación por ámbitos de planificación hidrológica

pero alejado de la actual realidad de madurez hidráulica del país, en el que se dispone de numerosas obras de regulación superficial y captaciones subterráneas que alteran dicho régimen natural y permiten un aprovechamiento más regular y fiable de los recursos naturales.

A lo largo del tiempo, y a medida que se alcanzaba dicho nivel de madurez, el papel de las obras de regulación y las formas de abordar su estudio han evolucionado de modo importante. En su clásica obra *La regulación de los ríos*, Becerril (1959) definió la regulación como el mecanismo por el cual la técnica armoniza la irregularidad fluvial con la permanencia de la disponibilidad; se consigue por almacenamiento de las aguas en un embalse durante las épocas en que haya exceso de caudal y utilización de estas aguas acumuladas en aquellos periodos en que la demanda supera el caudal del río. Esta definición tradicional, que asocia la obra de regulación a la atención de una determinada demanda, se enmarca en etapas de desarrollo hidráulico caracterizadas por una relativa abundancia de recursos frente a la demanda, en las que los problemas hidráulicos de una cuenca se tratan de forma independiente y los aprovechamientos se desarrollan con carácter aislado. En estas condiciones, las obras de regulación se programan para cada utilización concreta que se plantea, sin interconexión alguna. Son las etapas que el II Plan de Desarrollo Económico y Social (1967) denominaba de aprovechamiento inconnexo o de oportunidad.

A medida que la utilización del agua aumenta, comienzan a producirse interdependencias entre los problemas hidráulicos de las distintas zonas de las cuencas, y adquiere mayor importancia la disponibilidad de recursos que la realización de aprovechamientos concretos. Se posibilita la satisfacción de las demandas con recursos procedentes de fuentes alternativas y se producen

interconexiones entre diferentes zonas. En esta etapa, denominada de aprovechamiento integral, los embalses se convierten en elementos de un sistema más amplio territorialmente y de mayor complejidad técnica, en el que la hipótesis de funcionamiento independiente de cada embalse no resulta adecuada.

Para hacer frente a esta nueva realidad surge la figura técnica del sistema de explotación de recursos, que en nuestro país ha adquirido incluso regulación normativa tras la promulgación del Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica (RAPAPH). En este texto se define el concepto de sistema de explotación de recursos como el conjunto de elementos naturales, obras e instalaciones de infraestructura hidráulica, normas de utilización del agua derivadas de las características de las demandas y reglas de explotación que, aprovechando los recursos hidráulicos naturales, permiten establecer los suministros de agua que configuran la oferta de recursos disponibles del sistema de explotación.

Cada sistema de explotación de recursos ha de referirse a un horizonte temporal y su estudio debe permitir definir y caracterizar los recursos hidráulicos disponibles, de acuerdo con las normas de utilización del agua consideradas, determinar los elementos de la infraestructura precisa y las directrices fundamentales para su explotación, así como los recursos naturales no utilizados en el sistema y, en su caso, los procedentes de ámbitos territoriales externos.

Posteriormente, la Orden del Ministerio de Obras Públicas y Transportes de 24 de setiembre de 1992, por la que se aprueban las instrucciones y recomendaciones técnicas complementarias para la elaboración de los Planes Hidrológicos de cuenca, detalló el papel que deben desempeñar los sistemas de explotación de recursos en la planificación hidrológica. Concretamente se

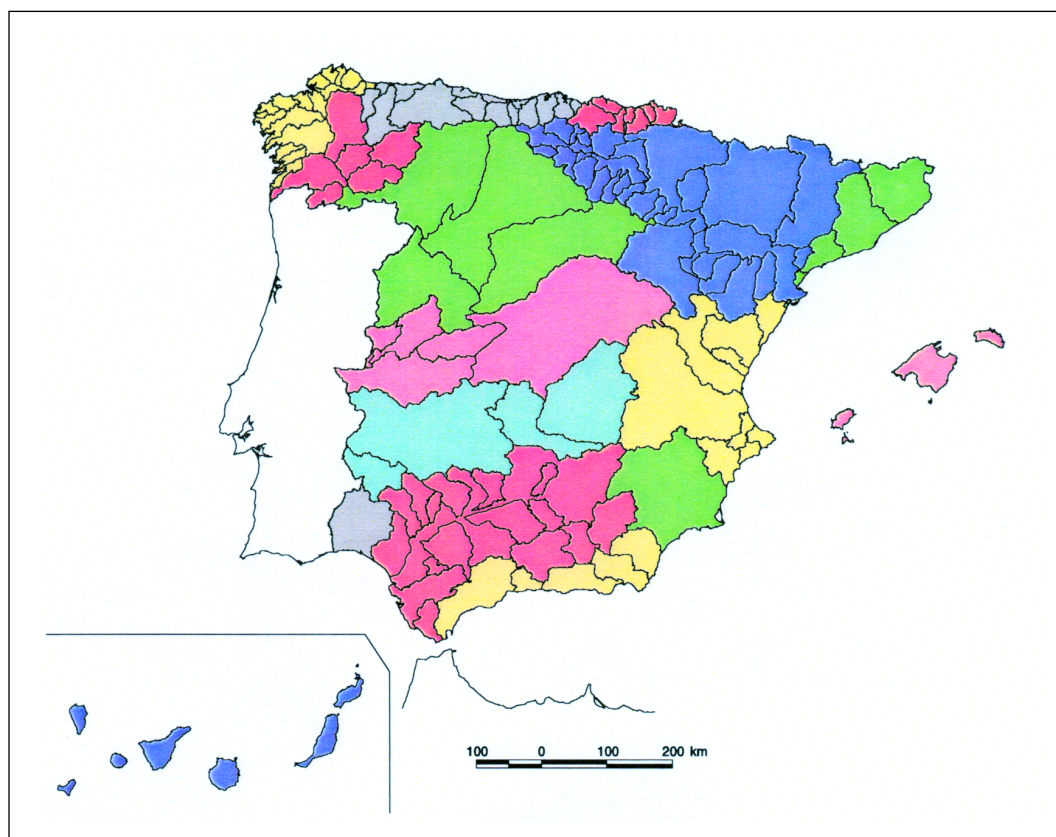


Figura 140. Mapa de sistemas de explotación básicos definidos en los Planes Hidrológicos de cuenca

específica que la simulación de los sistemas de explotación de recursos debe tener en cuenta la explotación de los embalses y de los acuíferos, las relaciones río-acuífero, la modulación de las demandas, las garantías de suministro, los retornos, los resguardos en embalses para laminación de avenidas, las zonas húmedas y su régimen hídrico, los caudales mínimos por razones medioambientales u otras, el régimen de explotación de los aprovechamientos hidroeléctricos y, en su caso, las condiciones de tipo concesional, en particular la garantía de suministro para la refrigeración de centrales termoeléctricas existentes o previstas, así como aquellos otros elementos o características que tengan influencia en la disponibilidad de recursos.

Se recomienda, además, que, cuando en una cuenca se consideren varios sistemas de explotación de recursos, se elabore un único sistema de la totalidad de la cuenca en el que queden incluidos los sistemas parciales, con objeto de efectuar el análisis global de su explotación. Si el ámbito de un Plan Hidrológico comprende varias cuencas hidrográficas con un grado relevante de interconexión entre los sistemas de explotación de sus recursos, se debe elaborar, asimismo, un único sistema en el que se incluyan esas cuencas.

En el conjunto de los Planes de cuenca peninsulares se han considerado 125 sistemas básicos de explotación, distribuidos según se indica en la tabla 31 y en la figura 140.

Contemplar la irregularidad de los distintos Planes en la definición de sus sistemas de explotación (algunos con un número reducido, y otros con un número muy elevado, casi por subcuencas) puede servir para ofrecer algún criterio de homogeneización en el futuro.

Con objeto de disponer de un esquema general de representación y análisis de los sistemas de explotación de las distintas cuencas, de forma global, y con criterios y métodos homogéneos, entre los trabajos para la elaboración de este Libro se decidió también acometer la construcción de un modelo de Sistema Unificado de Explotación de Recursos Hídricos como instrumento básico para la elaboración de los balances de recursos y demandas con la necesaria homogeneidad, rigor metodológico, y resolución adecuada a la escala de trabajo propia de un Plan Hidrológico Nacional.

Con este Sistema, que se describe posteriormente, se ha procedido a evaluar las disponibilidades resultantes de la regulación obtenida en los principales embalses, incluyendo los que actualmente se hallan en construcción. En el epígrafe siguiente se describen los resultados teóricos obtenidos.

3.1.5.4. Disponibilidades teóricas obtenidas mediante regulación en embalse

La situación real de funcionamiento de las cuencas se describe en epígrafes posteriores. En este aparta-

Ámbito	Aport. natural total (hm ³ /año)	Aport. de cálculo (hm ³ /año)	Capacidad de embalse total (hm ³)	Capacidad de embalse de cálculo (hm ³)	Regulado demanda uniforme (hm ³ /año)	Regulado demanda uniforme (%)	Regulado demanda variable (hm ³ /año)	Regulado demanda variable (%)
Norte I	11.235	10.489	3.040	2.427	3.891	37	3.442	33
Norte II	13.000	10.950	559	384	1.579	14	1.475	13
Norte III	5.381	4.211	122	79	337	8	307	7
Duero	15.168	13.558	7.667	6.691	6.829	50	8.128	60
Tajo	12.230	12.230	11.135	9.887	5.860	48	7.071	58
Guadiana I	4.875	4.714	8.843	7.550	2.029	43	2.711	58
Guadiana II	1.293	825	776	522	207	25	264	32
Guadalquivir	7.978	8.021	8.867	7.835	2.904	36	3.632	45
Sur	2.483	1.076	1.319	1.042	388	36	504	47
Segura	1.000	857	1.223	737	610	71	725	85
Júcar	4.142	2.580	3.349	2.417	1.650	64	1.985	77
Ebro	18.217	18.217	7.702	6.860	11.017	60	12.998	71
C. I. Cataluña	2.780	1.544	772	709	768	50	1.115	72
Galicia Costa	12.642	8.137	688	451	1.777	22	1.493	18
Península	112.424	97.408	56.063	47.591	39.846	41	45.850	47

Tabla 32. Volúmenes regulados en la situación teórica considerada, con las series empleadas en los Planes Hidrológicos de cuenca

do se muestra el resultado orientativo obtenido de la simulación del funcionamiento de las cuencas bajo supuestos teóricos de modelación y que, por tanto, no necesariamente se corresponden con los vigentes condicionantes de explotación.

Por ello, los resultados que se obtienen en algunos casos difieren de las situaciones observadas de funcionamiento real de las cuencas.

Las hipótesis teóricas de diseño empleadas en este análisis son las mismas que las utilizadas al evaluar la regulación natural, es decir, demanda uniforme con garantía 100% y sin considerar retornos, y demanda variable, con la distribución entonces indicada, déficit admisibles del 50, 75 y 100% de la demanda anual y retornos del 20% de la demanda atendida. En ambos casos los volúmenes regulados se han determinado disminuyendo un 5% la capacidad de los embalses para tener en cuenta el efecto de los volúmenes mínimos y resguardos destinados al control de avenidas.

Además, se ha supuesto una utilización libre de todos los embalses existentes, ignorando cualquier limitación concesional o de explotación que condiciones su operación, lo que sería particularmente importante en los embalses hidroeléctricos, que se han supuesto de libre utilización para cualquier uso. Esto puede dar lugar a apreciables desviaciones en aquellas cuencas en las que la capacidad de embalse hidroeléctrica es una fracción muy importante del total. Es el caso de los Planes del Norte I, Duero, Tajo y Ebro, en los que esta capacidad supera al almacenamiento para usos consuntivos.

Los cálculos se han realizado para los dos mismos grupos de series de aportaciones naturales que en el caso de la regulación natural, es decir, las empleadas

por los Planes Hidrológicos de cuenca en los análisis de sus sistemas de explotación y las calculadas al elaborar este Libro.

El algoritmo de cálculo es similar al empleado en el caso de regulación natural, ligeramente modificado para tener en cuenta el efecto de los recursos almacenados al final de cada año hidrológico. Cuando existe infraestructura de regulación en la cuenca, la aparición de nuevas demandas aguas abajo, incluso teniendo un nivel de prioridad menor que el de las existentes, hace que puedan fallar éstas, puesto que el agua almacenada en los embalses al final de cada ciclo de optimización anual modifica la disponibilidad de recursos en un caso y otro.

Para resolver el problema se realiza una segunda ejecución del algoritmo de optimización, esta vez manteniendo el valor de las demandas situadas aguas abajo, cuya finalidad es la de ajustar definitivamente las demandas que comparten la regulación de un mismo embalse. Como en este caso las modificaciones que se introducen son ya pequeñas, al final de este bucle las demandas resultado cumplen ya el criterio de garantía establecido.

Debe hacerse notar que las cifras resultantes son tan solo meramente ilustrativas, al haberse obtenido en un supuesto teórico de utilización apropiatoria y exclusiva de aguas superficiales, sin considerar la existencia de ningún bombeo de aguas subterráneas, sin ninguna limitación derivada de las concesiones existentes y supeditado a la estrategia de gestión de embalses de ciclo anual supuesta en el modelo de optimización utilizado. Los valores obtenidos constituyen, en ausencia de limitaciones por la calidad de las aguas, un límite inferior de los recursos disponibles, que podrían, si

Ámbito	Aport. natural total (hm ³ /año)	Aport. de cálculo (hm ³ /año)	Capacidad de embalse total (hm ³)	Capacidad de embalse de cálculo (hm ³)	Regulado demanda uniforme (hm ³ /año)	Regulado demanda uniforme (%)	Regulado demanda variable (hm ³ /año)	Regulado demanda variable (%)
Norte I	12.689	12.603	3.040	2.427	4.735	38	3.937	31
Norte II	13.881	11.799	559	384	2.180	18	1.870	16
Norte III	5.337	4.437	122	79	471	11	353	8
Duero	13.660	12.422	7.667	6.691	5.253	42	6.095	49
Tajo	10.883	10.782	11.135	9.887	4.587	43	5.845	54
Guadiana I	4.414	4.097	8.843	7.550	1.678	41	1.922	47
Guadiana II	1.061	998	776	522	188	19	228	23
Guadalquivir	8.601	7.988	8.867	7.835	2.161	27	2.819	35
Sur	2.351	1.379	1.319	1.042	284	21	359	26
Segura	803	757	1.223	737	519	69	626	83
Júcar	3.432	2.745	3.349	2.417	1.766	64	2.095	76
Ebro	17.967	17.089	7.702	6.860	10.145	59	11.012	64
C. I. Cataluña	2.787	1.722	772	709	615	36	791	46
Galicia Costa	12.250	6.633	688	451	1.372	21	1.223	18
Península	110.116	95.451	56.063	47.591	35.954	38	39.175	41

Tabla 33. Volúmenes regulados en la situación teórica considerada, con las series obtenidas en este Libro

bien no necesariamente en todos los casos, incrementarse con estrategias de gestión plurianuales, técnicas de uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas, o empleo de recursos no convencionales. Por otra parte, se dan casos singulares, como el del Duero, en los que gran parte de la capacidad de almacenamiento (del orden de 2/3 del total) se encuentra en los importantes embalses hidroeléctricos próximos a Portugal, que no son utilizables en la parte española. Ello hace que las estimaciones realizadas deban corregirse sensiblemente a la baja.

Por todo ello, y como antes se indicó, las hipótesis asumidas y, en consecuencia, los resultados obtenidos, no son comparables con los que se observan en la realidad.

En cualquier caso, y con las peculiaridades indicadas, las magnitudes ofrecidas resultan bien indicativas del incremento de disponibilidad, obtenido por efecto de la regulación, respecto a la situación original en régimen natural.

Los resultados obtenidos con las series de aportaciones empleadas en los Planes de cuenca son los que se

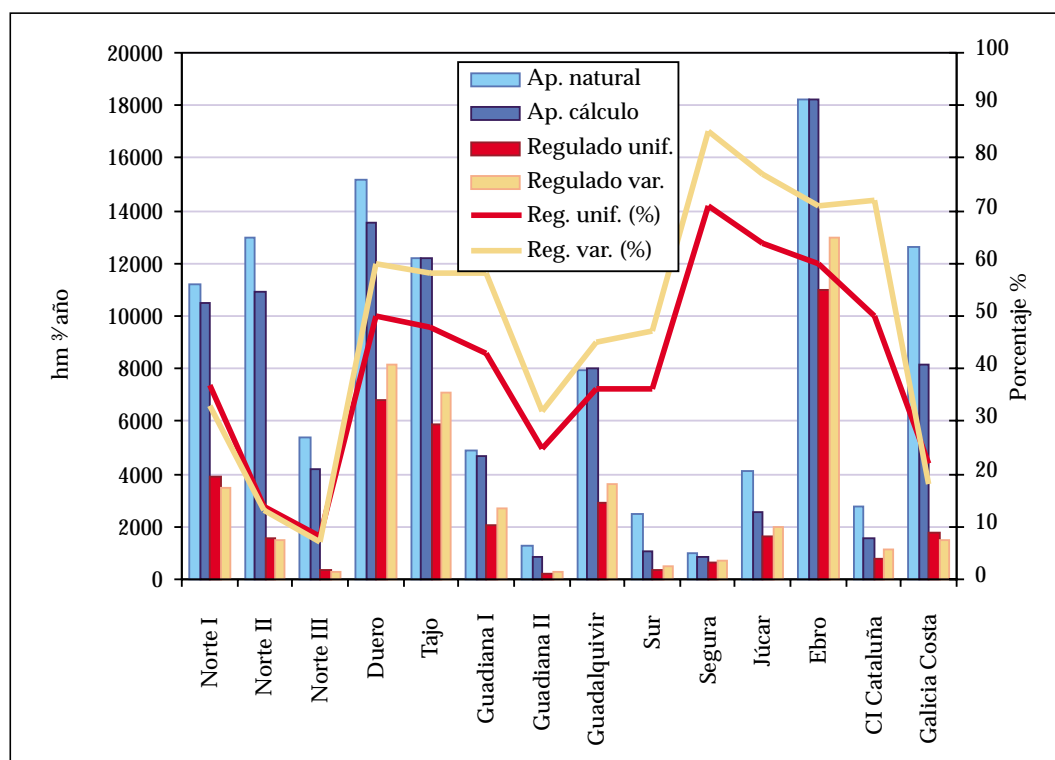


Figura 141. Volúmenes regulados en la situación teórica considerada. Series de aportaciones de los Planes Hidrológicos

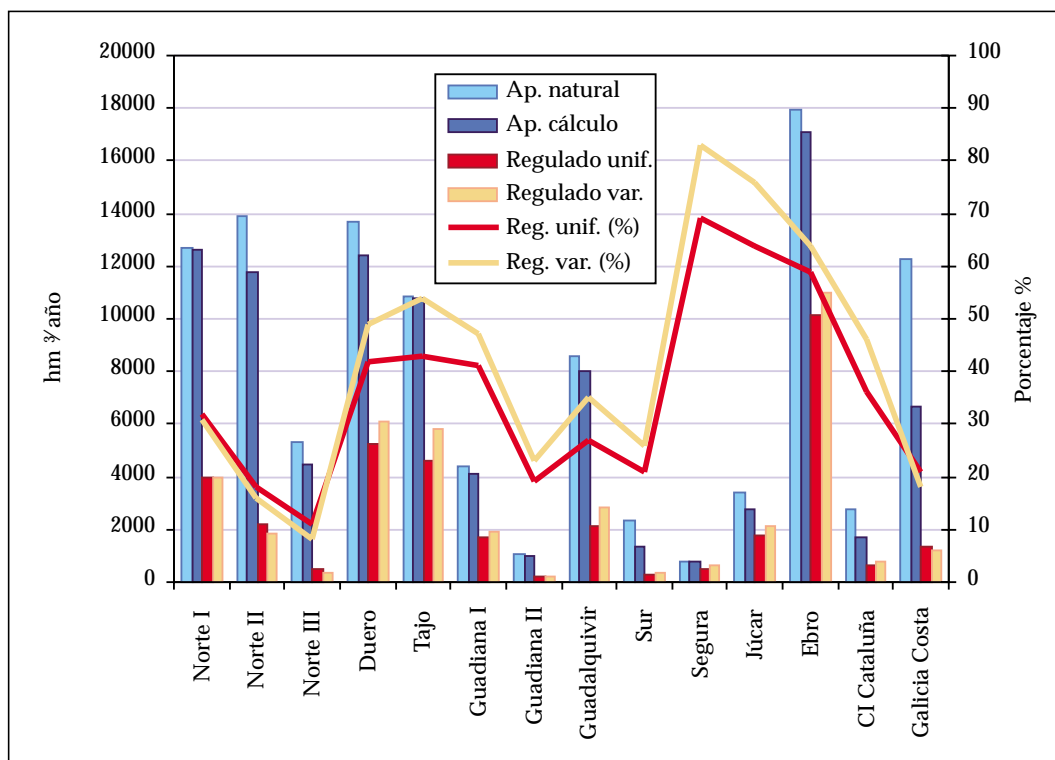


Figura 142. Volúmenes regulados en la situación teórica considerada. Series de aportaciones obtenidas en este Libro

muestran en la tabla 32 y en la figura 141. En la tabla se incluyen, a modo de referencia, las cifras de aportación natural indicadas en los Planes y las aportaciones de cálculo empleadas en el análisis de los sistemas de explotación, así como la capacidad de embalse total actual (incluyendo los embalses en construcción) y la capacidad de cálculo empleada, inferior por considerar solo los principales embalses y descontar los volúmenes para laminación de avenidas. Los resultados obtenidos se expresan tanto en valor absoluto como en porcentaje respecto a la aportación de cálculo empleada.

Análogamente, los resultados correspondientes a las series obtenidas en este Libro son los que se muestran en la tabla 33 y la figura 142.

Los resultados muestran el apreciable incremento de los volúmenes aprovechables como consecuencia de la infraestructura de regulación, que se situarían ahora en torno al 38-47% de las aportaciones naturales frente al 7-9% anterior. Debe señalarse que en el análisis se han considerado todos los embalses con efectos importantes en la regulación, incluidos aquéllos cuyo uso exclusivo es la generación de energía. Esto, en algunos ámbitos como el Norte I, el Duero o el Tajo -y en particular el segundo-, con importantes aprovechamientos energéticos, conduce, como se comentó, a volúmenes regulados muy superiores a los que resultarían si exclusivamente se consideraran los embalses destinados a atender usos consuntivos.

Los valores obtenidos con cada grupo de series son, en líneas generales, muy similares y las discrepancias observadas se hallan dentro de los márgenes que cabría esperar como consecuencia de los diferentes procedimientos de cálculo empleados y de abarcar periodos de tiempo diferentes.

La figura 143 resume los valores de volúmenes regulados obtenidos en condiciones naturales y con la dotación de embalses de regulación en servicio o en ejecución para el caso de demanda variable, déficit admisibles del 50, 75 y 100% de la demanda anual, y retornos del 20% (es decir, una demanda tipo de regadíos, que es la consuntiva claramente dominante), empleando las series de aportaciones obtenidas para este Libro, que, como se ha indicado, abarcan un periodo común e incorporan la última sequía.

Como puede verse, el incremento de los recursos aprovechables obtenido como consecuencia de las infraestructuras de regulación es francamente elevado en algunas cuencas. En el caso del Guadiana I, por ejemplo, que cuenta con el mayor embalse de España (La Serena, con 3.230 hm³ de capacidad) el volumen regulado en régimen natural se multiplica por más de cuarenta, llegando a alcanzar un volumen aprovechable del orden del 45% de las aportaciones naturales, porcentaje similar al de ámbitos como el Duero o el Tajo.

En las cuencas del Segura, Júcar y Ebro se alcanzan los mayores porcentajes de regulación superficial, destacando la primera de ellas, que regula más del 80% de su aportación natural. En el otro extremo se