

Tabla 23. Estimación de las reservas de aguas subterráneas (hm³) en distintas cuencas

Cuenca	Reservas (hm ³)
Norte	7.700
Duero	43.600
Tajo	4.700
Guadiana	2.800
Guadalquivir	11.000
Sur	5.600
Segura	-
Júcar	79.100
Ebro	12.800
C.I. Cataluña	12.600

Como sugiere la dispersión de las magnitudes ofrecidas por los distintos autores, estas cifras han de contemplarse con cierta reserva, y deben valorarse como una acotación encajada del orden de magnitud del problema, dado que no se dispone de datos bien contrastados que permitan cuantificar con suficiente precisión las transferencias subterráneas de agua dulce al mar. En cualquier caso, las diferencias entre las cifras proporcionadas por los dos trabajos más recientes son moderadas, si se exceptúan las correspondientes a las cuencas del Norte.

En relación con las reservas de los acuíferos, el ITGE (1989) ha estimado que el volumen de agua subterránea almacenado en España, hasta los 200 m de profundidad, es del orden de 125.000 hm³. De estas reservas naturales subterráneas, aproximadamente 120.000 hm³ corresponden a la Península, 2.500 hm³ a Canarias y otros 2.500 hm³ a Baleares.

Otros trabajos, como el Inventario de MOPTMA-MINER-UPC (1993) estiman las reservas en unos 180.000 hm³ (sin incluir la cuenca del Segura ni los archipiélagos) con la distribución por cuencas que se muestra en la tabla 23.

Hay que destacar la incertidumbre asociada a la estimación de las reservas, pues no siempre existe acuerdo sobre su significado (consideración del estrato impermeable, accesibilidad técnica y económica, etc.), lo que se añade a las dificultades técnicas inherentes a su cuantificación. En cualquier caso, se trata de volúmenes muy importantes (del orden del triple del almacenamiento total disponible mediante presas), que pueden jugar un papel fundamental en situaciones de sequía.

En síntesis, los recursos en régimen natural de origen subterráneo, o recarga natural de los acuíferos, ascienden a un total superior a los 29 km³/año, de los que aproximadamente 27 son aportación subterránea a la escorrentía de los ríos, y los 2 restantes son transferencias subterráneas al mar o a otros territorios.

3.1.4.3. Variabilidad y diversidad hidrológica

En los epígrafes previos se han descrito los recursos hídricos en régimen natural y su composición relativa en escorrentía superficial directa y escorrentía subterránea. En esta descripción ya se señaló la gran irregularidad y

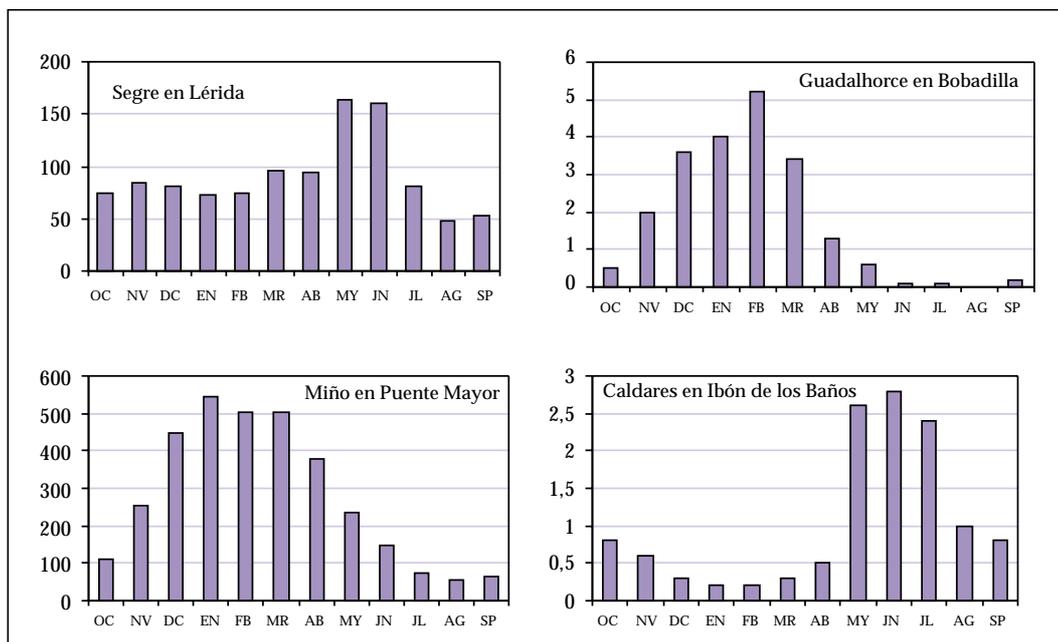


Figura 127. Caudales medios mensuales en ríos con distintos regímenes fluviales

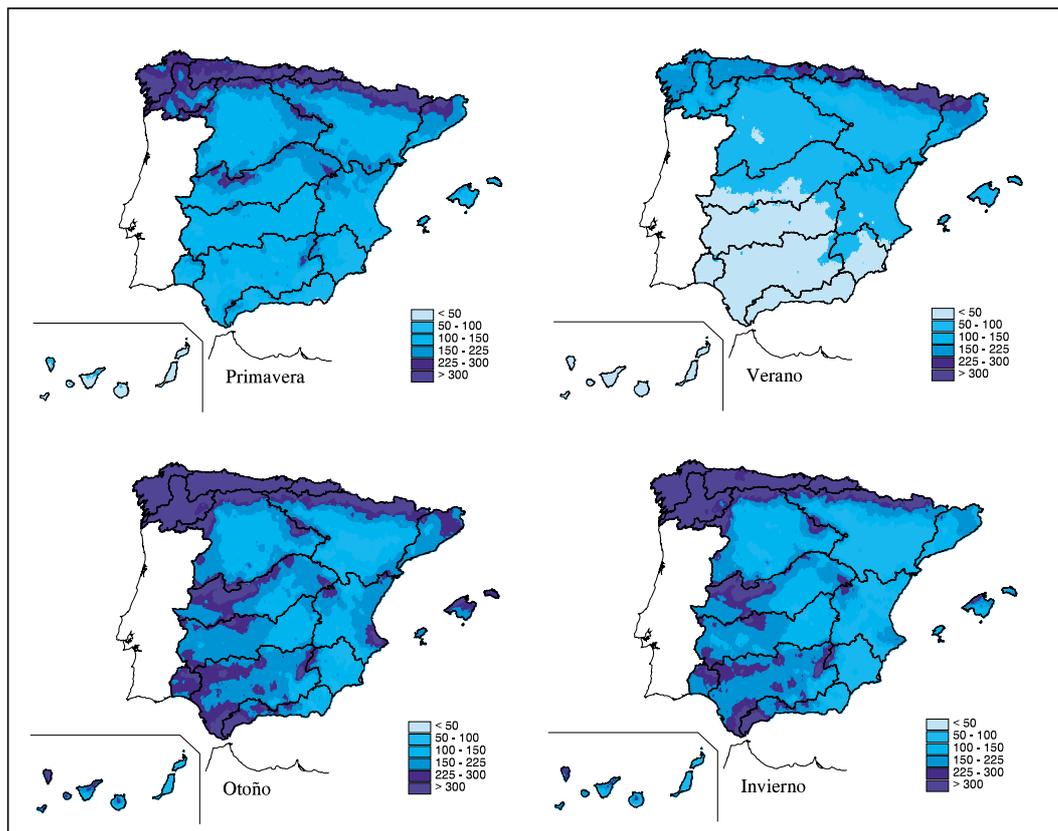


Figura 128. Distribución estacional de la precipitación (mm)

diversidad hidrológica del país, y puesto que éste es un rasgo muy significativo de nuestros recursos hídricos, le dedicaremos ahora alguna atención específica.

En efecto, la variabilidad hidrológica de España y la irregularidad de su régimen hídrico en el espacio y en el tiempo ha llegado a ser uno de los tópicos más insistentemente repetidos al hablar de los problemas del agua. Realmente, y como ya se ha mostrado, la variabilidad es uno de los aspectos más destacables de nuestra hidrología, de tal forma que, como veremos, la diferencia claramente de la de otros países de su entorno. Las razones para ello residen a su vez en la variabilidad del medio físico (clima, suelos, orografía, etc.), que se comentó en anteriores apartados.

Como se mostró, la precipitación es la variable que más influye en las fluctuaciones de las aportaciones de los ríos, pero hay otros factores, como los distintos tipos de suelos, la vegetación, la evapotranspiración y los acuíferos, que condicionan y controlan la respuesta de la cuenca frente a las entradas pluviométricas.

En función de las características del régimen de precipitaciones, pero también teniendo en cuenta otras características del clima, como, por ejemplo, las que originan la fusión de la nieve, se puede hablar de un régimen fluvial intraanual característico. En la figura 127 se muestran distintos ejemplos de caudales medios mensuales de ríos españoles (en m³/s) típicos de estos regímenes representativos (pluvio-nival del Segre en Lérida, plu-

vio-oceánico del Miño en Ponte Mayor, pluvio-mediterráneo del Guadalhorce en Bobadilla, y nival del Caldares en Ibón de los Baños).

En la figura 128 se muestra la variabilidad estacional de la precipitación, observándose que las estaciones del año con mayores valores de las precipitaciones son las de otoño e invierno y que en los meses de verano la precipitación total en una gran parte de la mitad meridional de España no alcanza siquiera los 50 mm. Un hecho que acentúa aún más esta variabilidad temporal de la lluvia es que los valores de precipitación medios que se observan en algunas cuencas se producen en apenas unos días (ver capítulo sobre crecidas).

A continuación se muestra la variabilidad estacional de la evapotranspiración potencial, observándose cómo, contrariamente a lo que sucedía con las precipitaciones, las estaciones con mayor valor de la evapotranspiración potencial son las de primavera y verano. Hay que tener sin embargo en cuenta, como ya se ha visto en apartados anteriores, que este es un valor potencial sujeto a la disponibilidad de agua en el suelo (fig. 129).

Finalmente, en la figura 130 se muestra la distribución estacional de la escorrentía, producto de los regímenes de precipitaciones y evapotranspiraciones y de la modulación que el suelo y los acuíferos suponen. Las reducidas lluvias y las elevadas evapotranspiraciones potenciales de los meses de primavera y verano determinan el que en una gran parte del territorio no se

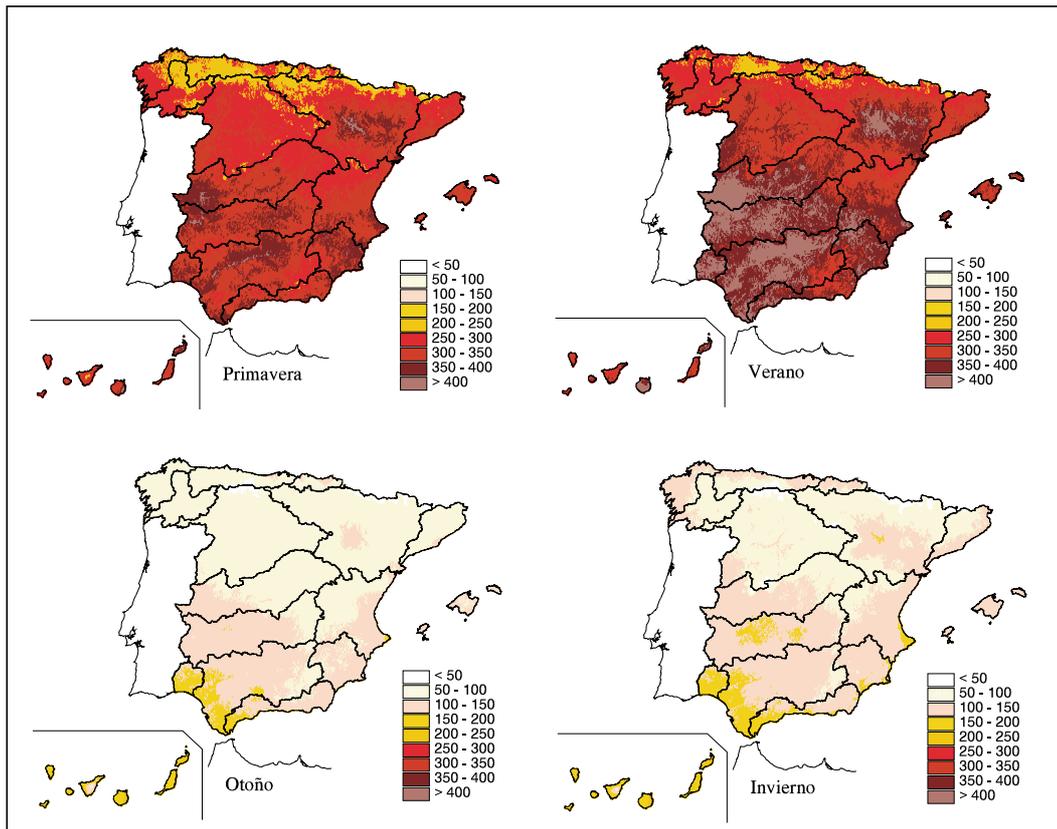


Figura 129.
Distribución
estacional de la
evapotranspiración
potencial (mm)

genere escorrentía en esos meses. El agua que por tanto circula por los ríos en esa época es la que procede de la descarga de los acuíferos y cuando éstos no existen la escorrentía es prácticamente nula. Con carácter general se puede decir que el agua que marca la abundancia hídrica de un determinado año en muchas regiones de España es la que precipita en otoño e invierno.

Puede alcanzarse una mejor comprensión de la relación entre la variabilidad temporal en precipitaciones, las características de la cuenca, y sus consecuencias en la variabilidad temporal en la escorrentía, al analizar la evolución de caudales en ciertas estaciones de aforo concretas.

Como ejemplo ilustrativo, en la figura 131 se refleja la evolución de caudales mensuales (en m^3/s) en dos estaciones de aforo de la cuenca del Guadiana - río Guadiana en Torreblanca y río Zújar en Castuera - durante los 4 años hidrológicos 1946/47 a 1949/50, en los que se puede admitir un régimen poco afectado, prácticamente igual al natural.

Con una distribución de precipitaciones muy similar en ambas cuencas, se observa cómo en la primera estación, a la que drena la cuenca que comprende los acuíferos de la cabecera del Guadiana, disminuye pero no llega a agotarse el caudal circulante en los meses de estiaje. Por el contrario, en el río Zújar en Castuera, que drena una cuenca donde no hay acuíferos signifi-

cativos, el caudal base es inapreciable y en los meses de estiaje el río queda prácticamente seco.

Todos estos ejemplos abundan en mostrar cómo la diversidad y variabilidad de los factores que controlan la respuesta hidrológica hacen que se den situaciones extraordinariamente diversas, con regímenes hidrológicos muy distintos incluso en áreas relativamente próximas.

3.1.4.4. Comparación con el contexto europeo

Una vez descritos los recursos hídricos del país, sus fracciones superficial y subterránea, y mostradas sus magnitudes fundamentales y su variabilidad, resulta de interés preguntarse cuál es la situación respecto a los países de nuestro entorno inmediato.

En primer lugar cabe indicar que los flujos y reservas de agua en la Unión Europea (UE) suponen porcentualmente una muy pequeña cantidad de las existentes en la Tierra. La escorrentía que se genera internamente en la UE es de unos $1.200 \text{ km}^3/\text{año}$, lo que representa un 3% de la de todo el planeta, tal y como muestra la tabla 24, de elaboración propia a partir de datos de EEA (1995).

En las costas más occidentales y en las cadenas montañosas de Europa, masas de aire extremadamente húmedas dan lugar a fuertes lluvias. En estos lugares, la precipitación anual se encuentra entre los 1.000 y

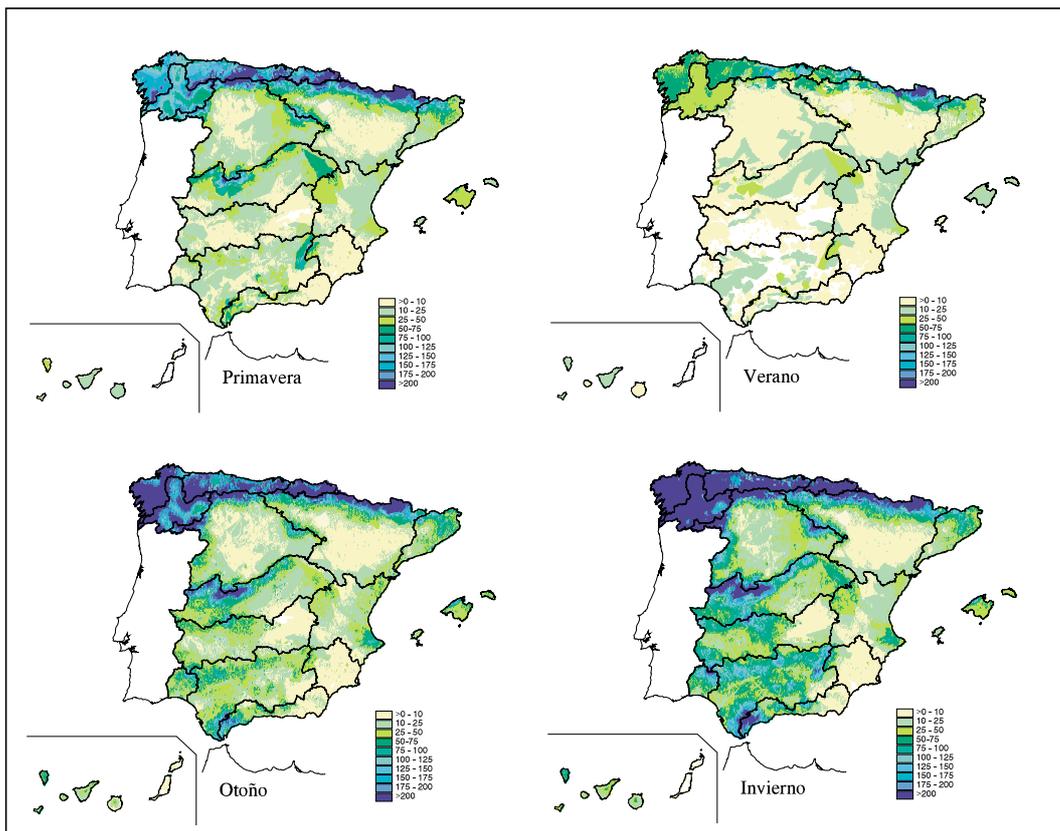


Figura 130. Distribución estacional de la escorrentia (mm)

2.000 mm, con áreas localizadas donde se pueden alcanzar mayores valores.

Aunque son comunes valores de precipitación anual entre 300 y 500 mm en el Sudeste de las penínsulas mediterráneas, en realidad no son exclusivos de estas zonas y pueden encontrarse valores por debajo de 500

mm en Suecia, Finlandia, Países Bálticos, Polonia y llanura central del Danubio.

La distribución anual de la precipitación media, evapotranspiración potencial según Penman, y escorrentía total en los países de la UE, se representa en las figuras 132, 133 y 134, de elaboración propia a partir de infor-

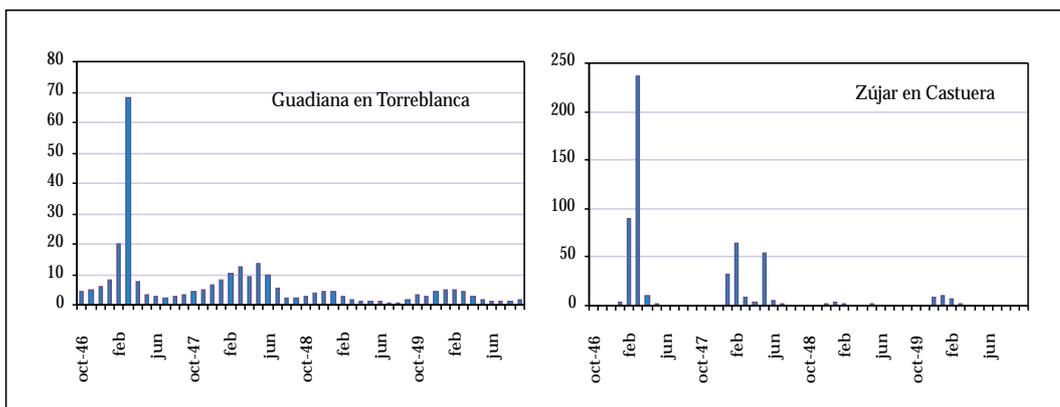
Tabla 24. Flujos hídricos medios anuales en la Tierra, Europa y España

Flujos medios anuales (fase terrestre)	Tierra	UE	España
Precipitación (km ³)	110.000	2.600	346
Evapotranspiración (km ³)	70.000	1.400	235
Aportación generada internamente (km ³)	40.000	1.200	111

mación de Eurostat. La última de estas figuras muestra la escorrentía de origen interno en cada país, es decir, la

generada exclusivamente en su territorio, sin tener en cuenta las aportaciones provenientes de países vecinos.

Figura 131. Caudales mensuales (m³/s) del Guadiana en Torreblanca y del Zújar en Castuera en el periodo 1946/47 a 1949/50



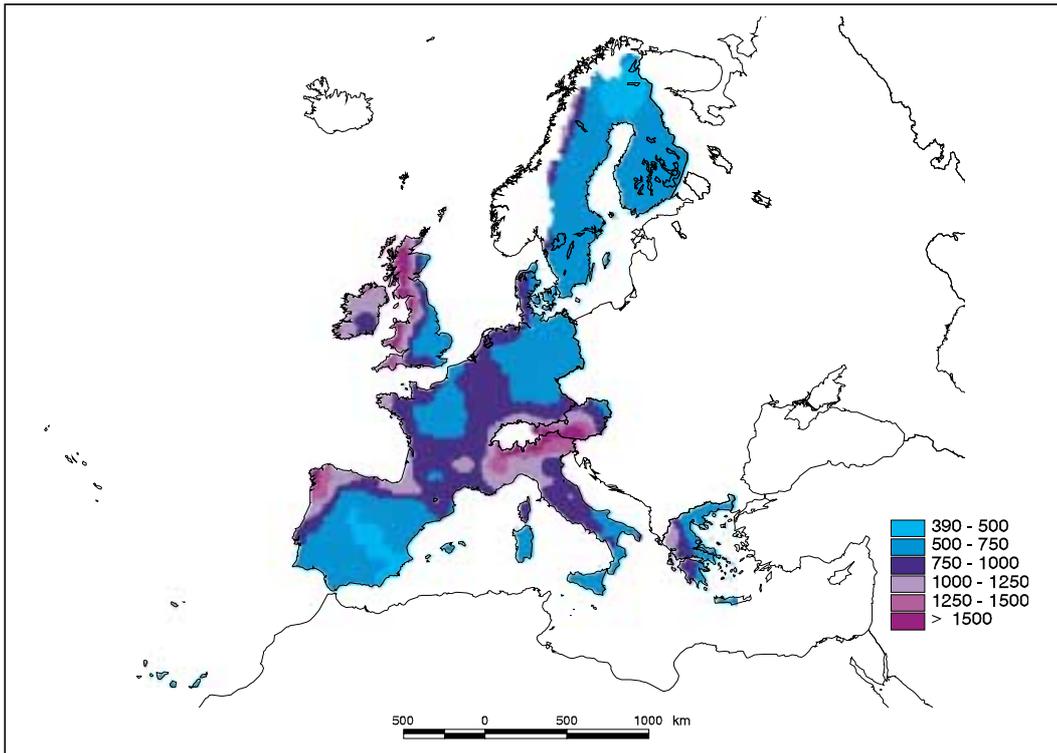


Figura 132. Mapa de precipitación media anual en la Unión Europea (mm)

Calculando el índice de humedad (cociente entre precipitación y evapotranspiración potencial según Penman) para los países de la UE (ver figura 135) se observa que la mayor parte del territorio español, así como el Sudeste de Italia y de Grecia, se encuentran en un rango de valores situado entre 0,2 y 0,5, propio de zonas semiáridas.

Los valores areales medios anuales de precipitación, evapotranspiración potencial y escorrentía generada internamente absoluta y per cápita se muestran, para cada país de la UE (excepto Luxemburgo, del que no se poseen datos), en la tabla 25 de elaboración propia a partir de información de Eurostat.

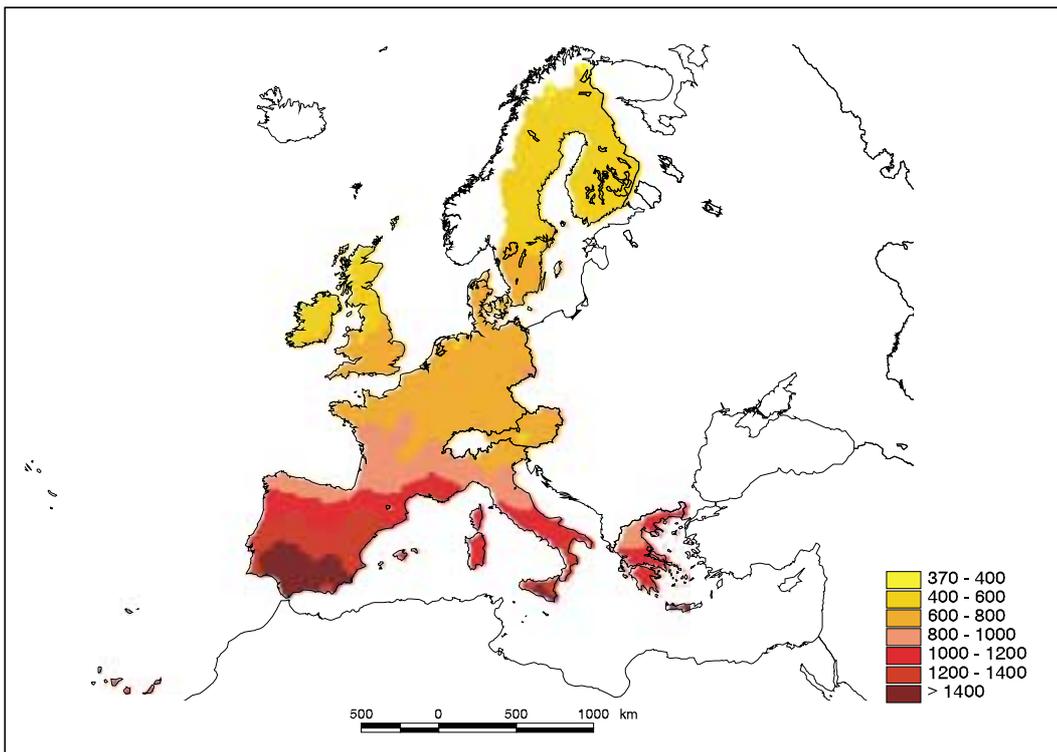


Figura 133. Mapa de evapotranspiración potencial media anual en la Unión Europea (mm)

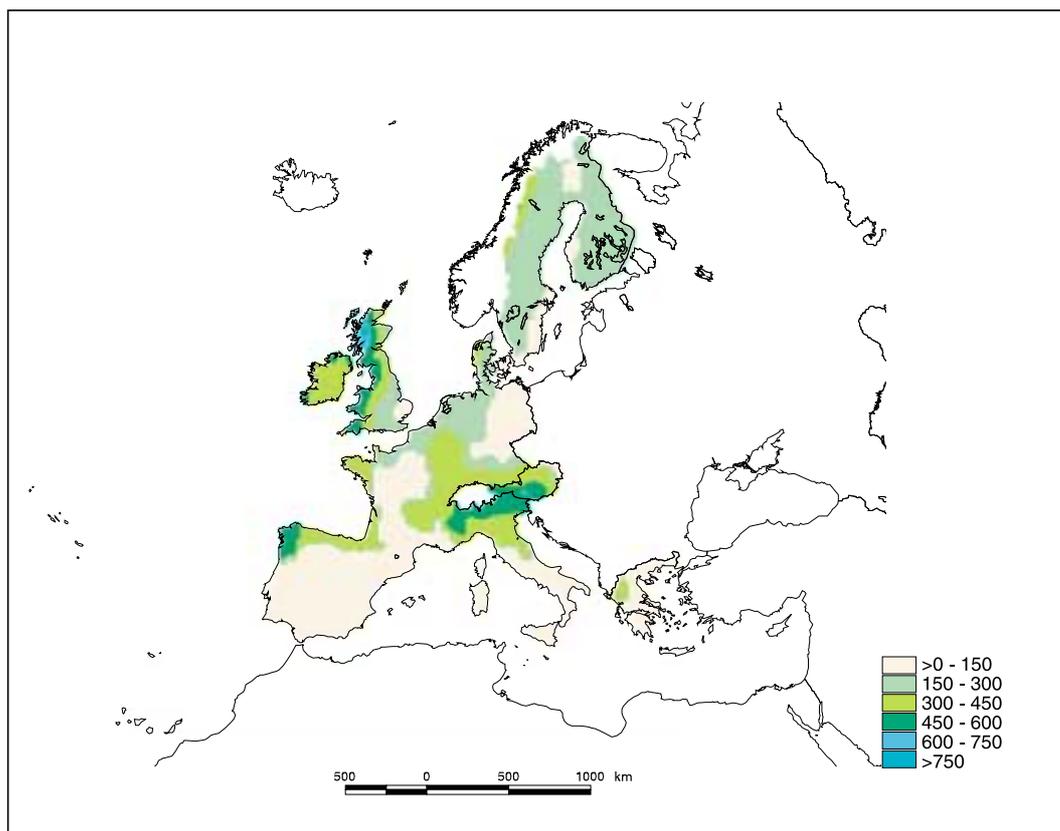


Figura 134. Mapa de escorrentía media anual en la Unión Europea (mm)

Como puede apreciarse, España presenta una precipitación que equivale al 85% de la precipitación media en la Unión, y una evapotranspiración potencial que es de las más altas del continente, lo que da lugar a uno de los valores de escorrentía más bajos de todos los países considerados (aproximadamente el 60% de la media europea). Si se analizan las aportaciones per cápita generadas internamente en cada país, España presenta un valor de unos 2.800 m³/hab/año, lo que

supone un 90% del valor medio para la Unión Europea, muy superior al de países de mayor densidad de población, como Alemania, Bélgica, Dinamarca y Países Bajos, y semejante a los valores de Italia, Francia y Reino Unido.

Estas cifras, sin embargo, pueden resultar engañosas. Las transferencias de agua que reciben muchos de los países en Europa suponen un porcentaje muy alto de sus recursos totales. De hecho, países como Holanda,

Estado de la UE	Superficie	Población	Precipitación		Evapotranspiración potencial		Escorrentía generada internamente		
	(km ²)	(mil hab)	mm	km ³	mm	km ³	mm	km ³	m ³ /hab/año
Alemania	356.954	82.400	768	274	493	176	266	95	1.153
Austria	83.850	7.968	1.169	98	477	40	656	55	6.903
Bélgica	30.518	10.141	885	27	459	14	393	12	1.183
Dinamarca	43.092	5.225	673	29	441	19	139	6	1.148
España	506.470	39.238	684	346	862	437	220	111	2.829
Finlandia	338.130	5.115	657	222	337	114	316	107	20.919
Francia	543.965	58.251	809	440	601	327	313	170	2.918
Grecia	131.957	10.480	849	112	765	101	356	47	4.485
Irlanda	70.285	3.575	1.152	81	398	28	697	49	13.706
Italia	301.277	56.126	982	296	704	212	554	167	2.975
Países Bajos	41.863	15.534	717	30	454	19	263	11	708
Portugal	92.389	9.915	877	81	898	83	444	41	4.135
Reino Unido	244.410	58.204	1.080	264	413	101	593	145	2.491
Suecia	449.960	8.852	700	315	367	165	380	171	19.318
UE	3.235.120	371.024	808	2.615	568	1.836	367	1.187	3.199

Tabla 25. Valores areales medios anuales de precipitación, evapotranspiración potencial y escorrentía total generada internamente en la UE

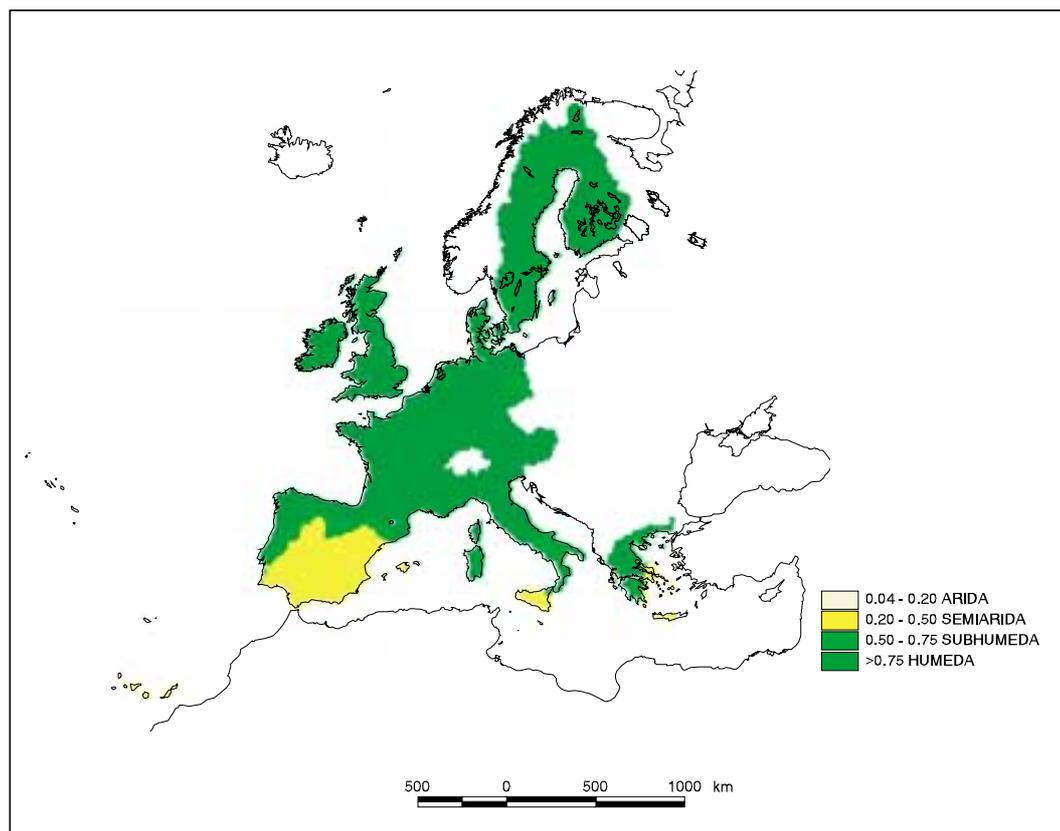


Figura 135. Mapa del índice de humedad en la Unión Europea

Luxemburgo o Alemania reciben entre el 40% y el 90% de sus recursos de otros países vecinos, de tal forma que si no se consideraran estas transferencias, su demanda superaría los recursos hídricos de origen interno. Un caso elocuente es el de España y Portugal. Los recursos totales per cápita en España son menores del 50% de los de Portugal, que recibe un 38% de su agua de España.

Teniendo en cuenta las transferencias de agua procedentes de otros países, en la tabla adjunta -de elabora-

ción propia a partir de datos de EEA (1998)- se muestran los recursos totales anuales per cápita de los países de la UE, diferenciándose los recursos hídricos generados en cada país (origen interno) y las transferencias de países vecinos (origen externo) (tabla 26).

En cuanto al grado de utilización de recursos superficiales y subterráneos, éste varía grandemente de unos países a otros, desde extremos singulares como Dinamarca, donde prácticamente el 100% de los

Estado de la UE	Superficie (km ²)	Población (1995) (mil. hab.)	Escorrentía generada int..		Transferencias de otros países		Escorrentía total		
			mm	km ³	mm	km ³	mm	km ³	m ³ /hab/año
Alemania	356.954	82.400	266	95	193	69	459	164	1.990
Austria	83.850	7.968	656	55	346	29	1002	84	10.542
Bélgica	30.518	10.141	393	12	131	4	524	16	1.578
Dinamarca	43.092	5.225	139	6	0	0	139	6	1.148
España	506.470	39.238	220	111	0	0	220	111	2.829
Finlandia	338.130	5.115	316	107	9	3	325	110	21.505
Francia	543.965	58.251	313	170	33	18	346	188	3.227
Grecia	131.957	10.480	356	47	99	13	455	60	5.725
Irlanda	70.285	3.575	697	49	43	3	740	52	14.545
Italia	301.277	56.126	554	167	27	8	581	175	3.118
Países Bajos	41.863	15.534	263	11	1911	80	2174	91	5.858
Portugal	92.389	9.915	444	41	271	25	714	66	6.657
Reino Unido	244.410	58.204	593	145	0	0	593	145	2.491
Suecia	449.960	8.852	380	171	7	3	387	174	19.657
UE	3.235.120	371.024	367	1.187			367	1.187	3.199

Tabla 26. Valores medios anuales de escorrentía interna, transferencias externas, y recursos totales y per cápita en distintos países de la UE

recursos proviene de extracciones subterráneas, hasta Holanda, Bélgica o Finlandia, donde el aprovechamiento de aguas subterráneas significa menos de un 10% del total. En España el porcentaje de uso de las aguas subterráneas es inferior al 20 % (ver figura 136, de elaboración propia a partir de datos de EEA 1995).

3.1.5. Recursos disponibles

3.1.5.1. Introducción. Conceptos previos

Cuanto se ha dicho hasta ahora se ha referido a los recursos en régimen natural, es decir, desde un punto de vista hidrológico, y no funcional. Procede ahora estudiarlos desde una nueva perspectiva, considerando las condiciones que los configuran como una oferta que puede servir para atender una demanda de agua y las limitaciones para su utilización, pues, como es lógico, no todo el recurso natural puede -ni debe- realizar tal función. Para la introducción de esta nueva perspectiva y la mejor comprensión del sistema de utilización es necesario introducir algunos importantes conceptos previos (v., p.e., Erhard-Cassegrain y Margat, 1983).

Así, debe notarse que algunas de las limitaciones o restricciones que configuran los recursos naturales como una oferta inserta en el sistema de usos son externas al propio sistema de utilización del agua y tienen un carácter previo y superior, por lo que limitan la potencialidad real de utilización del agua. En este sentido cabe hablar de un recurso potencial, que podría definirse como la parte del recurso natural que

constituye un potencial de oferta una vez que se han tenido en cuenta dichas restricciones exteriores. Estas restricciones pueden ser de carácter ambiental, socio-económico o geopolítico.

1. Las restricciones de carácter ambiental tienen como objetivo la protección, en determinados territorios y periodos de tiempo, de las funciones naturales del agua (ecosistemas acuáticos, fundamentalmente) mediante la preservación de flujos, de velocidades, de niveles, de volúmenes, o de sus características físico-químicas. Ante la ausencia de conocimientos y estudios detallados que cubran todo el territorio nacional, una forma simplificada de abordar esta restricción consiste en reservar cautelarmente una determinada fracción del recurso natural que no se incorpora al sistema de explotación, quedando así preservada de una posible utilización económico-productiva y continuando su función natural. Esta fundamental cuestión se volverá a tratar en el capítulo relativo al sistema de utilización actual del agua, pero debe retenerse ya el enfoque conceptual que se propone dar al problema de los llamados caudales ecológicos: no un uso más de los contemplados en el sistema de utilización, sino una restricción externa y previa que opera sobre los recursos naturales para configurar el recurso potencial, o, dicho de otra forma, un supuesto previo a la gestión del dominio público hidráulico.

Es importante comprender que solo cabe hablar de oferta o disponibilidad de recursos tras haber satisfecho -entre otras- estas restricciones ambientales, y sólo en la medida en que la utilización del agua no

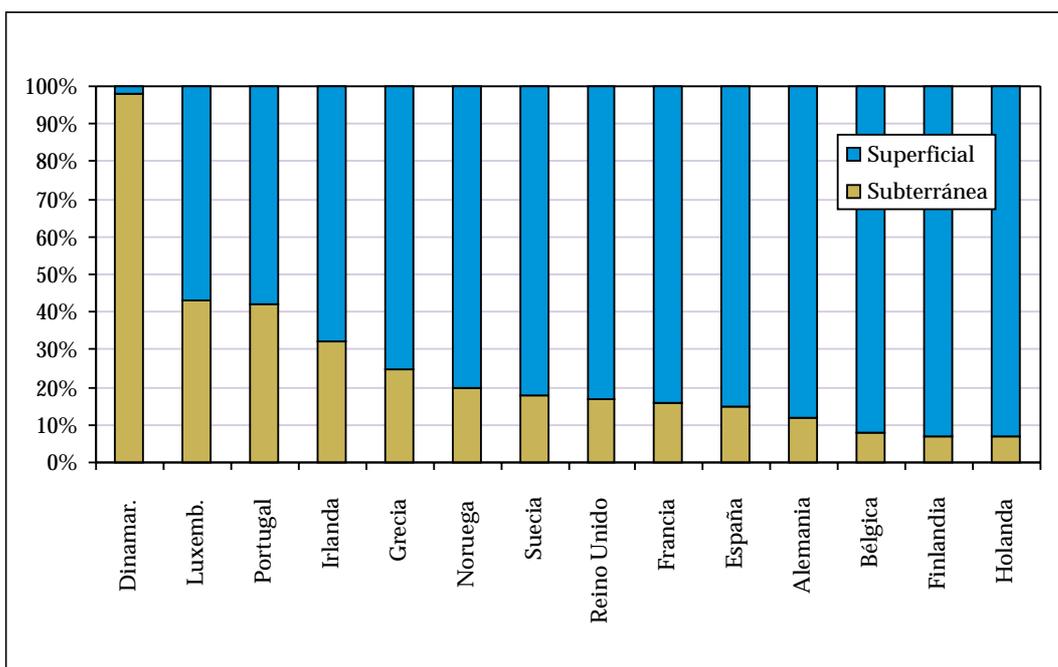


Figura 136. Porcentajes de utilización de recursos superficiales y subterráneos en distintos países de la UE

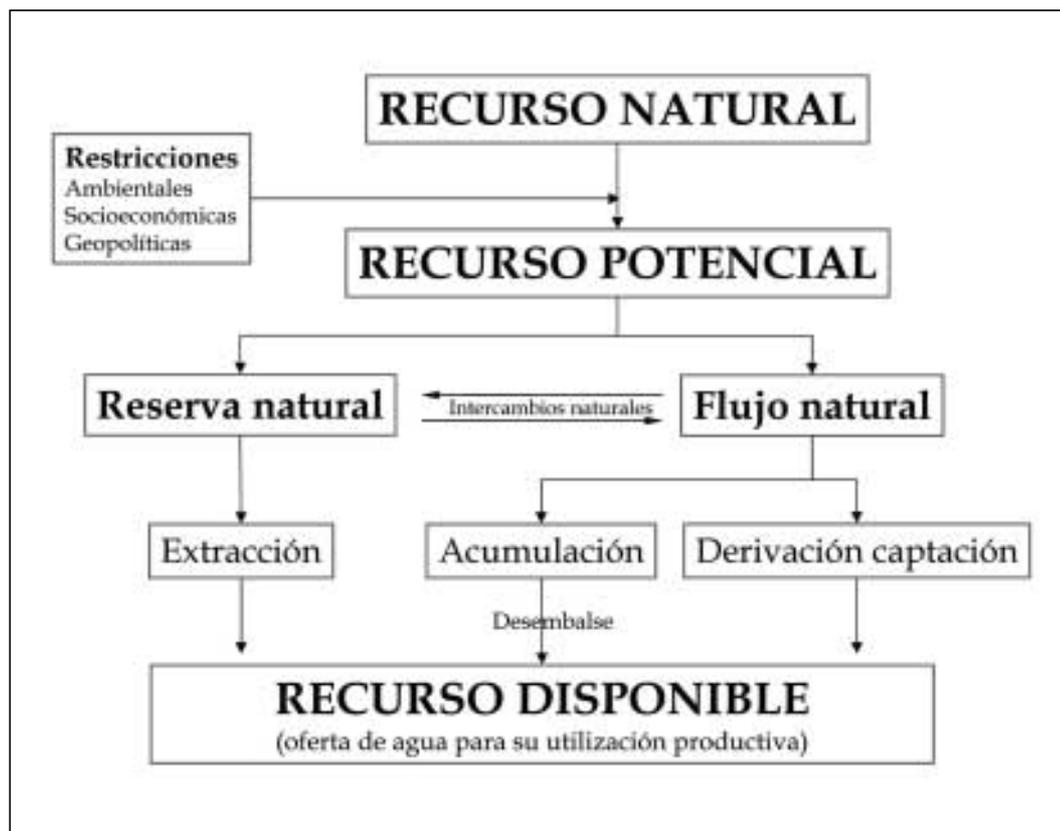


Figura 137. Esquema conceptual de movilización de recursos naturales y su transformación en recursos disponibles

distorsione sensiblemente su función ambiental (biológica, climática, ...) podrá aceptarse su carácter de bien económico-productivo al servicio del bienestar y el desarrollo.

2. Las restricciones de carácter social o socioeconómico pueden proceder de servidumbres derivadas de actividades consideradas prioritarias y que resultan incompatibles con la utilización del recurso, como consecuencia, por ejemplo, de determinadas opciones de ordenación territorial. Este sería el caso de aquellos equipamientos que, aun siendo técnica y económicamente factibles, pueden entrar en conflicto con determinados criterios de ocupación del suelo.
3. Finalmente, las restricciones de carácter geopolítico suelen referirse al caso de ríos internacionales. Desde el punto de vista del país situado aguas arriba pueden existir determinados compromisos de mantenimiento de ciertos caudales en la frontera que reducen su recurso potencial al no poder utilizar dichos caudales. En el caso del país situado aguas abajo, sus recursos potenciales podrían disminuir, hasta el umbral establecido, a medida que aumentase la utilización del agua en el país situado aguas arriba.

Además de estas restricciones exteriores que determinan el recurso potencial, existen otras restricciones de carácter técnico que pueden limitar el aprovechamiento

de las aguas del medio natural. En este sentido cabe hablar de unos recursos realmente disponibles para su utilización productiva como consecuencia del conjunto de restricciones técnicas que limitan el posible aprovechamiento del recurso natural o potencial. La cuantía de estos recursos disponibles depende, fundamentalmente, de las características del recurso natural y del nivel tecnológico del sistema de utilización. Así, por ejemplo, los recursos de agua subterránea de un acuífero pueden ser potencialmente aprovechables, pero estarán realmente disponibles en función de la tecnología de perforación y bombeo existente en cada momento.

El concepto de recurso disponible está pues ligado a las posibilidades de movilización de los recursos naturales o potenciales, y de ahí que algunos autores se refieran al recurso disponible como movilizable. En este sentido, movilizar el agua para que se encuentre en disposición de ser usada, consiste en, partiendo del medio natural, ponerla en circulación en la estructura técnica del sistema de utilización.

En la práctica, la movilización y consiguiente disponibilidad de los recursos puede obtenerse mediante diversos procedimientos:

- Captación directa de una parte del caudal regulado de forma natural: toma directa de un río o captación de agua subterránea.

- Transformación de una parte del caudal natural más o menos irregular en una reserva para su utilización posterior: regulación de un río por medio de un embalse o recarga artificial de un acuífero.
- Obtención de un caudal a partir de una reserva natural preexistente: aprovechamiento del agua de un lago o extracción de las reservas de agua subterránea, renovables o no.
- Transformación en caudal movilizable de un flujo no aprovechable directamente: reducción de la evaporación.

Estas ideas se esquematizan gráficamente en la figura 137.

Un aspecto que incide de manera muy importante en la disponibilidad de recursos es la gestión del sistema de explotación, es decir, el conjunto de normas y reglas de actuación sobre los elementos naturales y las obras e instalaciones de infraestructura hidráulica que transforman el régimen de los recursos naturales para adaptarlos a la satisfacción de las demandas o para evitar riesgos naturales. Una gestión deficiente del sistema puede reducir apreciablemente la disponibilidad de recursos, mientras que, por el contrario, una adecuada gestión puede incrementarla.

Desde el punto de vista cualitativo, los recursos disponibles dependen de las posibilidades técnicas de tratar las aguas y corregir, en caso de que sea necesario, las características que no se adapten al uso al que se pretenden destinar. Sobre esta cuestión, y sobre las limitaciones que pueden derivarse de las condiciones de calidad del agua, se volverá a insistir posteriormente con detalle.

Otro aspecto que condiciona de manera muy importante la disponibilidad de recursos es su fiabilidad, es decir, la garantía con la que se dispone de ellos. Contar con altos niveles de garantía o seguridad en el suministro supone disponer de menores recursos, mientras que una menor exigencia de garantía permitiría contar con una mayor disponibilidad. En este sentido, para una correcta valoración de la disponibilidad es fundamental especificar el nivel de garantía correspondiente a los recursos que se estiman disponibles.

A la escala de los sistemas de explotación es importante también contar con las posibilidades de emplear el agua procedente de los retornos de suministros previos que se restituyen al medio natural. Estos retornos representan la posibilidad de removilizar parte de los recursos y constituyen un potencial de oferta secundario que debe añadirse al resto de los recursos disponibles procedentes de una sola utilización o movilización. Esta cuestión adquiere especial relevancia en nuestro país, donde el regadío, que da lugar al retorno

de importantes volúmenes, constituye, con diferencia, la mayor demanda.

Como ya se ha señalado, el nivel de las tecnologías existentes en cada momento también influye en la cuantía de los recursos disponibles. En este sentido, es frecuente distinguir entre recursos convencionales, obtenidos mediante la ejecución de técnicas de movilización clásicas y suficientemente probadas, y recursos no convencionales, obtenidos mediante el desarrollo de técnicas nuevas, a menudo de carácter experimental o que se llevan a cabo de forma excepcional. Suelen considerarse tradicionalmente como recursos no convencionales los procedentes de la desalación de aguas marinas y salobres, la reutilización directa de aguas residuales y la modificación de las condiciones climáticas, entre otros.

Sin embargo, el grado de convencionalidad de los recursos, al estar asociado al nivel tecnológico, constituye un concepto dinámico que evoluciona en el tiempo. Así, en el momento actual algunas de estas técnicas, como la desalación o la reutilización, podrían sin duda considerarse como convencionales en la práctica.

En este punto conviene hacer constar que, a diferencia del recurso natural, sobre cuyo significado técnico hay un acuerdo relativamente generalizado, el concepto de recurso disponible ha sido tradicionalmente objeto de interpretaciones muy diferentes. Ello resulta perfectamente explicable teniendo en cuenta los muy distintos factores que lo configuran y de los que depende, y que algunos -como las reglas de gestión- no suelen estar definidos de modo explícito ni son de fácil formulación en sistemas hidráulicos complejos.

Una prueba de estas diferencias son las distintas estimaciones que han venido realizándose en los últimos años en España (donde se les llama en ocasiones recursos regulados o garantizados). En la tabla 27 se presentan algunas de las más importantes de estas estimaciones (expresadas en $\text{hm}^3/\text{año}$), incluyendo las realizadas en los Planes Hidrológicos de cuenca. En este caso es necesario realizar una interpretación prudente de los resultados relativos, pues no en todos los Planes se utiliza el mismo concepto de recurso disponible, ni se han seguido los mismos criterios y procedimientos para su obtención. En consecuencia, y pese a que se ofrecen en una tabla común, las cifras correspondientes a los diversos Planes no son directamente comparables entre sí.

Algo similar sucede si se pretende comparar unas estimaciones con otras, pues en general se han empleado criterios diferentes en cuanto a modulación de demandas, evaluación de volúmenes regulados en embalses, utilización de aguas subterráneas,